ผลงานวิชาการ และผลงานที่ได้รับรางวัล ของบุคลากรคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

"สื่อสารสร้างสรรค์พลังวิทย์ 2"

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ประจำปีงบประมาณ 2565

พฤติกรรมการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพและความเชื่อมั่นต่อแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพของผู้สูงอายุในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

Health Information Seeking Behavior and Trust in Health Information Sources of the Elderly in Mueang District, Sakon Nakhon Province

ผู้แต่ง: นำพร อินสิน[1], นิราวรรณ บุญทน[2], ทัศนีย์ ทะบันหาร[2], นันทพร ก่ำสี[2], นวภรณ์ จ่าบุญ[2]

Authors: Numporn Insin, Nirawan Bunthon, Tussanee Tabanhar, Nantaporn Khamsee, Nawaporn Jaboon

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

[2] หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

บทคัดย่อ

ความสามารถในการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ เป็นทักษะพื้นฐานสำคัญของบุคคลเพื่อการมีความรอบรู้ด้านสุขภาพและการมีสุขภาพดี กลุ่มผู้สูงอายุเป็นกลุ่มที่ได้รับผลกระทบอย่างมากจากการเปลี่ยนแปลงความหลากหลายของแหล่งข้อมูลข่าวสารในสังคมยุคดิจิทัล การวิจัยเชิงสำรวจนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพและความเชื่อมั่นต่อแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพของผู้สูงอายุในจังหวัดสกลนคร เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบสอบถามแบบมีโครงสร้างที่มีการตรวจสอบค่าความเชื่อมั่นด้วยสัมประสิทธิ์อัลฟ่าของครอนบาคได้เท่ากับ 0.71 เก็บข้อมูลในกลุ่มตัวอย่างจำนวน 393 คน โดยใช้การสุ่มแบบหลายขั้นตอน และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ผลการวิจัยพบว่า มีกลุ่มตัวอย่างร้อยละ 76.30 ที่แสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพเมื่อต้องการข้อมูลต่าง ๆ ประกอบด้วย ข้อมูลด้านการรักษาโรคร้อยละ 98.33 ข้อมูลด้านการป้องกันโรคร้อยละ 83.67 และข้อมูลด้านการสร้างเสริมสุขภาพ ร้อยละ 83.00 แหล่งข้อมูลที่ใช้บ่อยที่สุด คือ บุคลากรทางการแพทย์ อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน และบุคคลใกล้ชิด ตามลำดับ นอกจากนี้ ผลการวิจัย พบว่า แหล่งข้อมูลด้านสุขภาพที่กลุ่มตัวอย่างมีความเชื่อมั่นในระดับสูง ได้แก่ บุคลากรทางการแพทย์ ($\bar{X}$= 4.75, S.D.=0.5) อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ($\bar{X}$= 3.94, S.D.=0.86) และบุคคลใกล้ชิด ($\bar{X}$= 3.69, S.D.=0.95) ในขณะที่สื่อออนไลน์ เช่น เว็บไซต์และเฟซบุ๊ก เป็นแหล่งข้อมูลที่กลุ่มตัวอย่างมีความเชื่อมั่นในระดับต่ำ ($\bar{X}$= 1.67, S.D.=0.92) สะท้อนให้เห็นว่า ผู้สูงอายุแสวงหาและเชื่อมั่นในข้อมูลด้านสุขภาพจากแหล่งข้อมูลที่เป็นตัวบุคคลที่ตนรู้จักมากกว่าแหล่งข้อมูลประเภทอื่น ๆ ดังนั้น การให้ข้อมูลด้านสุขภาพแก่ผู้สูงอายุจะต้องคำนึงถึงช่องทางที่เหมาะสมและให้ความสำคัญกับความถูกต้องของข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลจากสื่อบุคคล

คำสำคัญ : การแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพ ความเชื่อมั่นต่อข้อมูลด้านสุขภาพ ผู้สูงอายุ

Abstract

The personal ability to seek for reliable health information is basically required in order to be health littered and healthy persons. The elderlies are affected by the dramatic changes due to the variety of information sources in digital society. Accordingly, this survey research aimed to explore the health information seeking behavior and trust in health information sources among older adults in

Sakon Nakhon. The research instrument was a structured questionnaire which had Cronbach's alpha coefficient = 0.71 as its reliability. The data were collected from 393 samples whose were selected by multi-stage random sampling. The data were analyzed by descriptive statistics. The research results revealed that 76.30% of samples were seeking for health information in several purposes. They sought for information of disease and treatment (98.33%), information of disease prevention (83.67%) and information of health promotion (83.00%). The health information sources that had mostly been taken including health professionals, village health volunteer and familiar persons, respectively. Moreover, the results found that the samples had trust in health information sources in high levels as follows: health professionals ($\bar{X}$= 4.75, S.D.=0.5), village health volunteer and ($\bar{X}$= 3.94, S.D.=0.86) and familiar persons ($\bar{X}$= 3.69, S.D.=0.95). Meanwhile, online sources (e.g., Website, Facebook) were low-level of trust ($\bar{X}$= 1.67, S.D.=0.92). The results revealed that the elderly have sought for health information, and trust in health information from personal media sources rather than others. Therefore, to provide health information to older persons should consider suitable media channels of communication and focus on trustworthy information, especially information from personal media.

Keywords: Health Information Seeking Behavior, Trust in Health Information Sources, Elderly

บทนำ

จากสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรไทยเป็นสังคมสูงอายุ ทำให้การส่งเสริมให้ผู้สูงอายุพึ่งพาตนเองด้านสุขภาพได้ถูกกำหนดเป็นแนวนโยบายหลักที่จะส่งผลดีต่อสังคมโดยรวม (คณะกรรมการผู้สูงอายุแห่งชาติ กรมกิจการผู้สูงอายุ กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์, 2563) การมีความรอบรู้ด้านสุขภาพนับเป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งที่จะทำให้ผู้สูงอายุมีทักษะการจัดการสุขภาพของตนเองและนำไปสู่การมีพฤติกรรมสุขภาพที่เหมาะสมกับการดำเนินชีวิตของตนเองได้ (Nutbeam, 2000) ความรอบรู้ด้านสุขภาพสามารถแสดงออกในประเด็น 3 ด้านหลัก ได้แก่ การรักษาโรค การป้องกันโรค และการสร้างเสริมสุขภาพ (Sørensen, 2012) โดยในแต่ละด้านนี้ บุคคลจะต้องแสดงออกถึงความสามารถในการเข้าถึงข้อมูล เข้าใจความหมายของข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และนำข้อมูลนั้นไปปรับใช้ให้สอดคล้องกับวิถีชีวิตของตนเองได้ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การที่ผู้สูงอายุมีความรอบรู้ด้านสุขภาพนั้นจะส่งผลให้มีพฤติกรรมสุขภาพ พฤติกรรมการป้องกันโรค และพฤติกรรมการจัดการอาการเจ็บป่วยของตนเองได้ดีด้วย (Chesser *et al.*, 2016)

การแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพตามความต้องการของตนเองนับเป็นทักษะพื้นฐานของการเข้าถึงและเข้าใจข้อมูลด้านสุขภาพที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับตนเอง ด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคดิจิทัลที่ก้าวหน้าทำให้ผู้สูงอายุมีพฤติกรรมการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพเปลี่ยนแปลงไป ในปัจจุบันพฤติกรรมการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพของผู้สูงอายุสามารถจำแนกเป็น 3 แหล่งหลัก คือ 1) สื่อตัวบุคคล ได้แก่ บุคลากรทางการแพทย์ต่าง ๆ ครอบครัว เพื่อน ญาติ 2) สื่อดั้งเดิม ได้แก่ สื่อสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ โทรทัศน์และวิทยุ และ 3) สื่อออนไลน์ได้แก่ อินเทอร์เน็ต และ สื่อสังคมออนไลน์ (วินัย ไตรนาทถวัลย์ และคณะ, 2563) ทั้งนี้ ผู้สูงอายุมีแนวโน้มใช้สื่อออนไลน์เพื่อเข้าถึงแหล่งข้อมูลข่าวสารอย่างความหลากหลายและรวดเร็วมากขึ้น ข้อค้นพบที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าประเภทของแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพที่บุคคลเลือกใช้และมีความเชื่อมั่นนั้นมีความสัมพันธ์ต่อระดับความรอบรู้สุขภาพ (Chen *et al.*, 2018) อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่ผ่าน

มาพบว่าผู้สูงอายุยังมีความเชื่อมั่นต่อบุคลากรการแพทย์มากกว่าสื่อออนไลน์ (Turner *et al.*, 2018) ในกลุ่มผู้สูงอายุที่มีรายได้น้อยยังมีอุปสรรคต่อการเข้าถึงแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพ เช่น ไม่ตระหนักถึงความสำคัญของการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพ นอกจากนี้ แหล่งข้อมูลด้านสุขภาพบางอย่างยังมีข้อจำกัด เช่น ทักษะการสื่อสารของแหล่งข้อมูลที่เป็นตัวบุคคล และการมีทัศนคติเชิงลบต่อบุคลากรทางการแพทย์ (Agyemang-Duah *et al.*, 2020) สิ่งเหล่านี้อาจกลายเป็นข้อจำกัดที่สำคัญที่ทำให้ผู้สูงอายุไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลสุขภาพได้ตามความต้องการ จากแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย มีความถูกต้องทันสมัยและน่าเชื่อถือ

บริบทของผู้สูงอายุในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร มีความเป็นอยู่แบบกึ่งเมืองถึงชนบท ทำให้การออกแบบการสื่อสารให้ข้อมูลด้านสุขภาพที่ความซับซ้อนเพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการแสวงหาข้อมูลของผู้สูงอายุที่แตกต่างกันไป การทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพและความเชื่อมั่นต่อแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพของผู้สูงอายุในพื้นที่ จะทำให้นักวิชาการและหน่วยงานด้านสาธารณสุขในพื้นที่สามารถออกแบบการสื่อสารข้อมูลด้านสุขภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้สูงอายุได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพของผู้สูงอายุในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร
2) เพื่อศึกษาความเชื่อมั่นต่อแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพของผู้สูงอายุในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย เป็นการวิจัยเชิงสำรวจแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional, survey research)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้สูงอายุในเขตพื้นที่อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร จำนวน 22,835 คน (สำนักงานสาธารณสุขอำเภอเมืองสกลนคร, 2561)

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้สูงอายุที่มีรายชื่อในทะเบียนรายชื่อของสำนักงานสาธารณสุขอำเภอเมืองสกลนครและอาศัยอยู่ในพื้นที่จริง ณ ช่วงเวลาที่เก็บรวบรวมข้อมูล โดยขนาดกลุ่มตัวอย่างได้จากการคำนวณตามสูตรของทาโร่ยามาเน่ (Yamane, 1973) ความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 393 คน

วิธีการสุ่มตัวอย่าง ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage random sampling) เริ่มจากตำบล 18 ตำบลในอำเภอเมืองสกลนคร แบ่งตำบลเป็น 3 กลุ่มตามขนาดประชากรผู้สูงอายุ ได้ตำบลขนาดเล็ก 9 ตำบล ขนาดกลาง 4 ตำบล และ ขนาดใหญ่ 3 ตำบล หลังจากนั้น สุ่มตำบลตัวอย่างตามกลุ่มขนาดมา 5, 2 และ 2 ตำบล ตามลำดับ แล้วจึงใช้การสุ่มอย่างง่ายเพื่อให้ได้ตัวแทนหมู่บ้านตัวอย่างจากตำบลละ 2 หมู่บ้าน ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อสุ่มรายชื่อจากประชากรผู้สูงอายุมาตามสัดส่วนขนาดประชากรแต่ละหมู่บ้านเพื่อให้ได้ขนาดตามกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณไว้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถามแบบมีโครงสร้างที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรม ประกอบด้วยข้อคำถาม 3 ตอน ได้แก่ 1) ข้อมูลทั่วไปและประสบการณ์การค้นหาข้อมูลด้านสุขภาพ 2) พฤติกรรมการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพเป็นข้อคำถามแบบเลือกตอบจำนวน 3 ข้อ แต่ละข้อเลือกได้มากกว่า 1 ตัวเลือก เกี่ยวกับการกระทำเพื่อให้ตนเองได้รับข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่ตรงกับความต้องการด้านสุขภาพตามสถานการณ์ต่าง ๆ ได้แก่ การรักษาโรค การป้องกันโรค และการสร้างเสริมสุขภาพ 3) ความเชื่อมั่นต่อแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพ เป็นข้อคำถามแบบมาตราส่วนประมาณค่าจำนวน 7 ข้อ แบ่งเป็น 5 ระดับความเชื่อมั่นต่อแหล่งข้อมูล ได้แก่ มากที่สุด (5 คะแนน) มาก (4 คะแนน) ปานกลาง (3 คะแนน)

น้อย (2 คะแนน) น้อยที่สุด (1 คะแนน) แบบสัมภาษณ์นี้ ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาด้วยผู้เชี่ยวชาญสามท่าน ก่อนนำไปทดลองใช้และปรับปรุงให้เป็นแบบสอบถามฉบับจริง โดยมีการทดสอบความเที่ยงด้วยสัมประสิทธิ์อัลฟ่าของครอนบาร์ค (Cronbach's alpha coefficient) ของข้อคำถามความเชื่อมั่นต่อแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพ ได้เท่ากับ 0.71

การเก็บรวบรวมข้อมูล การเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นไปตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ตามคำประกาศของเฮลซิงกิ (Declaration of Helsinki) การดำเนินการวิจัยเป็นไปตามหลักการ ดังนี้ 1) หลักเคารพบุคคล ผู้วิจัยให้กลุ่มตัวอย่างตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยได้โดยสมัครใจหลังจากได้รับข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัยที่ผู้วิจัยอธิบายด้วยวาจาแล้ว มีการเก็บข้อมูลและนำเสนอข้อมูลโดยไม่ระบุตัวบุคคล และเก็บข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างไว้เป็นความลับ 2) หลักประโยชน์ งานวิจัยนี้ไม่ได้มีประโยชน์โดยตรงต่อกลุ่มตัวอย่าง แต่ผู้วิจัยลดการรบกวนกลุ่มตัวอย่างโดยการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างทีละคนด้วยวาจาด้วยภาษาที่เป็นกันเอง เข้าใจง่าย อยู่ในสถานที่ที่กลุ่มตัวอย่างสะดวกใจ และ 3) หลักยุติธรรม ผู้วิจัยไม่มีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบอคติใดๆ ใช้วิธีการที่เป็นไปตามกระบวนการสุ่ม ผู้วิจัยทำการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างด้วยตนเองในช่วงเดือนกรกฎาคม - สิงหาคม พ.ศ.2562 โดยกลุ่มตัวอย่างที่ตอบว่าไม่เคยแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพในประเด็นใดเลยจะข้ามข้อคำถามส่วนที่ 2 นี้ไป และทำในส่วนที่ 3 คือ ความเชื่อมั่นต่อแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพ

การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้สถิติเชิงพรรณนาในการวิเคราะห์ข้อมูล และกำหนดการแปลความหมายของระดับความเชื่อมั่นต่อแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพ โดยใช้คะแนนเฉลี่ยแบ่งตามอันตรภาคชั้นเป็นช่วงคะแนน 3 ระดับ คือ ความเชื่อมั่นระดับต่ำ 1.00 - 2.33 คะแนน ความเชื่อมั่นระดับปานกลาง 2.34 - 3.67 คะแนน และความเชื่อมั่นระดับสูง 3.68 - 5.00 คะแนน

ผลการวิจัย

ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงร้อยละ 61.80 อยู่ในช่วงอายุ 60-69 ปี ร้อยละ 47.80 (Median=70.0, Min=60, Max=95) มีสถานภาพสมรสร้อยละ 59.80 และเป็นหม้าย/หย่าร้าง ร้อยละ 35.60 ส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาอยู่ในประถมศึกษา ร้อยละ 77.10 มีรายได้ต่อเดือนต่ำกว่า 2,000 บาท ร้อยละ 52.90 กลุ่มตัวอย่างมีโรคประจำตัว เช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง ร้อยละ 46.80 กลุ่มตัวอย่าง ไม่เคยใช้อุปกรณ์สื่อสารส่วนตัวเชื่อมอินเทอร์เน็ตเลย ร้อยละ 61.10 และใช้เป็นประจำทุกวันร้อยละ 14.20

พฤติกรรมการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการหาข้อมูลด้านสุขภาพเกี่ยวกับการรักษาโรค การป้องกัน หรือการสร้างเสริมสุขภาพ ร้อย 76.30 และในจำนวนนี้ (n=300) มีการแสวงหาข้อมูลด้านการรักษาโรค (เช่น สาเหตุของโรค หรืออาการเจ็บป่วย อันตรายของโรค หรือวิธีการรักษาโรค) ร้อยละ 98.33 ด้านการป้องกันโรค (เช่น การฉีดวัคซีน การกินร้อน ใช้ช้อนกลาง ล้างมือ การสวมหน้ากากอนามัย) ร้อยละ 83.67 และด้านการสร้างเสริมสุขภาพ (เช่น วิธีการออกกำลังกาย การเลือกรับประทานอาหาร การรับประทานอาหารเสริม วิธีการคลายความเครียด) ร้อยละ 83.00

เมื่อพิจารณาประเภทของแหล่งข้อมูลที่กลุ่มตัวอย่างใช้ในการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพต่าง ๆ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1 ยกตัวอย่างเช่น แหล่งข้อมูลที่ใช้บ่อยที่สุดด้านการรักษาโรค คือ บุคลากรทางการแพทย์ (ร้อยละ 96.30) บุคคลใกล้ชิด (ร้อยละ 78.00) และอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ร้อยละ (73.90) แหล่งข้อมูลที่กลุ่มตัวอย่างใช้น้อยที่สุด คือ สื่อเว็บไซต์ (ร้อยละ 20.50) เฟซบุ๊ก (ร้อยละ 21.00) และไลน์ (ร้อยละ 23.40)

จากตารางที่ 1 แสดงระดับความเชื่อมั่นต่อแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพ พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความเชื่อมั่นต่อแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพในระดับสูง คือ บุคลากรทางการแพทย์ ได้แก่ แพทย์ พยาบาล เภสัชกร หมออนามัย นักวิชาการสาธารณสุข แพทย์แผนไทย ($\bar{X}$= 4.75, S.D.=0.5) อสม. ($\bar{X}$= 3.94, S.D.=0.86) และบุคคลใกล้ชิด ได้แก่ คนใน

ครอบครัว ญาติพี่น้อง เพื่อน ($\bar{X}$= 3.69, S.D.=0.95) ในขณะที่สื่อสิ่งพิมพ์ สื่อโทรทัศน์ สื่อวิทยุ กลุ่มตัวอย่างมีความความเชื่อมั่นระดับปานกลาง ส่วนสื่อหมอพื้นบ้าน และสื่อออนไลน์ ได้แก่ เว็บไซต์ เฟซบุ๊ก และไลน์ เป็นแหล่งข้อมูลที่กลุ่มตัวอย่างมีความเชื่อมั่นในระดับต่ำ

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยครั้งนี้ สะท้อนให้เห็นว่า เมื่อผู้สูงอายุมีความต้องการที่จะดูแลสุขภาพของตนเองตามสถานการณ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการรักษาโรค การป้องกันโรค หรือการสร้างเสริมสุขภาพ ก็จะแสวงหาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่ตนเองเชื่อถือ สิ่งเหล่านี้บ่งบอกได้ส่วนหนึ่งว่าผู้สูงอายุมีทักษะพื้นฐานของการมีความรอบรู้ด้านสุขภาพ (Sørensen *et al*, 2012) ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าผู้สูงอายุมีการแสวงหาข้อมูลด้านการรักษาโรคมากที่สุด เช่นเดียวกับที่พบในการศึกษาของ Agyemang-Duah *et al.* (2020) ที่พบว่า ผู้สูงอายุมีการค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับอาหาร สาเหตุของโรคและการใช้ยารักษาโรค อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า ยังมีผู้สูงอายุอีกส่วนหนึ่งที่ไม่มีพฤติกรรมการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพเลย และอาจส่งผลให้มีความรอบรู้ด้านสุขภาพต่ำ จึงควรต้องมีการวิจัยต่อไปถึงแนวทางสนับสนุนให้ผู้สูงอายุกลุ่มนี้มีทักษะและให้ความสำคัญต่อการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพมากขึ้น

ในประเด็นแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพที่นิยมของผู้สูงอายุในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร มักจะเป็นแหล่งข้อมูลที่เป็นตัวบุคคล โดยที่นิยมมากที่สุด คือ บุคลากรทางการแพทย์ อสม. และบุคคลใกล้ชิด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Turner *et al.* (2018) และ Chaudhuri et al. (2013) ที่พบว่า ผู้ให้บริการทางการแพทย์ เพื่อน และบุคคลในครอบครัวเป็นแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพที่สำคัญในกลุ่มผู้สูงอายุ โดยเพื่อนและบุคคลในครอบครัวจะมีบทบาทเป็นผู้ร่วมแลกเปลี่ยนประสบการณ์และข้อมูลต่าง ๆ อีกทั้งยังช่วยแนะนำผู้เชี่ยวชาญการดูแลสุขภาพให้แก่ผู้สูงอายุอีกด้วย ในขณะที่ผู้สูงอายุในบริบทการวิจัยครั้งนี้ ยังมีใช้สื่อออนไลน์เพื่อหาข้อมูลด้านสุขภาพน้อยมากเมื่อเทียบกับสื่อตัวบุคคลหรือสื่อแบบดั้งเดิม เช่น สื่อสิ่งพิมพ์ โทรทัศน์ วิทยุ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Turner *et al.* (2018) ที่พบว่า ผู้สูงอายุมีการใช้ช่องทางสื่อออนไลน์ค้นหาข้อมูลสุขภาพกันเป็นประจำ ทั้งนี้ พฤติกรรมการใช้สื่อของผู้สูงอายุได้รับอิทธิพลมาจากหลายปัจจัย เช่น การศึกษา ฐานะทางเศรษฐกิจ หรือพื้นที่อยู่อาศัยของผู้สูงอายุ (ระวีวรรณ ทรัพย์อินทร์ และ ญาศิณี เคารพธรรม, 2560) สิ่งเหล่านี้อาจทำให้ผู้สูงอายุในพื้นที่ทำการวิจัยนี้มีพฤติกรรมการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพจากแหล่งข้อมูลที่แตกต่างไปจากการศึกษาอื่นที่ผ่านมา

การแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพจากเทคโนโลยีการสื่อสารสมัยใหม่แบบออนไลน์ที่เชื่อมต่อข้อมูลบนอินเตอร์เน็ตมีข้อดีที่สำคัญ คือ ทำให้การเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ นั้นง่ายและทันสมัย อย่างไรก็ตาม การแสวงหาข้อมูลบนสื่อออนไลน์ต่าง ๆ มีโอกาสที่จะทำให้บุคคลได้รับข้อมูลที่ไม่ถูกต้องหรือขาดความน่าเชื่อถือได้ง่าย (Battineni *et al*, 2020) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยครั้งนี้ที่พบว่า ผู้สูงอายุมีความเชื่อมั่นต่อข้อมูลด้านสุขภาพที่ได้รับจากสื่อออนไลน์ในระดับต่ำ

จากการทบทวนวรรณกรรมของ วินัย ไตรนาทถวัลย์ และคณะ (2563) สนับสนุนการพัฒนาความรอบรู้ด้านสุขภาพจากการค้นหาข้อมูลออนไลน์และสื่อสังคมออนไลน์เพราะมีข้อดีที่หลายประการ คือ ช่วยให้ผู้สูงอายุได้ความรู้ควบคู่ไปกับความ สนุกสนาน เพลิดเพลิน ผ่อนคลาย ในขณะเดียวกัน ผู้สูงอายุก็มีแนวโน้มการสื่อสารผ่านช่องทางออนไลน์มากขึ้น (ระวีวรรณ ทรัพย์อินทร์ และ ญาศิณี เคารพธรรม, 2560) ดังนั้นข้อค้นพบจากการวิจัยนี้ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องอาจจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการส่งเสริมการค้นหาข้อมูลด้านสุขภาพจากช่องทางออนไลน์ของผู้สูงอายุอย่างเหมาะสมเพื่อให้คนกลุ่มนี้ได้เข้าถึงข้อมูลที่ถูกต้องและมีความทันสมัยมากขึ้น นอกจากนี้ การส่งเสริมให้ผู้สูงอายุมีทัศนคติเชิงบวกต่อข้อมูลด้านสุขภาพในช่องทางสื่อออนไลน์ก็มีความจำเป็นเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ บางการศึกษาที่ผ่านก็แนะนำการ

ให้ข้อมูลด้านสุขภาพโดยบุคลากรการแพทย์ผ่านช่องทางสื่อออนไลน์จะเป็นสื่อที่สร้างความเชื่อมั่นสูงและลงทุนต่ำ (Brown-Johnson *et al.*, 2018)

อย่างไรก็ตาม การแสวงหาข้อมูลและความเชื่อมั่นต่อแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพประเภทสื่อบุคคลของผู้สูงอายุในการวิจัยครั้งนี้มีระดับสูงกว่าแหล่งข้อมูลอื่น ๆ เช่นเดียวกับที่พบใน Turner *et al.* (2018) และ Chaudhuri et al. (2013) ซึ่งนับเป็นข้อดีว่า ถ้าหากผู้ให้ข้อมูลด้านสุขภาพเป็นบุคคลที่ตนเชื่อถือก็จะให้ความสนใจ และเป็นสื่อที่ไม่ต้องลงทุนสูง โน้มน้าวกันได้ง่าย สามารถโต้ตอบซักถามกันได้ (มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, ม.ป.ป.) แต่ในทางตรงกันข้าม สื่อบุคคลก็ส่งผลเชิงลบได้เช่นกัน หากมีการให้ข้อมูลเท็จ บิดเบือน หรือไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงวิชาการ เนื่องจากการใช้สื่อบุคคลเป็นสื่อที่ไม่หลักฐานอ้างอิงชัดเจน (มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, ม.ป.ป.) อาจส่งผลต่อพฤติกรรมสุขภาพต่าง ๆ ตามมา

ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีพัฒนาทักษะการแสวงหาและการเข้าถึงแหล่งข้อมูลด้านสุขภาพที่หลากหลายและมีความน่าเชื่อถือให้มากขึ้นในกลุ่มผู้สูงอายุ โดยเฉพาะช่องทางออนไลน์ที่จะทำให้ได้รับข้อมูลที่ทันสมัยและเข้าถึงได้ทุกที่ทุกเวลา

2) ควรมีการพัฒนาทักษะการสื่อสารข้อมูลด้านสุขภาพให้แก่สื่อบุคคล ได้แก่ บุคลากรทางการแพทย์ อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน และบุคคลในชุมชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสื่อสารข้อมูลกับผู้สูงอายุ ซึ่งมีข้อจำกัดการเข้าถึงข้อมูล และเน้นประเด็นการป้องกันโรคและการสร้างเสริมสุขภาพ เพื่อให้สื่อบุคคลสามารถเป็นแหล่งข้อมูลที่มีคุณภาพให้กับผู้สูงอายุได้

เอกสารอ้างอิง

คณะกรรมการผู้สูงอายุแห่งชาติ กรมกิจการผู้สูงอายุ กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. (2563). แผนปฏิบัติการด้านผู้สูงอายุระยะที่ 2 (พ.ศ.2545-2565) ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2 พ.ศ.2563. 120 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กรมกิจการผู้สูงอายุ.

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. สื่อบุคคล (Personal Media. [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://elearning.psru.ac.th/courses/39/Chapter%201%20Personal%20Media.pdf เมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2564 / ม.ป.ป.

ระวีวรรณ ทรัพย์อินทร์ และ ญาศิณี เคารพธรรม. (2560). "สื่อกับผู้สูงอายุในประเทศไทย", **วารสารนิเทศศาสตร์ธุรกิจบัณฑิตย์**. 11(2), 357-387.

วินัย ไตรนาทถวัลย์ และคณะ. (2563). "พฤติกรรมการแสวงหาข้อมูลด้านสุขภาพของผู้สูงอายุในยุคดิจิทัล", **วารสารศูนย์การศึกษาแพทยศาสตร์คลินิก โรงพยาบาลพระปกเกล้า.** 37(4), 356-363.

Agyemang-Duah, W., Arthur-Holmes, F., Peprah, C. *et al.* (2020). "Dynamics of health information-seeking behaviour among older adults with very low incomes in Ghana: a qualitative study", **BMC Public Health.** 20, 928.

Battineni, G., Baldoni, S., Chintalapudi, N. *et al.* (2020). "Factors affecting the quality and reliability of online health information" **DIGITAL HEALTH**. 6, 1-11.

Brown-Johnson, C. G., Boeckman, L. M., White, A. H., *et al.* (2018). "Trust in Health Information

Sources: Survey Analysis of Variation by Sociodemographic and Tobacco Use Status in Oklahoma", **JMIR public health and surveillance**. 4(1), e8.

Chaudhuri S, Le T, White C, Thompson H, & Demiris G. (2013). "Examining health information-seeking behaviors of older adults." **Computer, Informatics, Nursing**. 31(11), 547-53.

Chen, X., Hay, J. L., Waters, E. A. *et al.* (2018). "Health Literacy and Use and Trust in Health Information", **Journal of health communication**. *23*(8), 724–734.

Chesser, A. K., Keene Woods, N., Smothers, K., & Rogers, N. (2016). "Health Literacy and Older Adults: A Systematic Review". **Gerontology & geriatric medicine**. 2(2333721416630492) https://doi.org/10.1177/2333721416630492

Nutbeam, D. (2000). "Health literacy as a public health goal: a challenge for contemporary health education and communication strategies into the 21st century", **Health Promotion International**. 15(3), 259–267.

Sørensen, K., Van den Broucke, S., Fullam, J. *et al.* (2012). "Health literacy and public health: a systematic review and integration of definitions and models", **BMC public health**, 12(80).

Turner, A. M., Osterhage, K. P., Taylor, J. O., Hartzler, A. L., & Demiris, G. (2018). "A Closer Look at Health Information Seeking by Older Adults and Involved Family and Friends: Design Considerations for Health Information Technologies.". **Annual Symposium proceedings 2018**, 1036–1045.

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและมวลโมเลกุลของโปรตีนในข้าวเม่า
Determination of Antioxidant activity and molecular weight of protein in Khao-Mao

จินดา จันดาเรือง,[1] สุทธิเดช ปรีชารัมย์,[2] วัสยษฎ์ อนันต์ปรีชากร[3] และกฤตภาส วงค์มา[3]
Jinda Jandaruang,[1] Sutthidech Preecharram,[2] Watsayod Ananpreechakorn[3] and Krittaphat Wongma[3]
[1] สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 4700
อีเมล์ jinda.j@snru.ac.th
[2]ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติจังหวัดสกลนคร 47000
อีเมล์ preecharram@gmail.com
[3]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 4700
อีเมล์ watsayod.a@snru.ac.th, krittaphat@snru.ac.th,

บทคัดย่อ

ข้าวเม่า คือข้าวที่ทำจากข้าวเปลือกที่ยังไม่แก่จัด นำมาคั่วแล้วตำให้เปลือกแตกหลุดออกไป มีลักษณะแบน นุ่ม สีเขียว ข้าวเม่านำมารับประทานเป็นของหวานและของกินเล่น นิยมผลิตในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและขนาดมวลโมเลกุลโปรตีน ในข้าวเม่าทั้งหมด 6 สายพันธุ์ คือ ลาวญวณ กข6 อิเหลือง สันปาตอง ญี่ปุ่น และหอมนางนวล จากผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH Scavenging Assay พบว่าสารสกัดจากข้าวเม่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงร้อยละ 61.340 - 71.874 โดยสารสกัดจากข้าวเม่าสายพันธุ์ กข6 มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด คือร้อยละ 71.874 ส่วนการศึกษาขนาดมวลโมเลกุลของโปรตีนในข้าวเม่าด้วยวิธี SDS-PAGE พบว่าตัวอย่างข้าวเม่าทั้ง 6 สายพันธุ์ มีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง 14.4 - 97 kDa จากข้อมูลที่ได้นี้อาจจะสนับสนุนการขายผลิตภัณฑ์ข้าวเม่าในเชิงพาณิชย์ได้ดีขึ้น

คำสำคัญ : (สารต้านอนุมูลอิสระ ข้าวเม่า โปรตีน)

Abstract

Khao Mao is rice made from unripe paddy rice. Rice grains were roasted and then pounded until the shell is broken off, it looks flat, soft and green. Khao Mao is eaten as a dessert and a snack. It is popularly produced in the Northeast of Thailand. The aims of this study was to analyze antioxidant activity and molecular weight of protein of 6 varieties young flatten rice, Laos Wan, Kor Khor6, Ai Lueng, San Pa Tong, Japan and Hom Nang Nuan. The antioxidant activity was determined by DPPH scavenging assay which inhibition values are in the range of 61.340 - 71.874%. The Kor Khor6 showed the highest antioxidant activity with 7 1 .8 7 4%. SDS-PAGE was used to identify molecular weight of protein, it was found that all samples were shown in the range of 14.4 - 97 kDa. The gained knowledge will support the commercial saling of Khao-Mao products.

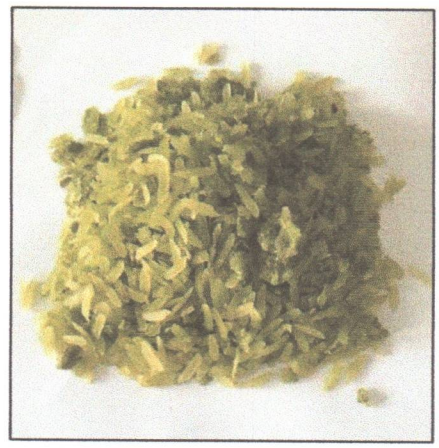
Keywords : (antioxidants, young flatten rice, protein)

บทนำ

ข้าวเม่า คือข้าวแปรรูปพร้อมรับประทาน มีลักษณะ เมล็ดแบน นุ่ม สีเขียว มีวิธีการทำที่ง่าย โดยเริ่มจากการเก็บเกี่ยวข้าวที่มีอายุประมาณ 75-90 วัน แล้วแยกเมล็ดข้าวออกจากรวงมาล้างทำความสะอาด และคั่วโดยใช้ไฟแรง แล้วนำมาตำ และฝัดให้เปลือกข้าวหลุดออก (มะลิ นาชัยสินธุ์, ปริย นิลแสงรัตน์ และเอกสิทธิ์ สุทธะพินทุ, 2559, หน้า 88-95.) จะได้ข้าวเม่า ที่อุดมไปด้วยเส้นใยอาหาร ไขมัน วิตามินบี1 วิตามินบี2 ไนอาซิน ธาตุเหล็ก ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโปรตีน มีรายงานการวิจัยการศึกษาโปรตีนจากรำข้าวด้วยวิธี SDS-PAGE พบว่ารำข้าวมีโปรตีนหลักสามชนิด ได้แก่ โปรตีนตั้งต้นของกลูเตลิน กลูเตลินและโปรลามีน รวมถึงโปรตีนโมเลกุลเล็กกว่า 18 kDa ที่อาจเป็นเอนไซม์กลอบูลินและอัลบูมินอื่นๆ ด้วย (ณัฐชัย เที่ยงบูรณธรรม และอภิชาติ กาญจนทัต, 2557) นอกจากนี้ยังมี เบต้าแคโรทีน วิตามินอี ไนอาซิน กรดโฟลิก ทองแดง และมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ฟีนอลิกรวม คลอโรฟิลล์ และมีแกมมาอะมิโนบิวทาริคแอซิด ซึ่งเป็นสารอาหารที่ดีต่อสุขภาพร่างกาย และยังช่วยให้สุขภาพจิตดี มีความตื่นตัว มีสมาธิสูง ช่วยปรับระดับกลูโคส และสารอาหารรองในสมอง ช่วยให้ระบบการทำงานของสมองดี และบำรุงกำลัง (เพชรรัตน์ จงสกุลศรี, 2553, หน้า 5-7. กรมอนามัยม, 2535) มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวเม่าที่ได้จากอำเภอตระการพืชผล (KM1) และอำเภอพิบูลมังสาหาร (KM2) ในจังหวัดอุบลราชธานี ประเทศไทย พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพของ KM1 และ KM2 ไม่แตกต่างกัน ส่วนสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ มี cycloartenylferulate 13.01 มิลลิกรัมต่อ100 กรัม, 24 methylenecyclo-artanylferulate 21.50 มิลลิกรัมต่อ100 กรัม, campesterylferulate 33.11 มิลลิกรัมต่อ100 กรัม, sitosterylferulate 45.27 มิลลิกรัมต่อ100 กรัม และ total-Oryzanol 112.80 มิลลิกรัมต่อ100 กรัม ใน KM2 ซึ่งสูงกว่า KM1 แต่ KM1 มีปริมาณกรดอะมิโนบิวทาริค แอซิด สูง (7.71 มิลลิกรัมต่อ100 กรัม) สูงกว่า KM2 (4.07 มิลลิกรัมต่อ100 กรัม) (Ekasit and Jiraporn, 2013 pp.1327-1332.)

การทำข้าวเม่าเป็นวิถีชีวิตของคนอีสานที่มีอาชีพทำนา โดยนำข้าวระยะก่อนเก็บเกี่ยวมาแปรรูปเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของข้าว ซึ่งข้าวเม่าที่นำมาศึกษาผลิตที่ อำเภอโพนสวรรค์ จังหวัดนครพนม (ตัวอย่างข้าวเม่าแสดงดังภาพที่ 1) ส่วนใหญ่ข้าวเม่าผลิตจากข้าวเหนียวพันธุ์พื้นเมือง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหนียวลาวญวณ ข้าวเหนียวกข6 ข้าวเหนียวอิเหลือง ข้าวเหนียวสันปาตอง ข้าวเหนียวญี่ปุ่น และข้าวเหนียวหอมนางนวล อำเภอโพนสวรรค์ เป็นพื้นที่ที่มีการผลิตข้าวเม่าขายเป็นจำนวนมาก แต่เป็นการผลิตในระดับครัวเรือน ที่ยังไม่มีกระบวนการในการควบคุมคุณภาพของข้าวเม่า เช่น การคั่ว การตำ การสีและการร่อน และที่สำคัญข้าวเม่าที่ได้จากกระบวนการผลิตยังไม่มีการตรวจสอบปริมาณสารทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และจากการสอบถามผู้ผลิตข้าวเม่าในพื้นที่ พบว่า กลุ่มผู้ผลิตข้าวเม่ามีสภาพปัญหา คือ ต้องการพัฒนาคุณภาพข้าวเม่า จากข้อมูลงานวิจัยพบว่า มีผู้วิจัยเกี่ยวกับข้าวเม่าค่อนข้างน้อย แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการวิจัยเกี่ยวกับข้าวเม่าที่ผลิตในเขตอำเภอโพนสวรรค์ จังหวัดนครพนม

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและขนาดมวลโมเลกุลของโปรตีนในข้าวเม่า จากข้าวเหนียวพันธุ์พื้นเมือง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหนียวลาวญวณ ข้าวเหนียวกข6 ข้าวเหนียวอิเหลือง ข้าวเหนียวสันปาตอง ข้าวเหนียวญี่ปุ่น และข้าวเหนียวหอมนางนวล โดยคาดว่าองค์ความรู้จากงานวิจัยนี้อาจจะนำไปสู่การสนับสนุนการขายข้าวเม่าและเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวเม่าในชุมชนได้



ภาพที่ 1: ตัวอย่างข้าวเม่า ที่ผลิตที่ อำเภอโพนสวรรค์ จังหวัดนครพนม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากข้าวเม่า
2. เพื่อวิเคราะห์ขนาดมวลโมเลกุลของโปรตีนจากข้าวเม่า

วิธีการวิจัย

ตัวอย่างข้าวเม่า

ข้าวเม่าสายพันธุ์ลาวญวณ กข6 อิเหลือง สันปาตอง ญี่ปุ่น และหอมนางนวล ผลิตจาก อำเภอโพนสวรรค์ จังหวัดนครพนม ประเทศไทย

วิธีการผลิตข้าวเม่า

เก็บเกี่ยวข้าวเหนียวสายพันธุ์ต่าง ๆ ในระยะเม่า นำรวงข้าวมาแยกเอาเมล็ดออกจากรวง จากนั้นนำเมล็ดข้าวไปแช่น้ำประมาณ 1-2 ชั่วโมง และคัดเอาเมล็ดที่ลีบออกให้หมด นำเมล็ดข้าวที่แช่น้ำแล้วไปคั่วโดยใช้ความร้อนประมาณ 90 องศาเซลเซียส และใช้ไม้ไผ่คนเมล็ดข้าวตลอดเวลา เพื่อให้ได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง จนข้าวสุก นำเมล็ดข้าวมาผึ่งให้เย็น แล้วนำไปตำด้วยครกกระเดื่อง ทำการฝัดเพื่อแยกเอาเปลือกข้าวออก การตำและการฝัดต้องทำซ้ำ 3-4 รอบ จนกว่าจะแยกเปลือกข้าวออกได้หมด ได้ข้าวเม่าที่สะอาด แล้วเก็บใส่ถุงพลาสติก เก็บที่อุณภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับทำการทดลองต่อไป

การสกัดข้าวเม่า

นำตัวอย่างข้าวเม่าที่บดละเอียดแล้ว 100 กรัม เติมเอทานอลความเข้มข้น 80% v/v ในอัตราส่วน 1:3 w/v (ข้าว : เอทานอล) นำไปบ่มเขย่าด้วยเครื่องบ่มเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 rpm ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,500 rpm ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกตะกอน นำสารละลายที่ได้ไประเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน จนสารละลายแห้ง จะได้สารสกัดหยาบข้าวเม่า เก็บสารสกัดในภาชนะปิดมิดชิดและเก็บที่อุณภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ทำการทดลองการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH Scavenging assay

นำสารสกัดหยาบข้าวเม่าแต่ละชนิด ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มาอย่างละ 50 ไมโครลิตรเติมลงในหลอดทดลองแต่ละหลอดที่มี 150 ไมโครลิตรของสารละลาย 0.1 มิลลิโมลาร์ DPPH จากนั้นนำไปบ่มในที่มืด ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ตัวอย่างควบคุมคือ สภาวะเดียวกับตัวอย่างทดลอง ยกเว้นไม่เติมตัวอย่างทดลอง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (Jinda Jandaruang, et al. 2012, pp. 43-50.) คำนวณหาร้อยละการยับยั้ง จากสมการที่ 1

$$\% \text{ Inhibition} = \left[\frac{\text{Control}_{OD}\text{-Sample}_{OD}}{\text{Control}_{OD}}\right] \text{ X } 100 \qquad (1)$$

เมื่อ Control_{OD}= ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างควบคุม
Sample_{OD} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างสารสกัดข้าวเม่าแต่ละชนิด

การหาขนาดโมเลกุลของโปรตีน ด้วยวิธี SDS-PAGE

1) การสกัดตัวอย่าง

นำเมล็ดข้าวที่ได้มาปั่นให้ละเอียด เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.45 % ลงในตัวอย่างโดยใช้อัตราส่วน 1 : 20% w/v (ข้าว : โซเดียมไฮดรอกไซด์) นำไปบ่มเขย่าที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 150 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องบ่มเขย่า นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,500 rpm เป็นเวลา 10 นาที ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง เก็บส่วนใสมาทำการปรับค่า pH ให้เท่ากับ 4.5 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 N เพื่อตกตะกอนโปรตีน ทำการล้างตะกอนโปรตีนด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3,500 rpm เป็นเวลา 10 นาที ล้างตะกอนโปรตีนอีก 3 ครั้ง แล้วนำตะกอนโปรตีนที่ได้เก็บไว้ที่อุณภูมิ -40 องศาเซลเซียส ใช้ในการทดสอบหาขนาดมวลโมเลกุลโปรตีน (Conor, Saunders and Kohler 1976, pp. 488-496.)

2) การหาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Bradford

ปิเปตสารละลายตัวอย่างความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตร ปริมาตร 1 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย Bradford ลงไป 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร หาความเข้มข้นของสารตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานสารละลาย bovine serum albumin (BSA) การเตรียมกราฟมาตรฐาน BSA ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10 และ12 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตร ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับตัวอย่าง ยกเว้นเปลี่ยนสารตัวอย่างเป็นสารมาตรฐาน BSA (Bradford, 1976, pp. 248-254.)

3) การหาขนาดมวลโมเลกุลโปรตีนด้วยวิธี SDS-PAGE

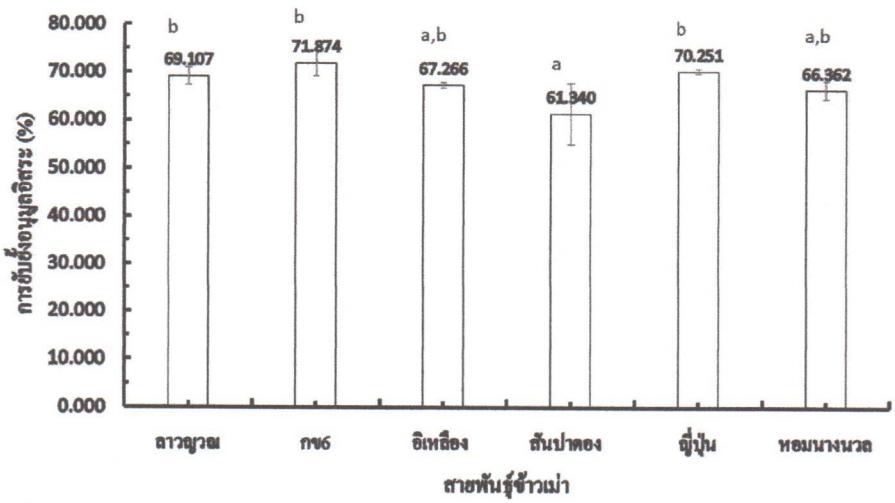
นำสารตัวอย่างมาผสมกับ 2X solubilizing buffer ในอัตราส่วน 1: 1 นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที เติมโปรตีนมาตรฐานและสารตัวอย่างลงในแผ่นเจลในแต่ละช่อง ทำการแยกโปรตีนด้วย 14% T separating gel, 4% T stacking gel โดยใช้กระแสไฟฟ้า 150 โวลต์จนกระทั่งทำการแยกสมบูรณ์ ย้อมโปรตีนโดยใช้ 0.1% Coomassie Brilliant blue R-250 ล้างสีย้อมออกจนเห็นแถบโปรตีนชัดเจน และวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของโปรตีน เพื่อคำนวณหาขนาดมวลโมเลกุลเทียบกับกราฟมาตรฐานของโปรตีนมาตรฐาน (Palmer, 2007, pp. 353-357.)

ผลการวิจัยและอภิปราย

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวเม่า

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากข้าวเม่า จำนวน 6 สายพันธุ์ โดยใช้ความเข้มข้นสารสกัด 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงร้อยละ 61.340-71.874 โดยข้าวเม่าพันธุ์กข6 มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด คือร้อยละ 71.874 รองลงมาคือ ข้าวเม่าพันธุ์ญี่ปุ่น ข้าวเม่าพันธุ์ลาวญวณ ข้าวเม่าพันธุ์อิเหลือง ข้าวเม่าพันธุ์หอมนางนวล และข้าวเม่าพันธุ์สันปาตอง มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับร้อยละ 70.251, 69.107, 67.340, 66.326 และ 60.340 ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) จัดได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม a – b ดังภาพที่ 2 การที่ข้าวเม่ามีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระอาจจะเป็นไปได้ว่ามาจากผลของโปรตีน กล่าวคือ โปรตีนเกิดจากกรดอะมิโนมาต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเปปไทด์ ซึ่งในกรดอะมิโนมีหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) และหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ที่สามารถให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระได้ จึงสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ นอกจากนี้กรดอะมิโนบางกลุ่มยังมีหมู่โซ่ข้างที่สามารถให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระได้ เช่น กรดอะมิโนกลุ่มที่มีประจุบวก คือ กรดอะมิโนอาร์จีนีน ฮีสทิดีน และไลซีน กรดอะมิโนกลุ่มที่มีประจุลบ ได้แก่ กรดอะมิโน แอสปาร์ติก และกลูตามิก และกรดอะมิโนกลุ่มที่มีขั้วแต่ไม่

แสดงประจุ เช่น กรดอะมิโน เซอรีน ทรีโอนีนและไทโรซีน ซึ่งมี หมู่ –OH ที่หมู่โซ่ข้าง และกรดอะมิโน แอสพาราจีนและกลูตามีน ที่มีหมู่ $-NH_2$ ที่หมู่โซ่ข้าง โปรตีนโปรลามิน เป็นโปรตีนที่พบในข้าวเม่าที่มีขนาดมวลโมเลกุล 14.4 kDa เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนกรดกลูตามิกอยู่ในโมเลกุลจำนวนมาก ซึ่งกรดอะมิโนกรดกลูตามิกมีหมู่โซ่ข้างเป็นหมู่ COOH ที่สามารถให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระได้ นอกจากโปรตีนแล้วสารประกอบฟีนอลิกเป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดี โดยปกติแล้วจะพบสารประกอบฟีนอลิกได้ในพืชและธัญพืช สารประกอบฟีนอลิกสามารถให้อะตอมไฮโดเจน ตรงหมู่ฟังก์ชัน OH ไปจับกับอนุมูลอิสระ เพื่อให้อนุมูลอิสระมีความเสถียร เมื่อให้อะตอมไฮโดรเจนกับอนุมูลอิสระอื่นแล้ว โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกจะเกิดความเสถียรเช่นกัน จึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่น



ภาพที่ 2 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH scavenging assay จากข้าวเม่าสายพันธุ์ต่าง ๆ

การวิเคราะห์ขนาดมวลโมเลกุลโปรตีน ด้วยวิธี SDS-PAGE

SDS-PAGE เป็นวิธีการหาขนาดมวลโมเลกุลของโปรตีน โดยโปรตีนที่จะนำมาวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE ต้องมีปริมาณเท่ากัน ซึ่งสามารถหาปริมาณโปรตีนได้ด้วยวิธี Bradford กราฟมาตรฐานสำหรับการหาปริมาณโปรตีนมีสมการเส้นตรง คือ $y = 0.019x - 0.0051$; $R^2 = 0.9958$ ใช้สำหรับนำมาคำนวณหาปริมาณโปรตีนของสารสกัดข้าวเม่าชนิดต่าง ๆ ให้ได้เท่ากับ 10 ไมโครกรัม เพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนที่เท่ากันสำหรับนำไปทำ SDS-PAGE

ผลการวิเคราะห์ขนาดมวลโมเลกุลของโปรตีนด้วย SDS-PAGE แสดงดังตารางที่ 1 พบว่าข้าวเม่าสายพันธุ์ลาวญวณและข้าวเม่าสายพันธุ์กข6 มีโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุล 45, 20, 14.4 kDa ข้าวเม่าสายพันธุ์อิเหลือง มีโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุล 50.25, 45, 25 kDa ข้าวเม่าสายพันธุ์สันปาตอง มีโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุล 66, 50.25, 45, 25, 14.4 kDa ข้าวเม่าสายพันธุ์ญี่ปุ่น มีโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุล 97, 66, 50.25, 45, 25, 14.4 kDa ข้าวเม่าสายพันธุ์หอมนางนวล มีโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุล 50.25, 14.4 kDa แถบแบนโปรตีนจากสารสกัดของข้าวเม่าสายพันธุ์ลาวญวณ กข6 อิเหลือง สันปาตอง และญี่ปุ่น มีขนาดมวลโมเลกุลโปรตีนที่คล้ายกันคือขนาด 45 kDa และแถบแบนโปรตีนจากสารสกัดของข้าวเม่าสายพันธุ์ลาวญวณ กข6 สันปาตอง ญี่ปุ่น และหอมนางนวล มีขนาดมวลโมเลกุลโปรตีนที่คล้ายกัน คือ ขนาด 14.4 kDa

จากการวิเคราะห์ขนาดมวลโมเลกุลของโปรตีนจากข้าวเม่าสายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่ามีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 97 - 14.4 kDa ขนาดมวลโมเลกุลเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับโปรตีนที่พบในข้าว คือโปรตีนโปรลามิน ที่มีมวลโมเลกุล 14.4 kDa (Mehar, Shah, Abbasi and Rabbani, 2011, pp. 2147-2152.) โปรตีนฟอสโฟริเลส ที่มีมวลโมเลกุล 97 kDa โปรตีน

คาร์บอนิกแอนไฮเดรส ที่มีมวลโมเลกุล 30 kDa โปรตีนทริปซินอินฮิบิเตอร์ ที่มีมวลโมโมเลกุล 20 kDa โดยโปรตีนโปรลามิน ช่วยในการเจริญเติบโต มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ละลายได้ดีในเอทานอล เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนโพรลีนและกรดกลูตามิกอยู่ในโมเลกุลจำนวนมาก ส่วนโปรตีนกลูเตลิน ที่มีขนาดโมเลกุลเท่ากับ 22 และ 40 kDa มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีในกรดหรือด่างที่เจือจาง ช่วยบำรุงพืชเมื่อเมล็ดงอก และโปรตีนอัลบูมินมีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำ มีความจำเป็นต่อผู้ป่วยโรคตับ และโรคมะเร็งตับ เนื่องจากผู้ป่วยโรคตับและมะเร็งตับ ส่วนใหญ่มักจะมีอาการบวมน้ำ เพราะมีภาวะอัลบูมินต่ำ โปรตีนอัลบูมินมีคุณสมบัติช่วยอุ้มน้ำ และมีน้ำเป็นองค์ประกอบเป็นจำนวนมาก จากผลการวิจัยนี้พบโปรตีน กลูเตลินและโปรลามีน เช่นเดียวกับการศึกษาโปรตีนจากรำข้าวธัญสิรินและข้าวหอมล้านนา (ณัฐชัย เที่ยงบูรณธรรม และอภิชาติ กาญจนทัต. (2557) ดังนั้นข้าวเม่าจึงเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวแปรรูปที่น่ารับประทาน เพราะนอกจากความหอม นุ่มแล้ว ยังมีโปรตีน โปรลามิน โปรตีนกลูเตลิน และโปรตีนอัลบูมิน ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค

ตารางที่ 1 ระยะทางการเคลื่อนที่ของแบนโปรตีน และขนาดมวลโมเลกุลโปรตีนของสารสกัดข้าวเม่าสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่ศึกษาด้วยวิธี SDS-PAGE

ชนิดของข้าวเม่า	ระยะทางการเคลื่อนที่ของแบนโปรตีน (เซนติเมตร)	ขนาดมวลโมเลกุล (kDa)
ลาวญวณ	3.7, 4.6, 4.9	45, 20, 14.4
กข6	3.7,4.6, 4.9	45, 20, 14.4
อิเหลือง	3.5, 3.7, 4.3	50.25, 45, 25
สันปาตอง	2.9, 3.5, 3.7, 4.3 , 4.9	66, 50.25, 45, 25, 14.4
ญี่ปุ่น	1.8, 2.9, 3.5, 3.7, 4.3, 4.9	97, 66, 50.25, 45, 25, 14.4
หอมนางนวล	3.5, 4.9	50.25, 14.4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากข้าวเม่า ทั้ง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ ลาวญวณ กข6 อิเหลือง สันปาตอง หอมนางนวล และญี่ปุ่น พบว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงร้อยละ 61.340 - 71.874 โดยข้าวเม่าสายพันธุ์กข6 มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด คือร้อยละ 71.874 ส่วนการศึกษาขนาดมวลโมเลกุลของโปรตีนในข้าวเม่าด้วยวิธี SDS-PAGE พบว่าตัวอย่างข้าวเม่าทั้ง 6 สายพันธุ์ มีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง 14.4 - 97 kDa

การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการขายผลิตภัณฑ์ข้าวเม่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ได้สนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมอนามัย. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. กองโภชนาการ. กระทรวงสาธารณสุข. โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก, กรุงเทพฯ. 2535.

ณัฐชัย เที่ยงบูรณธรรม และอภิชาติ กาญจนทัต. (2557). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การจำแนกชนิดโปรตีนองค์ประกอบของข้าวธัญสิริญและหอมล้านนา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

เพชรรัตน์ จงสกุลศรี. (2553). ผลิตภัณฑ์ข้าวเม่าหมี่ธัญพืชเสริมแคร์อทอัดแท่ง. ปริญญามหาบัณฑิต คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

มะลิ นาชัยสินธุ์, ปริย นิลแสงรัตน์ และเอกสิทธิ์ สุทธะพินทุ. (2559). การปรับปรุงคุณภาพข้าวเม่ากึ่งสำเร็จรูป. **วารสารวิจัยเพื่อพัฒนาสังคมและชุมชน.** 2559(3), 88-95.

Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal Biochem**. 1976(72),248-54.

Conor, M.A., Saunders, R.M. and Kohler, G.O. (1976). Rice bran protein concentrates obtained by wet alkaline extraction. **Cereal Chem**. 1976(53),488-496.

Ekasit, O. and Jiraporn, B. (2013). Some physical characteristics and bioactive compounds of young flattened rice (Khao-Mao). **International Food Research Journal**. 2013(20),1327-1332.

Jandaruang, J., J. Siritapetawee, K. Thumanu, C. Songsiriritthigul, C. Krittanai, S. Daduang, A. Dhiravisit and S. Thammasirirak. (2012). The effects of temperature and pH on secondary structure and antioxidant activity of *Crocodylus siamensis* hemoglobin. **Protein J.** 2012(3),43-50.

Mehar, S., Shah, A., Abbasi, F. and Rabbani, A.M. (2011). Interspecific variation of total seed protein in wild rice germplasm using SDS-PAGE. **Pakistan Journal of Botany.** 2011(43),2147-2152.

Palmer, M.L.D.A. F. (2007). Purification of bovine hemoglobin via fast performance liquid chromatography. **J CHROMATOGR B**. 2007(856),353-357.

Sci2.3-3

NCST R2R2022

National Conference on Science and Technology, and Routine to Research - 2022

การประชุมวิชาการระดับชาติทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
งานประจำสู่งานวิจัย พ.ศ. 2565

วันที่ 26-27 พฤษภาคม 2565 รูปแบบ Onsite ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์การศึกษาสามพร้าว)
และ Online ด้วยระบบ Visual Conference

Proceedings Book

ORGANIZERS

คำสั่งคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ที่ ๐๐๐๖/๒๕๖๕

เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานงานประชุมวิชาการระดับชาติทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สายวิชาการ) และงานประชุมวิชาการระดับชาติงานประจำสู่งานวิจัย (สายสนับสนุน)

National Conference on Science and Technology, and Routine to Research NCST-R2R2022

****

ด้วยคณะวิทยาศาสตร์ร่วมกับคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี จะจัดโครงการงานประชุมวิชาการระดับชาติทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สายวิชาการ) และงานประชุมวิชาการระดับชาติงานประจำสู่งานวิจัย (สายสนับสนุน) ประจำปี ๒๕๖๕ ขึ้นระหว่างวันที่ ๒๖ - ๒๗ พฤษภาคม ๒๕๖๕ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว เพื่อเป็นการเผยแพร่ผลงานวิจัยทั้งในสายวิชาการและสายสนับสนุน ให้ได้มีเวทีในการนำเสนอผลงานวิจัยของตนเองสู่สาธารณชน และพัฒนาคุณภาพของงานวิจัย

ดังนั้น เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีประสิทธิภาพ คณะวิทยาศาสตร์จึงแต่งตั้งคณะทำงานงานประชุมวิชาการระดับชาติทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สายวิชาการ) และงานประชุมวิชาการระดับชาติงานประจำสู่งานวิจัย (สายสนับสนุน) National Conference on Science and Technology, and Routine to Research NCST-R2R2022 ซึ่งมีรายนามดังต่อไปนี้

๑. คณะทำงานฝ่ายอำนวยการ

๑.๑ ดร.อภิรักษ์ ลอยแก้ว	ประธานกรรมการคณะวิทยาศาสตร์
๑.๒ รศ.ดร.สุนทร สุทธิบาก	ประธานกรรมการคณะเทคโนโลยี
๑.๓ รศ.ดร.กริช สมกันธา	รองประธานกรรมการ
๑.๔ รศ.ดร.กฤษณพงศ์ สมสุข	รองประธานกรรมการ
๑.๕ ดร.จิรเดช อย่าเสียสัตย์	กรรมการ
๑.๖ ดร.วิวรรธน์ แก่นสา	กรรมการ
๑.๗ ผศ.ดร.วราจิต พยอม	กรรมการ
๑.๘ ผศ.สิทธิพร พันธุระ	กรรมการ
๑.๙ อาจารย์เพลินพิศ แจ้งโพธิ์นาค	กรรมการ
๑.๑๐ ดร.รุ่งฤดี ศรีสำอางค์	กรรมการ
๑.๑๑ อาจารย์ปัญญา สาโสภา	กรรมการ

/ ๑.๑๒ รศ.ดร....

๑.๑๒ รศ.ดร.ทรงกฎ อุตรา	กรรมการ
๑.๑๓ รศ.ดร.สุมาลินทร์ พ่อค้า	กรรมการ
๑.๑๔ ผศ.ดร.วิวรรธน์ แสงภักดี	กรรมการ
๑.๑๕ ผศ.ดร.วัฒพงษ์ พันอินากูล	กรรมการ
๑.๑๖ ผศ.ดร.พัชราภรณ์ ไชยศรี	กรรมการ
๑.๑๗ ผศ.ดร.ลลิตภัทร ดีรักษา	กรรมการ
๑.๑๘ ผศ.ดร.ภูษณพาส สมนิล	กรรมการ
๑.๑๙ ผศ.ดร.สรฉัตร เทียมดาว	กรรมการ
๑.๒๐ ผศ.วิไลพร กุลตังวัฒนา	กรรมการ
๑.๒๑ ผศ.ธนัมพร ทองลอง	กรรมการ
๑.๒๒ ผศ.เอราวัณ เบ้าทอง	กรรมการ
๑.๒๓ ผศ.ดร.เพียว ผาใต้	กรรมการ
๑.๒๔ ดร.สุรียรัตน์ แสงอุทัย	กรรมการ
๑.๒๕ อาจารย์สันติภาพ ศิริวัฒนไพบูลย์	กรรมการ
๑.๒๖ ดร.ชัญญา ทิศกลาง	กรรมการ
๑.๒๗ ดร.วันทนี รัฐสมุทร	กรรมการ
๑.๒๘ ดร.วินัย มีแสง	กรรมการ
๑.๒๙ ดร.ปิยวัจน์ ค้าสบาย	กรรมการ
๑.๓๐ อาจารย์วิศรุต นามมหาจักร	กรรมการ
๑.๓๑ ดร.วณิชยา จรูญพงษ์	กรรมการและเลขานุการ

หน้าที่: อำนวยการและให้ความสะดวกแก่คณะทำงานทุกฝ่าย เสนอขออนุมัติ จัดประชุมวิชาการ ติดตามการดำเนินการ จัดประชุมคณะทำงาน และเป็นสื่อกลางในการประสานงานฝ่ายต่างๆ และหาผู้ให้การสนับสนุน

๒. คณะทำงานฝ่ายพิธีการและเลี้ยงรับรอง

๒.๑ ดร.วินัย มีแสง	ประธานกรรมการ
๒.๒ ผศ.ดร.อภิชาติ ศรีชาติ	รองประธานกรรมการ
๒.๓ ผศ.ดร.พัชราภรณ์ ไชยศรี	กรรมการ
๒.๔ ผศ.ดร.ลลิตภัทร ดีรักษา	กรรมการ
๒.๕ ผศ.ดร.บัวหลัน คุ้มไพทูลย์	กรรมการ
๒.๖ ดร.ปุญญารัสม์ จันทชุม	กรรมการ
๒.๗ ดร.เบญจธรรม สุขณีวัฒน์	กรรมการ
๒.๘ ดร.สรญา แสนมาโนช	กรรมการ
๒.๙ ดร.อนวัช ภูทองนาค	กรรมการ

/ ๒.๑๐ ดร.นิภาวรรณ...

๒.๑๐ ดร.นิภาวรรณ ลาภบุญเรือง กรรมการ
๒.๑๑ อาจารย์นงนภสร ทองศิลา กรรมการ
๒.๑๒ อาจารย์เศรษฐพงศ์ อัปมะเย กรรมการ
๒.๑๓ อาจารย์สาธิต ทองสุกงาม กรรมการ
๒.๑๔ อาจารย์ฐานิศร กนกเลิศฤทธิ์ กรรมการ
๒.๑๕ นางทัศมาลี โรสซอร์ กรรมการและเลขานุการ

หน้าที่: ๑. ประสานงานต้อนรับผู้บริหาร คณาจารย์ ผู้เข้าร่วมงาน หน่วยงานร่วมจัด และแขกรับเชิญ
๒. จัดหาพิธีกรในวันเปิด-ปิด
๓. จัดเตรียมอาหารและเครื่องดื่ม สำหรับผู้เข้าร่วมประชุม/วิทยากร/ผู้วิพากษ์ ในแต่ละห้องประชุมย่อย
๔. คิดไอเดีย และออกแบบรูปแบบงานประชุมวิชาการ
๕. ประสานฝ่ายคณะกรรมการฝ่ายสถานที่และโสตทัศนูปกรณ์

๓. คณะทำงานฝ่ายประชาสัมพันธ์

๓.๑ ผศ.ดร.สรณัตร เทียมดาว ประธานกรรมการ
๓.๒ ดร.วรรณศิริ วรรณสืบเชื้อ รองประธานกรรมการ
๓.๓ อาจารย์อัจฉริยา สุริยา กรรมการ
๓.๔ ผศ.ดร.พัชราภรณ์ ไชยศรี กรรมการ
๓.๕ ผศ.ดร.เพียว ผาใต้ กรรมการ
๓.๖ อาจารย์ขวัญชัย สุขแสน กรรมการ
๓.๗ อาจารย์ณรรฐวรรณ์ พูลสน กรรมการ
๓.๘ ดร.ฐิติกาญจน์ มูลสาร กรรมการ
๓.๙ ผศ.ธนัมพร ทองลอง กรรมการ
๓.๑๐ นายธนพล บุษบา กรรมการ
๓.๑๑ นางสาวศรีแพร วิเศษศรี กรรมการ
๓.๑๒ นางสาวปาหนัน เวชสาน กรรมการ
๓.๑๓ นางสาวศศิธร ดลปัดชา กรรมการและเลขานุการ

หน้าที่: ๑. จัดเตรียม VCD งานประชุมวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์ และ VCD ที่น่าสนใจ
๒. ประสานเจ้าหน้าที่โสตทัศนูปกรณ์เพื่อช่วยในงานประชุมวิชาการ
๓. ประชาสัมพันธ์การจัดประชุมวิชาการ เช่น เว็บไซต์ Facebook และจดหมายไปยังมหาวิทยาลัยต่างๆ
๔. จัดทำงานกราฟฟิกของงานประชุมวิชาการ เช่นโปสเตอร์งานประชุม
๕. หาผู้สนับสนุนงบประมาณจากภายนอก

/ ๔. คณะทำงาน...

๔. คณะทำงานฝ่ายระบบสารสนเทศงานประชุมวิชาการ

๔.๑ ดร.ปิยวัจน์ ค้าสบาย	ประธานกรรมการ
๔.๒ ผศ.วิไลพร กุลตังวัฒนา	รองประธานกรรมการ
๔.๓ รศ.ดร.กริช สมกันธา	กรรมการ
๔.๔ ดร.มงคล ทะกอง	กรรมการ
๔.๕ ผศ.ดร.พิศณุ ชัยจิตวณิชกุล	กรรมการ
๔.๖ ผศ.ดร.ศรุติ อัศวเรืองสุข	กรรมการ
๔.๗ ผศ.อรอนงค์ ทองหล่อ ทะกอง	กรรมการ
๔.๘ ผศ.ปณิธาน เฆฆกมล	กรรมการ
๔.๙ ผศ.ดร.สาวิตรี บุญมี	กรรมการ
๔.๑๐ อาจารย์ชลิดา เสน่ห์เมือง	กรรมการ
๔.๑๑ อาจารย์นิติ นิมะลา	กรรมการ
๔.๑๒ นายไชยวัฒน์ หอมแสง	กรรมการ
๔.๑๓ ว่าที่ร้อยเอกวัชภูมิ เพชรแสงใส	กรรมการและเลขานุการ

หน้าที่: ๑. จัดทำเว็บไซต์งานประชุมวิชาการ

๒. จัดทำระบบสารสนเทศ ส่งบทความวิชาการ Online

๓. จัดทำระบบ Visual Conference งานประชุมวิชาการ

๔. ประสานฝ่ายคัดกรองผลงานเพื่อจัดห้องนำเสนอ Online

๕. ประสานบุคคลภายนอก เช่น ตอบคำถามงานประชุมวิชาการ ติดต่อ

๕. คณะทำงานฝ่ายคัดกรองผลงานเพื่อนำเสนอ และวิพากษ์การนำเสนอบทความ และการประกวดผลงาน

๕.๑ รศ.ดร.ทรงกฎ อุตรา	ประธานกรรมการ
๕.๒ รศ.ดร.กฤษณพงศ์ สมสุข	รองประธานกรรมการ
๕.๓ รศ.ดร.สังคม ศุภรัตนกุล	กรรมการ
๕.๔ รศ.ดร.สุมาลิน พ่อค้า	กรรมการ
๕.๕ ผศ.ดร.ศิริ ดวงพร	กรรมการ
๕.๖ ผศ.ดร.ธวัชชัย จำรัสแสง	กรรมการ
๕.๗ ผศ.ดร.วัฒพงษ์ พันอินากูล	กรรมการ
๕.๘ ผศ.ดร.วิวรรธน์ แสงภักดี	กรรมการ
๕.๙ ผศ.ดร.สรฉัตร เทียมดาว	กรรมการ
๕.๑๐ ผศ.ดร.สไว มัฐผา	กรรมการ
๕.๑๑ ดร.พงษ์พันธุ์ ศรีต้นวงศ์	กรรมการ
๕.๑๒ ผศ.ดร.สิทธิ์ชัย หันประทับ	กรรมการ
๕.๑๓ ผศ.เอราวัณ เบ้าทอง	กรรมการ
๕.๑๔ ผศ.ดร.จุฑารัตน์ กุลสันติวงศ์	กรรมการ

/ ๕.๑๕ ผศ.ดร....

๕.๑๕ ผศ.ดร.เพียว ผาใต้	กรรมการ
๕.๑๖ ผศ.ดร.สุขสันติ ประกอบวงษ์	กรรมการ
๕.๑๗ ผศ.ดร.อัจฉรา จินวงษ์	กรรมการ
๕.๑๘ ผศ.ดร.กิ่งจันทน์ มะลิซ้อน	กรรมการ
๕.๑๙ ผศ.อภิชัย แพนพา	กรรมการ
๕.๒๐ ผศ.ตรีรัตน์ เสริมทรัพย์	กรรมการ
๕.๒๑ ผศ.วิไลพร กุลตังวัฒนา	กรรมการ
๕.๒๒ ผศ.ดร.พัชราภรณ์ ไชยศรี	กรรมการ
๕.๒๓ ผศ.ดร.ลลิตภัทร ดีรักษา	กรรมการ
๕.๒๔ ดร.เบญจธรรม สุขณีวัฒน์	กรรมการ
๕.๒๕ ดร.ชัญญา ทิศกลาง	กรรมการ
๕.๒๖ ดร.นิคม วงศา	กรรมการ
๕.๒๗ ดร.นริศ ประชุมรักษ์	กรรมการ
๕.๒๘ ดร.วรรณสิริ ธุระชน	กรรมการ
๕.๒๙ ดร.วันทนี รัฐสมุทร	กรรมการ
๕.๓๐ อาจารย์ดารินทร์ ล้วนวิเศษ	กรรมการ
๕.๓๑ อาจารย์ชาคริต วังคะออม	กรรมการ
๕.๓๒ ดร.วัลยา มงคลสวัสดิ์	กรรมการ
๕.๓๓ ดร.ศศิธร เพชรแสน	กรรมการ
๕.๓๔ ดร.อรรจนา ด้วงแพง	กรรมการ
๕.๓๕ อาจารย์อธิกา จันทนปุ่ม	กรรมการ
๕.๓๖ ผศ.ดร.มงคล กิตติญาณขจร	กรรมการ
๕.๓๗ ผศ.ดร.อิทธิพล สิงห์คำ	กรรมการ
๕.๓๘ ผศ.ไพบูลย์ บุปผา	กรรมการ
๕.๓๙ ดร.วัชรพงศ์ ดีวงษ์	กรรมการ
๕.๔๐ ผศ.ดร.สุนันท์ นวลเพ็ง	กรรมการ
๕.๔๑ ผศ.ดร.ปรีชา ทุมมุ	กรรมการ
๕.๔๒ ดร.ชญานนท์ แสงมณี	กรรมการ
๕.๔๓ ผศ.ดร.อนันต์ เพชรล้ำ	กรรมการ
๕.๔๔ ดร.วลัยลักษณ์ แก้ววงษา	กรรมการ
๕.๔๕ ดร.วณิชยา จรูญพงษ์	กรรมการ
๕.๔๖ ผศ.ดร.มัธณา วงศ์อารีย์	กรรมการ
๕.๔๗ รศ.ดร.นิราวรรณ กุนัน	กรรมการ
๕.๔๘ ดร.กานดา เสาสูง	กรรมการและเลขานุการ

/ หน้าที่:...

หน้าที่: ๑. ตรวจสอบและคัดกรองคุณภาพของงาน

๒. จัดเตรียม Template และตรวจสอบรูปแบบให้ตรงกับงานประชุมวิชาการ

๓. แบ่งกลุ่มและตรวจสอบบทความตามหมวดหมู่

๔. ประสานผู้ทรงคุณวุฒิภายใน-ภายนอก เพื่อคัดกรองผลงาน /ประสานผู้วิพากษ์ผลงานวิจัย

๕. จัดกำหนดการผู้นำเสนอในแต่ละกลุ่ม

๖. จัดทำแบบประเมินผลงาน และส่งผลการประเมินให้กับคณะกรรมการฝ่ายสูจิบัตร และเกียรติบัตร

๗. ประสานกับวารสารของทางมหาวิทยาลัยและที่อื่น

๖. คณะทำงานฝ่ายบรรณาธิการ

๖.๑ ผศ.ดร.ระวี พรหมหลวงศรี	ประธานกรรมการ
๖.๒ รศ.ดร.สุมาลินทร์ พ่อค้า	รองประธานกรรมการ
๖.๓ ผศ.ดร.อภิฌาณ กาญจนวาปสถิตย์	กรรมการ
๖.๔ ผศ.ดร.สิทธิ์ชัย หันประทับ	กรรมการ
๖.๕ ดร.สมชาย ชุมพลกุลวงศ์	กรรมการ
๖.๖ ผศ.ดร.เมทินี วสุนธราวัฒน์	กรรมการ
๖.๗ ผศ.ภากร ไทยพิทักษ์	กรรมการ
๖.๘ ดร.ขวัญทิพา ปานเดชา	กรรมการ
๖.๙ ดร.นิภาวรรณ ลาภบุญเรือง	กรรมการ
๖.๑๐ ดร.สรญา แสนมาโนช	กรรมการ
๖.๑๑ ผศ.ดร.ชนิศา นวนิล	กรรมการ
๖.๑๒ ดร.อาทิตย์ ใจช่วง	กรรมการ
๖.๑๓ ผศ.ดร.บัวหลัน คุ้มไพทูลย์	กรรมการและเลขานุการ

หน้าที่: ๑. จัดทำหนังสือการประชุมทั้งในรูปแบบตัวเล่มและในรูปแบบไฟล์เอกสาร

๒. ในการจัดทำ รวบรวม ตรวจแก้ คัดเลือก ตัดสิน หรือควบคุม เนื้อหาและภาพทั้งหมด

๓. ประสานคณะกรรมการฝ่ายคัดกรองผลงานเพื่อนำเสนอ และวิพากษ์การนำเสนอบทความและการประกวดผลงาน

๗. คณะทำงานฝ่ายสถานที่และโสตทัศนูปกรณ์

๗.๑ ผศ.ธนัมพร ทองลอง	ประธานกรรมการ
๗.๒ อาจารย์อัครเดช มูลอาจ	รองประธานกรรมการ
๗.๓ ว่าที่ร้อยเอกวัชภูมิ เพชรแสงใส	กรรมการ
๗.๔ ผศ.ปริญญา พันธ์พรหม	กรรมการ
๗.๕ อาจารย์กฤษฎา นามบุญเรือง	กรรมการ

/ ๗.๖ อาจารย์...

๗.๖ อาจารย์ทรงยศ ศรีหริ่ง กรรมการ

๗.๗ ดร.ชัยพันธุ์ ประการะพันธุ์ กรรมการ

๗.๘ ผศ.ปองพล แสนสอน กรรมการ

๗.๙ นางสาวศศิธร กิตติราช กรรมการ

๗.๑๐ นางสาวธนาภรณ์ ศรีบุรินทร์ กรรมการ

๗.๑๑ นางสาวศิรประภา ภูสงัด กรรมการ

๗.๑๒ นายวิไลย์ ประทุมเขต กรรมการและเลขานุการ

หน้าที่: ๑. จัดสถานที่เพื่อรองรับกิจกรรมการประชุม

๒. จัดเตรียมป้ายประชุมวิชาการ ฉากเวที

๓. จัดเตรียมเครื่องเสียง บันทึกภาพ วีดีโอ ภายในงานประชุมวิชาการ

๔. จัดห้องประชุมย่อยในแต่ละกลุ่ม

๘. คณะทำงานฝ่ายสูจิบัตร เกียรติบัตร วุฒิบัตร และรางวัล

๘.๑ อาจารย์ภาณุพันธุ์ ชื่นบุญ ประธานกรรมการ

๘.๒ ผศ.ศรัญญา วอขวา รองประธานกรรมการ

๘.๓ ดร.จิญาภา ศรีภิรมย์ กรรมการ

๘.๔ ดร.สุรีรัตน์ แสงอุทัย กรรมการ

๘.๕ ผศ.ทศพร จุลพันธ์ กรรมการ

๘.๖ อาจารย์เรวดี พิพัฒนสูงเนิน กรรมการ

๘.๗ อาจารย์คุณาวุฒิ บุญกว้าง กรรมการ

๘.๘ ผศ.ดร.กษมา ชารีโคตร กรรมการ

๘.๙ ผศ.ดร.รัชนีกร ด่านศิริชัยสวัสดิ์ กรรมการ

๘.๑๐ ดร.ศริสา ทวีแสง กรรมการ

๘.๑๑ ดร.ศศิณี กันยาบุญ กรรมการ

๘.๑๒ ดร.บัววรณ์ ไชยธงรัตน์ กรรมการ

๘.๑๓ ดร.ทิวารัตน์ ศรีราตรี กรรมการ

๘.๑๔ ดร.สุชีรา เหล่าเจริญ กรรมการ

๘.๑๕ อาจารย์ธนวรรณ เพ็งชัย กรรมการ

๘.๑๖ นักศึกษาชุมนุมคอมคิดส์ และชุมนุมไอที กรรมการและเลขานุการ

หน้าที่: ๑. จัดทำ สูจิบัตร เกียรติบัตร และวุฒิบัตร

๒. ของที่ระลึก เช่นเสื้อ หรือ Handy Drive เป็นต้น

๓. จัดเตรียมรางวัล

/ ๙. คณะทำงาน...

๙. คณะทำงานฝ่ายประเมินผลโครงการ

๙.๑ อาจารย์รุ่งใจ แสงทอง	ประธานกรรมการ
๙.๒ ผศ.ดร.ชูเดช ศรีสวัสดิ์	รองประธานกรรมการ
๙.๓ อาจารย์ศิวพร ภูกองทอง	กรรมการ
๙.๔ ดร.อาทิตย์ ใจช่วง	กรรมการ
๙.๕ อาจารย์พรวิมล คล่องสั่งสอน	กรรมการและเลขานุการ

หน้าที่: จัดทำแบบประเมิน และจัดทำรายงานสรุปผลโครงการประชุมวิชาการ

๑๐. คณะทำงานฝ่ายประสานวิทยากร และตัวแทนจากภายนอก

๑๐.๑ ผศ.ดร.ภูษณพาส สมนิล	ประธานกรรมการ
๑๐.๒ อาจารย์กฤษฎากรณ์ ว่องไว	รองประธานกรรมการ
๑๐.๓ ผศ.เอราวัณ เบ้าทอง	กรรมการ
๑๐.๔ ผศ.ดร.สำเร็จ คันธี	กรรมการ
๑๐.๕ ดร.ศกุนตลา ศิริอุดม	กรรมการ
๑๐.๖ ผศ.ดร.ธนิศรา อินทโสตถิ	กรรมการ
๑๐.๗ นางสาวดาวใจ มาตะรักษ์	กรรมการ
๑๐.๘ นางเบญจมาศ ภาโมมัย	กรรมการ
๑๐.๙ นายอิสรภาพ วังคำแหง	กรรมการ
๑๐.๑๐ นายบุญส่ง ศรีมันตะ	กรรมการ
๑๐.๑๑ ดร.นฤปวรรต์ พรหมมาวัย	กรรมการและเลขานุการ

หน้าที่: ๑. ประสานงานหาหัวข้อบรรยาย จัดหาวิทยากรภายนอก เอกสารประกอบการบรรยาย
๒. ดูแลการจ่ายค่าตอบแทนวิทยาการ
๓. รับ-ส่งวิทยากร

๑๑. คณะทำงานฝ่ายการเงินและพัสดุ

๑๑.๑ ดร.รุ่งฤดี ศรีสำอางค์	ประธานกรรมการ
๑๑.๒ นายวิชิต แสงโยธา	รองประธานกรรมการ
๑๑.๓ นายธนพล บุษบา	รองประธานกรรมการ
๑๑.๔ นายวิไลย์ ประทุมเขต	กรรมการ
๑๑.๕ นางสาวรจนา รัชตกนก	กรรมการ
๑๑.๖ นางสาวชญาภา กำมะหยี่	กรรมการ
๑๑.๗ นางสาวชยานันท์ อามาตย์ทัศน์	กรรมการและเลขานุการ

หน้าที่: ๑. ยืมเงินมหาวิทยาลัย เบิก-จ่าย ดูแลงบประมาณในแต่ละฝ่าย
๒. ลงทะเบียนและดำเนินการเกี่ยวกับใบเสร็จรับเงิน สำหรับการลงทะเบียนเข้าร่วมประชุม
๓. จัดซื้อ-จัดจ้าง จัดหาวัสดุอุปกรณ์ วัสดุประกอบการประชุม

/ ๑๒. คณะ...

๑๒. คณะทำงานฝ่ายข้อมูลกลางและสารบรรณ

๑๒.๑ ผศ.ดร.เพียว ผาใต้	ประธานกรรมการ
๑๒.๒ ผศ.ดร.บรรณญัติ บริบูรณ์	รองประธานกรรมการ
๑๒.๓ นางสาวรัตนพร ธระเสนา	กรรมการ
๑๒.๔ นางสาวอารดา สปาร์ดิ่ง	กรรมการและเลขานุการ

หน้าที่: ประสานกับคณะทำงานฝ่ายต่างๆ เพื่อออกหนังสือประสานหน่วยงานทั้งภายในและภายนอก เช่น หนังสือเชิญประชุม เชิญวิทยากร และหนังสือประชาสัมพันธ์ เป็นต้น

๑๓. คณะทำงานฝ่ายสาธารณสุข

๑๓.๑ ดร.ธนมณฑชนก พรหมพินิจ	ประธานกรรมการ
๑๓.๒ ดร.นฤปวรรต์ พรหมมาวัย	รองประธานกรรมการ
๑๓.๓ ผศ.ดร.อัจฉรา จินวงษ์	กรรมการ
๑๓.๔ ดร.ปิยพร แผ้วชำนาญ	กรรมการ
๑๓.๕ ดร.อนวัช ภูทองนาค	กรรมการ
๑๓.๖ นักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ	กรรมการ
๑๓.๗ อาจารย์ทรงยศ ศรีหริ่ง	กรรมการและเลขานุการ

หน้าที่: จัดหน่วยปฐมพยาบาล จัดเตรียมเวชภัณฑ์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ที่จำเป็น และดูแลตรวจคัดกรองการติดเชื้อโควิด-๑๙ ผู้เข้าร่วมประชุม

สั่ง ณ วันที่ ๑๔ เดือน มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๕

(ดร.อภิรักษ์ ลอยแก้ว)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของนักศึกษาในหอพักมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

Electricity Energy Consumption Behaviors of the Students in the Dormitory of Sakon Nakhon Rajabhat University

นิศารัตน์ ศรีหาพล[1] เพชรรัตน์ ใจบุญ[2] ชนัญกาญจน์ แสงประสาน[3]

[1] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
[2] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
[3] สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
chanankarn@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า ความรู้เกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้า และทัศนคติในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบสอบถาม กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาในหอพักมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จำนวน 100 คน โดยเลือกการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิหลายขั้น (Multistage stratified random sampling) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

ผลการวิจัยพบว่า

1. ห้องพักประกอบด้วยหลอดไฟฟ้าและโทรศัพท์มือถือ (100%) พัดลม (98%) เตารีดไฟฟ้า (95%) คอมพิวเตอร์ (92%) หม้อหุงข้าวไฟฟ้า (74%) เครื่องทำน้ำอุ่นไฟฟ้า (58%) เครื่องหนีบผม (34%) ไดร์เป่าผม (31%) กระทะไฟฟ้า (53%) กาต้มน้ำไฟฟ้า (28%) กระติกน้ำร้อน (25%) เครื่องพิมพ์ (24%) และเครื่องปรับอากาศ (14%) ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจเท่ากับ 6,914.5 kWh ต่อเดือน ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงเท่ากับ 6,587 kWh ต่อเดือน

2. ด้านองค์ความรู้เกี่ยวกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร โดยรวมอยู่ในระดับดี (77.5%)

3. ด้านทัศนคติในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร โดยรวมอยู่ในระดับเห็นด้วย ($\bar{X}$ = 3.94)

4. ด้านพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.15)

5. นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครมีข้อมูลส่วนบุคคลที่แตกต่างกันมีพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในหอพักไม่แตกต่างกัน

6. ความรู้เกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษาในหอพักมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

คำสำคัญ: พฤติกรรม พลังงานไฟฟ้า ปริมาณการใช้ หอพัก

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the behavior of using electrical appliances, electric power knowledge, and attitudes toward electrical energy conservation of the dormitory student of Sakon Nakhon Rajabhat University (SNRU). The questionnaire was used in the research. The samples were the 100 dormitory students in Sakon Nakhon Rajabhat University and sampling by multistage stratified random sampling. The data were analyzed by frequency, percentage, mean, standard deviation, and multiple regression analysis.

The results showed that:

1. Rooms are equipped with electric bulbs and mobile phones (100%), fans (98%), electric irons (95%), computers (92%), electric rice cookers (74%), electric water heaters (58%), hair straighteners (34%) Hairdryer (31%), electric pan (53%), electric kettle (28%), thermos (25%), printer (24%) and air conditioner (14%). The estimated electricity consumption from the survey was 6,914.5 kWh/month. The actual electricity consumption was 6,587 kWh/month.

2. Knowledge about electrical energy conservation of SNRU students, overall; it was at a good level (77.5%).

3. Attitudes towards electrical energy conservation of SNRU students, overall; it was at the agreed level (x = 3.94).

4. The electrical energy conservation behavior of students of SNRU students, overall; it was at a high level (x = 4.15).

5. SNRU students with different personal data have no difference in electrical energy conservation behaviors in Sakon Nakhon Rajabhat University dormitories.

6. Knowledge about the usage of electricity is positively related to the behavior of energy conservation among students in the dormitory of Sakon Nakhon Rajabhat University.

Keywords: Behaviors, Electricity Energy, Consumption, Dormitory

1. บทนำ

พลังงานคือปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์อีกทั้งยังเป็นปัจจัยในการส่งเสริม สวัสดิภาพ ความผาสุกของประชาชน สำหรับประเทศที่พัฒนาแล้วและกำลังพัฒนา พลังงาน จึงเกี่ยวข้องโดยตรงกับความมั่นคงของประเทศทั้งด้านการเมือง การทหาร เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจสังคมของประเทศ ทั้งนี้ไฟฟ้านับเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือที่สามารถผลิตขึ้นได้โดยการแปรรูปจากธรรมชาติพลังงาน ส่งจ่ายไปยังจุดที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการแปรรูปเป็นพลังงานรูปแบบอื่น ไฟฟ้าจึงทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการนำพลังงานจากแหล่งทรัพยากรพลังงานมาใช้ประโยชน์เพื่อพัฒนาเศรษฐกิจสังคม และการดำรงชีวิตที่สะดวกสบายยิ่งขึ้น นโยบายการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของรัฐบาล คาดว่าจะทำให้พลังงานไฟฟ้ามีเพียงพอต่อการอุปโภคบริโภคของประชาชนและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในประเทศ ซึ่งจะส่งผลโดยรวม ทำให้ลดการนำเข้าเชื้อเพลิงโดยไม่เสียเปรียบดุลการค้ากับต่างประเทศ ลดภาวะโลกร้อน ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอยู่อย่างจำกัด อย่างไรก็ตามนโยบายการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจะสัมฤทธิ์ผลได้ก็ต่อเมื่อทุกภาคส่วนต้องมีการร่วมมือร่วมใจกัน ช่วยกันประชาสัมพันธ์รณรงค์การประหยัดพลังงานไฟฟ้าให้ได้รับรู้ข่าวสาร ซึ่งจะทำให้เกิดจิตสำนึกรู้คุณค่าของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าให้ประชาชนนำไปสู่การมีส่วนร่วมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าอย่างยั่งยืน [1]

ด้วยเหตุผลดังกล่าว เพื่อให้การประหยัดพลังงานไฟฟ้าเป็นไปตามนโยบายของรัฐบาล โดยให้นักศึกษาในหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการสำรวจการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ศึกษาทัศนคติและพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครและศึกษาความรู้ความเข้าใจในการใช้พลังงานไฟฟ้าหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครว่ามีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า รวมไปถึงการสังเกตพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครอย่างไรและมีความรู้ความเข้าใจในการใช้พลังงานถูกต้องเพียงใด

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสำรวจพฤติกรรมการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จำแนกตามลักษณะส่วนบุคคล

2. เพื่อคำนวณและเปรียบเทียบระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจ กับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงภายในหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

3. เพื่อศึกษารูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ความรู้เกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้า และทัศนคติในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ที่มีผลต่อพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษาในหอพักมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2019 Vinh Tien Le & Adrian Pitts [2] ทำการสำรวจการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าและการใช้พลังงานในครัวเรือนเวียดนาม เมือง Tuy Hoa การศึกษานี้ ศึกษาเครื่องใช้ไฟฟ้า พฤติกรรมการใช้งานและการใช้พลังงานที่แท้จริงของครัวเรือนชาวเวียดนาม รวบรวมข้อมูลจากการสำรวจ 60 ครัวเรือนในเมือง Tuy Hoa ทางชายฝั่งตอนใต้ - กลางของเวียดนามในปี 2560 ผลแสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานเฉลี่ย 4,492 kWh ต่อครัวเรือนต่อปี ซึ่งไฟฟ้าและก๊าซปิโตรเลียมเหลวคิดเป็น 74.4% และ 25.6% ตามลำดับ รายละเอียดของการใช้พลังงานในปัจจุบัน พบว่า การระบายความร้อนเป็นการสิ้นเปลืองขั้นต้น โดยมีสัดส่วน 31.9% ของทั้งหมด รองลงมา คือ แก๊สหุงต้ม 25.6% และเครื่องใช้ในครัว 18.5% นอกจากนี้ยังมีการคาดการณ์การใช้พลังงานสำหรับครัวเรือนทั่วไปที่มีเครื่องปรับอากาศต่าง ๆ ผลการศึกษานี้จึงเป็นข้อมูลอ้างอิงที่เป็นประโยชน์ สำหรับผู้กำหนดนโยบายนักวางแผนพลังงานและครัวเรือนของเวียดนาม เพื่อทำความเข้าใจลักษณะการใช้พลังงานที่มีอยู่และระบุแนวทางที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารบ้านเรือน

ในปี ค.ศ. 2020 Kittikun Poolsawat *et al.* [3] ได้สำรวจลักษณะการใช้ไฟฟ้าในภาคที่อยู่อาศัยของประเทศไทยและศักยภาพในการประหยัด การสำรวจการสัมภาษณ์ผู้ใช้งาน 7,192 ครัวเรือน สำหรับการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า 41 ชนิด ครอบคลุมทั่วประเทศไทยในปี 2561 มีการระบุลักษณะการใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนสำหรับทั้งในชนบทและในเมือง ปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งประเทศถูกประมาณจากผลการสำรวจแบบจำลองพลังงานที่ใช้ในการคาดคะเนแสดงถึงการใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนส่วนใหญ่ในระดับพื้นที่ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้ไฟฟ้าโดยรวมในครัวเรือนอยู่ที่ 35,624.37 GWh ในปี 2018 ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศ (26.50%) ตู้เย็น (19.33%) หลอดไฟในร่ม (14.93%) หม้อหุงข้าว (6.82%) โทรทัศน์ (6.10%) พัดลม (5.75%) ขวดไฟฟ้า (3.35%) หลอดไฟภายนอกอาคาร (3.30%) ปั๊มอัตโนมัติ (2.61%) เครื่อง

ทำน้ำอุ่น (1.86%) คอมพิวเตอร์ (1.67%) เตารีด (1.55%) และเครื่องใช้อื่น ๆ (6.23%) ประมาณ 13.97% ของการใช้ไฟฟ้ากล่าวคือ 4,975.89 GWh หรือ 2.39 $MtCO_2$ สามารถลดลงได้ด้วยการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ในปี พ.ศ. 2558 จุลพงษ์ อุดมพรพิบูล และ โสภิตสุดา ทองโสภิต [4] ได้ศึกษาเปรียบเทียบระดับความรู้ ความเข้าใจและทัศนคติด้านพลังงาน (Energy Literacy) ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา ผ่านกรณีศึกษา 3 อำเภอในจังหวัดลพบุรี ได้แก่ โรงเรียนโคกกะเทียมวิทยาลัย และโรงเรียนพระนารายณ์ในอำเภอเมืองลพบุรี โรงเรียนโคกสำโรงวิทยา และโรงเรียนบ้านวังเหลิงในอำเภอโคกสำโรง และโรงเรียนสัตยาไสในอำเภอชัยบาดาล โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 352 คน ผลการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยของความรู้ความเข้าใจด้านพลังงานระหว่างกลุ่มตัวอย่างของโรงเรียนในพื้นที่ใกล้แหล่งผลิตไฟฟ้ากับกลุ่มตัวอย่างของโรงเรียนในพื้นที่อื่น ๆ ส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยพื้นที่ใกล้แหล่งผลิตไฟฟ้าจะมีคะแนนเฉลี่ยน้อยกว่าพื้นที่อื่น ๆ ผลวิจัยนี้ ทำให้สรุปได้ว่า พื้นที่ใกล้แหล่งผลิตไฟฟ้าไม่ใช่ปัจจัยที่ทำให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจด้านพลังงานมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ แต่ปัจจัยสำคัญอยู่ที่ความเจริญก้าวหน้าทางสังคม เศรษฐกิจ และเทคโนโลยี

ในปี พ.ศ. 2554 รุจิรา คงนุ้ย และ ทักษิณา เครือหงส์ [5]ได้ศึกษาการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ปีการศึกษา 2554 โดยเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่าย จำนวน 339 คน เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบสอบถาม ผลการวิจัย ด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า พบว่านักศึกษาชายและหญิงมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และนักศึกษาแต่ละคณะมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ 0.05

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ หัวหน้าห้องพักของหอพักนักศึกษาภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จำนวน 246 ห้อง ประจำปีการศึกษา 2564

กลุ่มตัวอย่าง นักศึกษาในหอพักมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างเป็นเกณฑ์ร้อยละ 40 ของขนาดประชากร ซึ่งจำนวนประชากร 246 ห้อง คิดเป็น 40% จะได้กลุ่มตัวอย่าง 98 ห้อง เพื่อให้การวิจัยครั้งนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงใช้กลุ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้น รวมทั้งสิ้น 100 ห้อง โดยเลือกการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิหลายขั้น (Multistage Stratified Random Sampling)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยใช้แบบสอบถาม เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีการพัฒนาจากแบบสอบถามของ จุไรรัตน์ ชิไหล [6] และ ปรียานาจ สิงห์โต และ อาจารี แนบเนียน [7] แบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบด้วย 7 คำถาม ได้แก่ เพศ ชั้นปี สาขา คณะ จำนวนสมาชิกในห้องพัก จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำมาใช้ในห้องพัก (ทั้งตนเองและเพื่อนร่วมห้อง) และค่าไฟฟ้าเฉลี่ย

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีลักษณะเป็นคำถามปลายปิด

ส่วนที่ 3 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีลักษณะเป็นคำถามปลายปิด

ส่วนที่ 4 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับทัศนคติในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยมีลักษณะเป็นคำถามปลายปิด

ส่วนที่ 5 คำถามเรื่องพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยมีลักษณะเป็นคำถามปลายปิด

ผู้วิจัยนำแบบสอบถามเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ตรวจสอบความสอดคล้องหรือความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม ซึ่งข้อคำถามทุกข้อมีค่า IOC มากกว่า 0.5 ขึ้นไป

3.4 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากนักศึกษาภายในหอพักของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จำนวน 100 ฉบับด้วยตนเอง และได้รับแบบสอบถามที่มีความสมบูรณ์กลับคืนมาเพื่อทำการวิเคราะห์ จำนวน 100 ฉบับ

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ การแจกแจงความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

2. สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) ได้แก่ การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

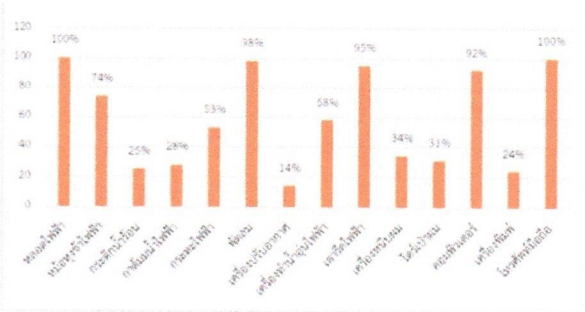
4. สรุปผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

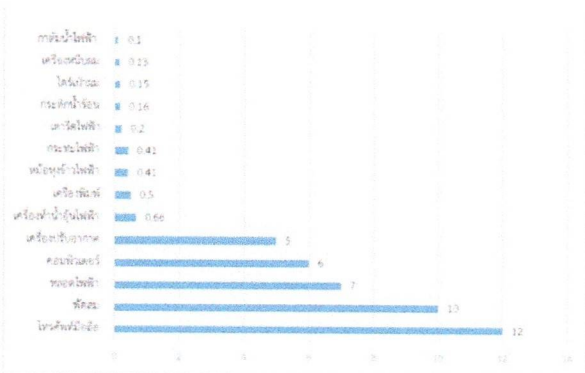
จากการสำรวจตัวอย่างนักศึกษาจำนวน 100 คน พบว่า ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 59 เป็นเพศชาย ร้อยละ 41 ศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 2 ร้อยละ 47 เป็นนักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ ร้อยละ 15 เป็นนักศึกษาคณะครุศาสตร์ ร้อยละ 64 มีจำนวนสมาชิกในห้องพัก 3 คน ร้อยละ 50 มีเครื่องใช้ไฟฟ้าใช้งานจำนวน 4-6 ชิ้น ร้อยละ 36 มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ระหว่าง 101-300 บาท ร้อยละ 67 เมื่อนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยพบว่า ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนโดยเฉลี่ย 278.83 บาท

4.2 ผลการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้า

ผลการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าจำแนกตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า พบว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักส่วนใหญ่ที่ใช้งานมาก 5 อันดับแรก ได้แก่ หลอดไฟฟ้า โทรศัพท์มือถือ พัดลม เตารีดไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 1 ส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักส่วนใหญ่ที่มีระยะเวลาการใช้งานมาก 5 อันดับแรก ได้แก่ โทรศัพท์มือถือ พัดลม หลอดไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ และเครื่องปรับอากาศ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ผลการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 2 ระยะเวลาการใช้งานต่อวัน (ชั่วโมง/วัน)

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจ เท่ากับ 6,917.8 kWh ต่อเดือน ส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแท้จริงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้นเท่ากับ 6,587 kWh ต่อเดือน ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน ±5%

4.3 ผลการวิเคราะห์ความรู้ด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 1 ความรู้ด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า

ความรู้ด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า	ตอบถูก (ร้อยละ)	ตอบผิด (ร้อยละ)	ตอบไม่รู้ (ร้อยละ)
1. ปัจจุบันประเทศไทยมีความ สามารถในการผลิตกระแส ไฟฟ้าใช้ในประเทศได้อย่างเพียงพอ	80	10	10
2. การเลือกเครื่องใช้ไฟฟ้า ควรเลือกแบบที่ได้มาตรฐานและมีฉลากประหยัดไฟเสมอ	99	1	0
3. ฉลากประหยัดไฟฟ้าที่มีระดับ 1-5 ที่ติดบนเครื่องใช้ ไฟฟ้า ถ้าตัวเลขที่แสดงบนฉลากยิ่งมาก แสดงว่ากินไฟมาก	79	14	7
4. เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีจำนวนวัตต์มากจะทำให้เปลืองไฟมาก	85	7	8
5. การปิดโทรทัศน์ที่รีโมทจะทำให้โทรทัศน์กินไฟอยู่	70	13	17
6. การเสียบปลั๊กชาร์ดแบตโทรศัพท์โน้ตบุ๊ก ทิ้งไว้จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า	87	7	6
7. หลอดฟลูออเรสเซนต์ (นีออน) เปลืองไฟมากกว่าหลอดไส้	58	21	21
8. หลอดไฟฟ้าแบบฟลูออเรสเซนต์ (นีออน) ให้แสงสว่างมากกว่าหลอดไฟฟ้าแบบไส้ ถ้า จำนวนวัตต์เท่ากัน	69	6	25
9. ตู้เย็น 2 ประตูเปลืองไฟมากกว่าตู้เย็นประตูเดียวที่มีขนาดเท่ากัน	79	5	16
10. การใส่ของในตู้เย็นมากเกินไป จะทำให้ตู้เย็นเปลืองไฟกว่าปกติ	85	11	4
11. ควรปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศให้อยู่ที่ระดับ 25 องศาเซลเซียส เพื่อประหยัดพลังงาน	87	6	7
12. การเปิดพัดลมระบายอากาศในห้องที่เปิดเครื่องปรับอากาศจะช่วยลดพลังงานไฟฟ้าในการทำงานของเครื่องปรับอากาศ	52	33	15
รวม	77.5	11.16	11.33

จากตารางที่ 1 ความรู้เกี่ยวกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษาจำนวน 100 คน พบว่า คะแนนเฉลี่ยของผู้ตอบแบบสอบถามที่ตอบถูกคิดเป็น 77.5 เปอร์เซ็นต์ สรุปว่านักศึกษามีความรู้เกี่ยวกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าอยู่ในระดับดี

4.4 ผลการวิเคราะห์ทัศนคติในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

ทัศนคติในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษาจำนวน 100 คน พบว่า มีคะแนนเฉลี่ย 3.94 คะแนน สรุปว่านักศึกษามีทัศนคติในระดับเห็นด้วย ซึ่งนักศึกษามีทัศนคติในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ถูกต้อง สูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ สถาบันครอบครัวและสถาบันการศึกษามีส่วนสำคัญในการปลูกฝังพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าให้แก่เยาวชน ค่าเฉลี่ย 4.60 การประหยัดไฟฟ้าทำให้ประหยัดค่าไฟของท่านได้ ค่าเฉลี่ย 4.58 และพฤติกรรมประหยัดพลังงาน

ไฟฟ้าเป็นจุดเริ่มต้นของพฤติกรรมการประหยัดพลังงานอื่น ๆ ค่าเฉลี่ย 4.49

ส่วนทัศนคติในการประหยัดพลังงานถูกต้องต่ำสุด 3 อันดับท้าย ได้แก่ การประหยัดพลังงานไฟฟ้าของท่านไม่ได้ช่วยลดการซื้อไฟฟ้าของไทยจากต่างประเทศ ค่าเฉลี่ย 2.95 การเลือกขนาดเครื่องใช้ไฟฟ้าให้เหมาะกับความต้องการ ไม่ได้เป็นการประหยัดพลังงาน ค่าเฉลี่ย 3.11 และการใช้ไฟฟ้าเป็นปริมาณมากไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ค่าเฉลี่ย 3.25

4.5 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 2 พฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

พฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า	ค่าสถิติ		การแปลความหมาย
	$\bar{X}$	S.D.	
1. เปิดโทรทัศน์ทิ้งไว้แล้วไม่ดู	4.41	0.944	มาก
2. เปิดประตูตู้เย็นทิ้งไว้เป็นเวลานาน	4.70	0.759	มากที่สุด
3. เปิดไฟไว้ทิ้งไว้โดยไม่ใช้งาน	3.95	1.009	มาก
4. ท่านมักจะเปิดคอมพิวเตอร์ และเล่นมือถือไปพร้อมๆกัน	3.09	1.264	ปานกลาง
5. เปิดพัดลมทิ้งไว้เมื่อไม่ได้อยู่ในบริเวณนั้น	4.14	1.045	มาก
6. เปิดประตู หรือหน้าต่างทิ้งไว้ในขณะเปิดเครื่องปรับอากาศ	4.47	0.759	มาก
7. ไม่ปิดคอมพิวเตอร์เมื่อไม่ใช้งาน	4.06	1.213	มาก
8. ไม่เช็ดผมให้แห้งหมาดๆ ด้วยผ้าก่อนใช้เครื่องเป่าผม	4.52	0.847	มากที่สุด
9. ปิดโทรทัศน์โดยการใช้รีโมท	4.09	1.215	มาก
10. เสียบปลั๊กไฟเครื่องใช้ไฟฟ้าทิ้งไว้เมื่อเลิกใช้งาน	3.93	1.166	มาก
เฉลี่ย	4.15	0.63	มาก

จากตารางที่ 2 พฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษาจำนวน 100 คน พบว่า คะแนนเฉลี่ยที่ 4.15 คะแนน สรุปว่านักศึกษามีพฤติกรรมประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระดับมาก

ผลการเปรียบเทียบพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของตัวอย่างนักศึกษาที่มีลักษณะส่วนบุคคลแตกต่างกัน ผลดังตารางที่ 3 ถึง 5

ด้านเพศ พบว่า นักศึกษาเพศชายมีคะแนนพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยเฉลี่ยเท่ากับ 41.05 นักศึกษาเพศหญิงมีคะแนนพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยเฉลี่ยเท่ากับ 41.97 เมื่อทดสอบความแตกต่างด้วยสถิติ t ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษาเพศชายและนักศึกษาเพศหญิง

เพศ	จำนวน (คน)	$\bar{X}$	S.D.	t-test	df	P-value
ชาย	41	41.05	6.79320	-0.715	98	0.476
หญิง	59	41.97	5.94795			

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่าสถิติ t-test เท่ากับ -0.715 (P-value = 0.476 > 0.05) ดังนั้น ยอมรับว่าสมมติฐานหลักที่ว่า คะแนนพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของนักศึกษาเพศชายและเพศหญิงไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ด้านชั้นปี พบว่า นักศึกษาชั้นปีที่ 1 มีคะแนนพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยเฉลี่ยเท่ากับ 41.0 ชั้นปีที่ 2 มีคะแนนพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยเฉลี่ยเท่ากับ 40.79 ชั้นปีที่ 3 มีคะแนนพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยเฉลี่ยเท่ากับ 42.16 และชั้นปีที่ มีคะแนนพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยเฉลี่ยเท่ากับ 45.44 ตามลำดับ เมื่อทดสอบความแตกต่างด้วยสถิติ F ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษา จำแนกตามชั้นปี

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P-value
ชั้นปี	178.735	3	59.578	1.530	0.212
ความคลาดเคลื่อน	3739.455	96	38.953		
ทั้งหมด	3918.190	99			

จากตารางที่ 4 พบว่า ค่าสถิติ F เท่ากับ 1.530 (P-value = 0.212 > 0.05) ดังนั้น ยอมรับว่าสมมติฐานหลักที่ว่า คะแนนพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ชั้นปีที่ 2 ชั้นปีที่ 3 และชั้นปีที่ 4 ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ด้านคณะ พบว่า นักศึกษาหอพักที่สังกัดคณะครุศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และคณะวิทยาการจัดการ มีคะแนนพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยเฉลี่ยเท่ากับ 41.73, 39.16, 42.83, 42.00, 34.50 และ 46.50 ตามลำดับ เมื่อทดสอบความแตกต่างด้วยสถิติ F ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษา จำแนกตามคณะ

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P-value
คณะ	201.997	5	42.199	1.070	0.382
ความคลาดเคลื่อน	3707.193	94	39.438		
ทั้งหมด	3918.190	99			

จากตารางที่ 5 พบว่า ค่าสถิติ F เท่ากับ 1.070 (P-value = 0.382 > 0.05) ดังนั้น ยอมรับว่าสมมติฐานหลักที่ว่า คะแนนพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของนักศึกษาคณะต่าง ๆ ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.6 ผลการหารูปแบบความสัมพันธ์ของพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

ผลการหารูปแบบความสัมพันธ์ของพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า จากตัวแปรอิสระ ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (x_1) ความรู้เกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้า (x_2) และทัศนคติในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า (x_3) ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ พบว่า มีเพียงตัวแปรด้านความรู้เกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่สามารถอธิบายความผันแปรของพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ของตัวแปรพยากรณ์ที่ใช้พยากรณ์พฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

ตัวแปรพยากรณ์	b	S.E.b	B	t	P
ความรู้เกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้า (X_2)	0.929	0.389	0.235	2.391	0.019
ค่าคงที่	32.966	3.658	-	9.011	0.00
R เท่ากับ 0.235 R Square เท่ากับ 0.055					

5. สรุป และอภิปรายผล

ผลการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าจำแนกตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า พบว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักส่วนใหญ่ที่ใช้งานมาก 5 อันดับแรก ได้แก่ หลอดไฟฟ้า โทรศัพท์มือถือ พัดลม เตารีดไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ สำหรับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจ เท่ากับ 6,917.8 kWh ต่อเดือน ส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแท้จริงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้นเท่ากับ 6,587 kWh ต่อเดือน ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน ±5% นักศึกษามีความรู้เกี่ยวกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าอยู่ในระดับดี เนื่องจากเป็นนักศึกษาในระดับปริญญาตรีที่ได้ความรู้เรื่องการประหยัดพลังงานมาพอสมควร

นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครที่มีข้อมูลส่วนบุคคลที่แตกต่างกันมีพฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในหอพักมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครไม่แตกต่างกัน ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ จิรา คงนุ้ย และ ทักษิณา เครือหงส์ [5] ที่พบว่า นักศึกษาชายและนักศึกษาหญิงมีพฤติกรรมการประหยัดพลังงานแตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะนักศึกษาที่อาศัยในหอพักมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ในแต่ละห้องพักมีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่จำเป็นต่อการดำรงชีพและการเรียนที่คล้ายคลึงกัน จึงมีพฤติกรรมการใช้และการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น ถ้าต้องการจัดกิจกรรมจัดการส่งเสริม อบรมความรู้ กระตุ้นให้นักศึกษาประหยัดพลังงานไฟฟ้า ควรจัดกิจกรรมให้ทั่วถึงทุกเพศ ทุกชั้นปี ทุกคณะ

เอกสารอ้างอิง

[1] ศรยุทธ พรหมศรี, "พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของประชาชนในอำเภอศรีรัตนะ จังหวัดศรีสะเกษ," *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี*, 8(1), 426-446, 2560

[2] Le, V.T., & Pitts, A. "A survey on electrical appliance use and energy consumption in vietnamese households: case study of tuy hoa city," *Energy and Buildings*, 197(August), pp.229-241, 2019.

[3] Poolsawat, K., Tachajapong, W., Prasitwattanaseree, S., & Wongsapai, W, "Electricity consumption characteristics in Thailand residential sector and its saving potential," *Energy Reports*, 2(6), pp. 37-343, 2020.

[4] จุลพงษ์ อุดมพรพิบูล และโสภิตสุดา ทองโสภิต, "การศึกษาเปรียบเทียบความรู้ความเข้าใจและทัศนคติด้านพลังงาน (Energy literacy) ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา: กรณีศึกษา 3 อำเภอในจังหวัดลพบุรี," *วารสารวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 12(2), หน้า 20-35, 2558

[5] รุจิรา คงนุ้ย และ ทักษิณา เครือหงส์ "พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ," *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต*, 2(3), หน้า 293-303, 2557

[6] จุไรรัตน์ ธิไหล. (2552). พฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในสถานที่ทำงานของพนักงานการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โรงไฟฟ้าราชบุรี. *วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการภาครัฐและเอกชน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.*

[7] ปรียานาจ สิงโต และอาจารี แนบเนียน. (2555). พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของนักศึกษาในหอพักมหาวิทยาลัยศิลปกรวิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี. *วิทยานิพนธ์หลักสูตร บริหารธุรกิจบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปกรวิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี.*

คณะวิทยาศาสตร์และคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีมีนโยบายในการเป็นสถาบันอุดมศึกษาเพื่อพัฒนาท้องถิ่น สังคมและประเทศ และได้กำหนดยุทธศาสตร์ที่สำคัญประการหนึ่งคือ การสร้างงานวิจัยที่มีคุณภาพและมีคุณค่า ซึ่งถือเป็นกระบวนการแสวงหาความรู้ที่สร้างความก้าวหน้าทางวิชาการ แลกเปลี่ยนองค์ความรู้ที่เปิดกว้างสู่สังคมทั้งในระดับภูมิภาคและระดับนานาชาติ ดังนั้น คณะวิทยาศาสตร์ร่วมกับคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี จึงได้จัดให้มีการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยหรืองานสร้างสรรค์ในระดับชาติ การประชุมวิชาการระดับชาติทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี งานประจำสู่งานวิจัย (National Conference on Science and Technology, and Routine to Research: NCST-R2R) โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปิดเวทีวิชาการในการเสนอผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ แลกเปลี่ยนเรียนรู้และสร้างความร่วมมือทางวิชาการ ของนิสิตนักศึกษา คณาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัยในสถาบันอุดมศึกษาทั้งในและต่างประเทศ ตลอดจนเป็นการต่อยอดองค์ความรู้ใหม่และสร้างมาตรฐานที่ดีต่อไป

NCST R2R2022

ESTACON 12th
The 12th Engineering, Science, Technology and Architecture Conference 2021 (ESTAICON 2021)

ส้มไส้ปลาไบโอเทค: ผลิตภัณฑ์อาหารหมักปลอดภัยด้วยวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาส้ม

Biotech fermented fish viscera: safe fermented food product with waste materials from fermented fish production

อรุณ วงศ์จิรัฐิติ[1]*, ณัฐธิดา อบภิรมย์[1], ชนัญกาญจน์ แสงประสาน[2]
และ สุวภา สาวิภาค[1]

[1] สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
680 ถนนนิตโย ตำบลธาตุเชิงชุม อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000
[2] สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
680 ถนนนิตโย ตำบลธาตุเชิงชุม อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

*ผู้ติดต่อ: mic_610@hotmail.com, 091-060-1997

บทคัดย่อ

เครื่องในปลาเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาส้มซึ่งนำไปสู่การสะสมปัญหาสิ่งแวดล้อม ทำการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมในการนำเครื่องในปลาซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาส้มมาใช้ในการผลิตส้มไส้ปลาโดยใช้ *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้น อัตราส่วนที่เหมาะสมของส้มไส้ปลาคือ เครื่องในปลาสับละเอียด 700 กรัม กระเทียมสับ 120 กรัม ข้าวเหนียวนึ่ง 70 กรัม ข้าวคั่วบด 70 กรัม และเกลือ 40 กรัม ค่าความเป็นกรดด่างระหว่างส้มไส้ปลาที่ใส่เชื้อตั้งต้น (4.07) กับ ไม่ใส่เชื้อตั้งต้น (4.12) มีความใกล้เคียงกัน ไม่พบสารปนเปื้อนเช่น สารหนู แคดเมียม และปรอทในส้มไส้ปลาทั้งสองสูตร ส่วนตะกั่วพบในส้มไส้ปลาที่ใส่เชื้อตั้งต้น (<0.05 mg/Kg ของตัวอย่าง) แต่ไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนซึ่งแสดงให้เห็นว่า *Lactobacillus* sp. I11 ไม่มีผลต่อสารปนเปื้อนในส้มไส้ปลา *Bacillus cereus Clostridium perfringens* และ *Staphylococcus aureus* พบน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัมในส้มไส้ปลาทั้งสองสูตร *Lactobacillus* sp. I11 สามารถยับยั้งยีสต์และรา *Salmonella* spp. และ *Escherichia coli* ได้จนจำนวนไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานทางด้านจุลชีววิทยา ไม่พบทั้งพยาธิตัวจี๊ดและตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในตับในส้มไส้ปลาทั้งสองสูตร ส้มไส้ปลาที่ใส่ *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้นได้รับความพึงพอใจจากผู้ประเมินมากกว่าส้มไส้ปลาที่ไม่ใส่เชื้อตั้งต้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้ส้มไส้ปลาที่ใส่ *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้นเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมักที่มีความปลอดภัยและสร้างความพึงพอใจแก่ผู้บริโภค

คำสำคัญ: ส้มไส้ปลา ผลิตภัณฑ์อาหารหมัก วัสดุเหลือทิ้ง กระบวนการผลิตปลาส้ม

Abstract

Fish viscera is waste materials from fermented fish production, which lead to the accumulation of the environmental problem. The participatory action research in the utilization of waste materials from fermented fish production, fish viscera, for the fermented fish viscera production using *Lactobacillus* sp. I11 as a starter culture was studied. The optimal ratio of the fermented fish viscera ingredients for 1 kg of fermented fish viscera production was 700 g of minced fish viscera, 120 g of chopped garlic, 70 g of steamed glutinous rice, 70 g of ground roasted rice, and 40 g of salt. The pH value between the fermented fish viscera with (4.07) and without (4.12) starter culture was similar. The contaminants such as arsenic, cadmium, and mercury were not found in both fermented fish viscera formulation, while lead was found (<0.05 mg/Kg of the sample) in fermented fish viscera with starter culture but did not exceed Thai community product standard, indicating that *Lactobacillus* sp. I11 did not affect the contaminants in fermented fish viscera. *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, and *Staphylococcus aureus* were found <10 CFU/g in both fermented fish viscera formulation. *Lactobacillus* sp. I11 could inhibit yeast and mold, *Salmonella* spp., and *Escherichia coli* until the number of these microorganisms did not exceed the microbiological standard. Neither *Gnathostoma spinigerum* nor the metacercaria of *Opisthorchis viverrine* were found in both fermented fish viscera formulation. The fermented fish viscera with *Lactobacillus* sp. I11 as a starter culture was significantly more satisfied from the assessors than the fermented fish viscera without starter culture. The results, therefore, the fermented fish viscera with *Lactobacillus* sp. I11 as a starter culture is a safe fermented food product and satisfies consumers.

Keywords: Fermented fish viscera, Fermented food product, Waste materials, Fermented fish production

1. บทนำ

ชุมชนบ้านท่าบ่อ หมู่ที่ 4 และหมู่ที่ 6 ตำบลท่าบ่อสงคราม อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม มีการประกอบอาชีพผลิตปลาส้มขาย มากถึง 40 ครัวเรือน เป็นผู้ผลิตรายใหญ่ 20 ครัวเรือน รายย่อย 20 ครัวเรือน จากการลงพื้นที่สำรวจปัญหา และความต้องการในการแก้ปัญหาของคณะผู้วิจัยพบว่าชุมชนประสบปัญหาเครื่องในปลาที่เหลือจากกระบวนการผลิตปลาส้ม ส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็น ก่อให้เกิดปัญหาขยะในพื้นที่ อีกทั้งมีผู้ประกอบการบางส่วนทิ้งลงสู่แม่น้ำสงครามทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย

เครื่องในปลา เป็นของเสียจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์หลายประเภทจากปลา อย่างไรก็ตามเครื่องในปลาเป็นส่วนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีทั้งปริมาณโปรตีน และไขมันสูง อุดมไปด้วยกรดอะมิโนจำเป็น จึงสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย [1]

ส้มไส้ปลา (Fermented fish viscera, Som sai pla) เป็นอาหารหมักพื้นบ้านเพื่อบริโภคในครัวเรือน และเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มผช.725/2557) กระทรวงอุตสาหกรรม [2] ได้ให้นิยามส้มไส้ปลาว่า “ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำไส้ปลาหรือเครื่องในปลามาล้างให้สะอาดแล้วสะเด็ดน้ำ อาจสับหรือหั่นเป็นชิ้น คลุกเคล้ากับเกลือ กระเทียมบด ข้าวเจ้าสุกหรือข้าวเหนียวนึ่ง อาจผสมเนื้อปลาบด ไข่ปลา เติมน้ำตาลหมักจนมีรสเปรี้ยว ควรทำให้สุกก่อนบริโภค”

ส้มไส้ปลาเป็นอาหารหมักที่เกิดจากจุลินทรีย์ธรรมชาติที่ติดมากับวัตถุดิบ การปรับสภาวะในการผลิต เช่น ความเข้มข้นของเกลือ เป็นการลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์อื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตามการปรับสภาวะดังกล่าวไม่สามารถควบคุมจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด อาจมีการปนเปื้อนอยู่จุลินทรีย์อื่นที่ไม่เกี่ยวข้องในส้มไส้ปลา ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาความปลอดภัยกับผู้บริโภคและทำให้คุณภาพ รสชาติ กลิ่น และสีของส้มไส้ปลาไม่คงที่ ดังนั้นการควบคุมจุลินทรีย์เริ่มต้นในกระบวนการผลิตส้มไส้ปลาจึงเป็นสิ่งสำคัญ ทำให้ในการหมักอาหารหลายชนิดได้มีการพัฒนามาใช้หัวเชื้อตั้งต้น (Starter culture) เพื่อสร้างอาหารหมักให้มีคุณภาพมาตรฐานตามที่ต้องการ [3] จุลินทรีย์หลายชนิดทั้งแบคทีเรีย รา และยีสต์ ถูกนำมาใช้เป็นหัวเชื้อตั้งต้นในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก [4] อย่างไรก็ตามในการผลิตส้มไส้ปลายังไม่พบว่ามีการใช้จุลินทรีย์ในรูปหัวเชื้อตั้งต้น

แบคทีเรียกรดแลกติกเป็นแบคทีเรียที่มีความสำคัญและนิยมในการหมักอาหารและถนอมอาหาร [5] เนื่องจากได้รับการยอมรับว่าเป็นแบคทีเรียที่มีความปลอดภัย (Generally recognized as safe bacteria; GRAS status). *Lactobacillus* sp. I11 เป็นแบคทีเรียกรดแลกติกที่แยกได้จากผลิตภัณฑ์อาหารหมักที่มีความสามารถทนต่อเกลือน้ำดี ทนต่อ pH 2.0 มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเชื้อก่อโรคในปลา คือ *Aeromonas hydrophila* ช่วยพัฒนาคุณภาพอาหารปลาให้มีคุณภาพมากขึ้นโดยทำให้น้ำหนักเฉลี่ยปลาดุกเพิ่มมากขึ้นกว่าอาหารปลาที่ไม่ได้เสริมด้วย *Lactobacillus* sp. I11 และทำให้ปลาดุกที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วย *Lactobacillus* sp. I11 ไม่เป็นโรคจากเชื้อ *Aeromonas hydrophila* [6] ช่วย

พัฒนาคุณภาพส้มเท้าวัวโดยทำให้มีคุณภาพทางจุลชีววิทยาและคะแนนการทดสอบทางประสามสัมผัสดีมากกว่าส้มเท้าวัวที่ไม่ใส่เชื้อตั้งต้น [7] และช่วยพัฒนาคุณภาพน้ำหมักพืชให้มีคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสดีขึ้นอีกด้วย [8]

คณะผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการผลิตส้มไส้ปลาซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาส้มร่วมกับหัวเชื้อตั้งต้น *Lactobacillus* sp. I11 เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งให้สามารถนำมาบริโภคหรือพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถจำหน่ายควบคู่กับปลาส้ม อีกทั้งเพื่อเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับประชาชนในชุมชนต่อไป

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตส้มไส้ปลา

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตส้มไส้ปลาด้วยวิธีการวิจัยปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม โดยใช้กระบวนการสัมภาษณ์เชิงลึกและการสนทนากลุ่มผู้ให้ข้อมูล ในรายประเด็นส่วนประกอบ อัตราส่วนการผลิต และวิธีการผลิตของชุมชนบ้านท่าบ่อ หมู่ที่ 4 และหมู่ที่ 6 ตำบลท่าบ่อสงคราม อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม พร้อมร่วมกันทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ส้มไส้ปลา

2.2 การศึกษาการผลิตส้มไส้ปลาไบโอเทคโดยใช้แบคทีเรียแลกติก *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้น ต่อคุณภาพทางเคมี จุลชีววิทยา พยาธิ และความพึงพอใจของผู้บริโภค

ทำโดยนำเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติก *Lactobacillus* sp. I11 ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสมาละลายน้ำแข็ง เพื่อทำการบ่มเพาะเลี้ยงเชื้อก่อนใช้เป็นกล้าเชื้อบริสุทธิ์ โดยการดูดเชื้อปริมาณ 100 ไมโครลิตรลงในอาหารเหลว De Man Rogosa and Sharpe (MRS) (Merck, Germany) บ่มในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายเชื้อจากหลอดอาหารที่เลี้ยงไว้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในอาหารเหลว MRS ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วนำมาเพาะเลี้ยงเชื้ออีกครั้งตามวิธีการดังกล่าว จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงแยกเซลล์ด้วยเครื่องเหวี่ยงแยก โดยใช้ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที ล้างตะกอนเซลล์ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.85 % (w/v) ที่ฆ่าเชื้อแล้ว 2 ครั้ง ปรับค่าความขุ่นของเซลล์ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer ให้มีค่า OD เท่ากับ 1.0 (ดัดแปลงจาก [7])

จากนั้นทำการผลิตส้มไส้ปลาคด้วยวิธีการวิจัยปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมโดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้ร่วมกันพัฒนาและปรับปรุงระหว่างคณะผู้วิจัยและปราชญ์ชาวบ้าน (อัตราส่วนที่เหมาะสมจากข้อ 2.1) แล้วแบ่งออกเป็น 2 สูตร คือส้มไส้ปลาสูตรที่ใช้แบคทีเรียแลกติก *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้น โดยใช้ *Lactobacillus* sp. I11 ความเข้มข้น 10%

(v/w) และส้มไส้ปลาสูตรที่ไม่ใส่เชื้อตั้งต้น ใช้ 0.85 % (w/v) NaCl ปราศจากเชื้อแทนการใช้เชื้อตั้งต้น โดยใส่เชื้อตั้งต้นหรือ 0.85 % (w/v) NaCl ในขั้นตอนการนวดผสม บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 วัน จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี จุลชีววิทยา และพยาธิตามเกณฑ์ที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนส้มไส้ปลากำหนด [2] และประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อส้มไส้ปลาทั้ง 2 สูตร

2.2.1 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

ตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง [9] และตรวจวิเคราะห์ตะกั่ว สารหนู ปรอท และแคดเมียม [10]

2.2.2 การตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยา

ตรวจสอบ *Bacillus cereus* [11], *Clostridium perfringens* [12], *Escherichia coli* [13], *Salmonella* [14], *Staphylococcus aureus* [15] และยีสต์และรา [16]

2.2.3 การตรวจสอบพยาธิ

ตรวจสอบพยาธิตัวจี๊ด และตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในตับ [17]

2.2.4 การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภค

ขั้นตอนการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อส้มไส้ปลาที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยการใช้เชื้อตั้งต้น *Lactobacillus* sp. I11 มีดังนี้

1) การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างผู้บริโภค

การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างผู้บริโภค จากเขตพื้นที่ที่กำหนดไว้ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างผู้บริโภค 3 พื้นที่ ได้แก่ ก) กลุ่มประชาชนบ้านท่าบ่อ ข) กลุ่มนักศึกษาและบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร และ ค) กลุ่มประชาชนในเขตเทศบาลเมืองสกลนคร ทำการสุ่มตัวอย่างจากทั้งสามพื้นที่ จำนวน 50 คน โดยวิธีการสุ่มตามสะดวก แต่ให้กลุ่มตัวอย่างมีลักษณะที่หลากหลาย ทั้งในด้านเพศและช่วงอายุ ซึ่งการสุ่มนี้ ได้กำหนดให้ได้กลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคที่มีอายุในช่วงกลุ่มอายุต่ำกว่าหรือเทียบเท่า 17 ปี กลุ่มอายุตั้งแต่ 18-25 ปี กลุ่มอายุตั้งแต่ 26-44 ปี และกลุ่มอายุ 45 ปีขึ้นไป ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

2) การเก็บข้อมูลความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ส้มไส้ปลา

หลังจากกลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคจำนวน 50 คน ได้บริโภคตัวอย่างผลิตภัณฑ์ส้มไส้ปลา 2 สูตร ปริมาณสูตรละ 50 กรัม แล้วจึงให้ทำแบบประเมินความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ส้มไส้ปลา

3) การวิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ส้มไส้ปลา

การวิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ส้มไส้ปลาใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่ออธิบายข้อมูลความพึงพอใจเบื้องต้น จากนั้นใช้สถิติอนุมานเพื่อทดสอบสมมติฐานว่า การใช้แบคทีเรียแลกติก *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้นมีผลทำให้ความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ส้มไส้ปลาเพิ่มมากขึ้นด้วยสถิติ The Wilcoxon Matched Pairs Signed-Ranks Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. ผลและอภิปรายผลการทดลอง

3.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตส้มไส้ปลา

อัตราส่วนที่เหมาะสมของการผลิตส้มไส้ปลา 1 กิโลกรัม จากการปฏิบัติการวิจัยแบบมีส่วนร่วม มีส่วนประกอบ ดังนี้ ไส้ปลาสับละเอียด 700 กรัม กระเทียมสับ 120 กรัม ข้าวเหนียวนึ่ง 70 กรัม ข้าวคั่วบด 70 กรัม และเกลือ 40 กรัม และมีวิธีการผลิตส้มไส้ปลา คือ นำไส้ปลาที่สับละเอียดแล้วมาบดนวดผสมกับกระเทียมสับ ข้าวเหนียวนึ่ง ข้าวคั่วบด และเกลือ นวดผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที โดยค่อย ๆ เติมน้ำระหว่างการนวดผสม โดยใช้น้ำ 100 มิลลิลิตรต่อส้มไส้ปลา 1 กิโลกรัม การนวดผสมเป็นขั้นตอนสำคัญในการทำส้มไส้ปลา ช่วยทำให้ส่วนผสมเข้ากัน ส้มไส้ปลามีเนื้อสัมผัสตามที่ดี และเกิดการหมักที่สมบูรณ์และทั่วถึง จากนั้นบ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อได้รสชาติตามต้องการก็นำไปบริโภคหรือจำหน่าย

3.2 ผลการศึกษาการผลิตส้มไส้ปลาไบโอเทคโดยใช้แบคทีเรียแลกติก *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้น ต่อคุณภาพทางเคมี จุลชีววิทยา พยาธิ และความพึงพอใจของผู้บริโภค

3.2.1 ผลการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

ผลการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีของส้มไส้ปลาแสดงดังตารางที่ 1 ค่าความเป็นกรด-ด่างภายหลังการหมักเป็นเวลา 4 วันที่อุณหภูมิห้องของส้มไส้ปลาสูตรไม่ใช้เชื้อตั้งต้นมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.12 ส่วนสูตรที่ใส่เชื้อตั้งต้นมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.07 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน เชื้อตั้งต้นจะมีผลช่วยลดค่าความเป็นกรด-ด่างอย่างรวดเร็ว [4] ภายในวันแรกของการหมัก และภายหลังการบ่ม 2 วันเป็นต้นไป ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์เนื้อหมักที่ใส่เชื้อตั้งต้นกับไม่ใส่เชื้อตั้งต้นจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [18] ซึ่งส้มไส้ปลาทั้งสูตรที่ใส่เชื้อตั้งต้นและไม่ใส่เชื้อตั้งต้นผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนส้มไส้ปลาเรื่องค่าความเป็นกรด-ด่าง หากสภาวะมีความเหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียกรดแลกติกและระยะเวลาในการบ่มเพียงพอจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดการหมักจากแบคทีเรียกลุ่มนี้มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม เช่นเดียวกันกับการศึกษาของปาลิดา ตั้งอนุรัตน์, วัลย์ลิกา สมบัติมี และกฤติกา ศรีแดน [19] พบว่าผักกาดเขียวปลีดองทั้งที่ผลิตโดยไม่ได้ใช้เชื้อตั้งต้นและใช้เชื้อตั้งต้นเมื่อหมักในระยะเวลาที่เหมาะสมจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

ในการศึกษาสารปนเปื้อนในส้มไส้ปลาพบตะกั่วน้อยกว่า 0.050 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในส้มไส้ปลาสูตรที่ใส่เชื้อตั้งต้น อย่างไรก็ตามปริมาณตะกั่วดังกล่าวน้อยกว่าปริมาณที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนส้มไส้ปลากำหนด อีกทั้งไม่พบสารหนู แคดเมียม และปรอทในส้มไส้ปลาสูตรที่ใช้เชื้อตั้งต้น และไม่พบสารปนเปื้อนทั้ง 4 ชนิดในส้มไส้ปลาสูตรที่ไม่ใส่เชื้อตั้งต้น ดังนั้นส้มไส้ปลาทั้งสองสูตรผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนส้มไส้ปลาเรื่องสารปนเปื้อน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีส้มไส้ปลา

รายการทดสอบ	สูตรไม่ใช้เชื้อตั้งต้น	สูตรใช้เชื้อตั้งต้น	เกณฑ์มาตรฐาน
กรด – ด่าง	4.12	4.07	ต้องไม่เกิน 4.6
สารหนู	ไม่พบ	ไม่พบ	<2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แคดเมียม	ไม่พบ	ไม่พบ	<2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ตะกั่ว	ไม่พบ	<0.050	<1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ปรอท	ไม่พบ	ไม่พบ	<0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

3.2.2 ผลการตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยา

ผลการตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาในส้มไส้ปลา พบว่าส้มไส้ปลาทั้งสองสูตรมีปริมาณ *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* และ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนส้มไส้ปลา พบว่าส้มไส้ปลาทั้งสองสูตรมีปริมาณ *B. cereus*, *C. perfringens* และ *S. aureus* ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่อย่างไรก็ตามส้มไส้ปลาที่ไม่ใส่เชื้อตั้งต้นมีปริมาณยีสต์และรา และ *Escherichia coli* เท่ากับ 6.4×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ 2,400 MPN ต่อตัวอย่าง 1 กรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงเกินกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนส้มไส้ปลากำหนด ในขณะที่ปริมาณยีสต์และรา และ *Escherichia coli* ในส้มไส้ปลาที่ใส่เชื้อตั้งต้นเท่ากับ 3.1×10^2 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ <3 MPN ต่อตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าส้มไส้ปลาที่ใส่เชื้อตั้งต้นมีปริมาณยีสต์และรา และ *Escherichia coli* ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน อีกทั้งไม่พบ *Salmonella* spp. ในส้มไส้ปลาที่ใส่เชื้อตั้งต้น แต่พบ *Salmonella* spp. ในส้มไส้ปลาที่ไม่ใส่เชื้อตั้งต้น ดังนั้นส้มไส้ปลาที่ใส่เชื้อตั้งต้นจึงมีคุณภาพทางจุลชีววิทยาผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนส้มไส้ปลา ส่วนส้มไส้ปลาที่ไม่ใส่เชื้อตั้งต้นไม่ผ่านเกณฑ์ ฯ ดังตารางที่ 2

จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้ *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้นสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ก่อโรคที่ใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ส้มไส้ปลาได้ อาจเนื่องจากกรดแลกติกที่ผลิตจากแบคทีเรียกรดแลกติกสามารถซึมผ่านเข้าไปในเซลล์จุลินทรีย์ สภาพภายในเซลล์จุลินทรีย์ที่มีความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าภายนอกเซลล์จะมีผลทำให้กรดแลกติกแตกตัวเป็นไฮโดรเจนไอออน จึงมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิสมต่าง ๆ ภายในเซลล์ [20] รวมทั้งแบคทีเรียสร้างกรดแลกติกสามารถสร้างสารประกอบโปรตีนที่เรียกว่าแบคเทอริโอซิน (Bacteriocin) ซึ่งมีฤทธิ์ทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในวัตถุดิบได้ [21]

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาส้มไส้ปลา

รายการทดสอบ	สูตรไม่ใช้เชื้อตั้งต้น	สูตรใช้เชื้อตั้งต้น	เกณฑ์มาตรฐาน
B. cereus	<10	<10	$<1 \times 10^3$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
C. perfringens	<10	<10	$<1 \times 10^3$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
E. coli	2,400	<3	<3 MPN ต่อตัวอย่าง 1 กรัม
Salmonella spp.	พบ	ไม่พบ	ต้องไม่พบต่อตัวอย่าง 25 กรัม
S. aureus	<10	<10	100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
ยีสต์และรา	6.4×10^4	3.1×10^2	$<1 \times 10^3$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3.2.3 ผลการตรวจสอบพยาธิ

ผลการศึกษาพยาธิในส้มไส้ปลาสูตรที่ไม่ได้ใช้เชื้อตั้งต้นบริสุทธิ์และสูตรที่ใช้เชื้อตั้งต้นบริสุทธิ์ พบว่าตรวจไม่พบพยาธิตัวจี๊ดและตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในตับในส้มไส้ปลาทั้งสองสูตร ซึ่งส้มไส้ปลาทั้งสองสูตรผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนส้มไส้ปลา ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบพยาธิในส้มไส้ปลา

รายการ	สูตรไม่ใช้เชื้อตั้งต้น	สูตรใช้เชื้อตั้งต้น	เกณฑ์มาตรฐาน
พยาธิตัวจี๊ด	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในตับ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

อย่างไรก็ตามพยาธิใบไม้ตับและมะเร็งท่อน้ำดียังคงเป็นปัญหาที่สำคัญทางด้านสาธารณสุขของอำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม เนื่องจากมีอัตราการป่วยตายด้วยโรคพยาธิใบไม้ตับและมะเร็งท่อน้ำดีในปี 2557, 2558 และ 2559 เท่ากับ 8.75, 26.26 และ 13.07 ต่อแสนประชากร และมีอัตราความชุกพบไข่พยาธิใบไม้ตับเท่ากับ 350.08, 27.71 และ 152.51 ตามลำดับ [22] ซึ่งตามสถิติอัตราการป่วยตายด้วยโรคพยาธิใบไม้ตับและมะเร็งท่อน้ำดี และอัตราความชุกพบไข่พยาธิใบไม้ตับไม่ได้ลดลง เนื่องจากในพื้นที่มีวัฒนธรรมการกินปลาดิบ หรือสุก ๆ ดิบ ๆ มีคติความเชื่อและรูปแบบการกินที่สืบทอดต่อกันมาใน

ครอบครัว ชุมชน และกลุ่มชาติพันธุ์ต่าง ๆ [23] ดังนั้นควรบริโภคส้มไส้ปลาแบบสุกเพื่อความปลอดภัยและสุขอนามัยที่ดีของผู้บริโภค

3.2.4 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภค

การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อส้มไส้ปลา พบว่าผู้บริโภคพึงพอใจสีของส้มไส้ปลาสูตรที่ใช้ *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้นมากกว่าส้มไส้ปลาสูตรที่ไม่ใช้เชื้อตั้งต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้วยคะแนนเท่ากับ 3.96±0.73 และ 3.16±0.47 ตามลำดับ ส่วนเรื่องกลิ่นของส้มไส้ปลาผู้บริโภคพึงพอใจสูตรที่ใช้ *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้นและสูตรที่ไม่ใช้เชื้อตั้งต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้วยคะแนนเท่ากับ 3.58±0.64 และ 3.42±0.54 ตามลำดับ รสชาติของส้มไส้ปลาสูตรที่ใช้ *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้นได้รับคะแนนความพึงพอใจเท่ากับ 3.84±0.65 ซึ่งมากกว่ารสชาติของส้มไส้ปลาสูตรที่ไม่ใช้เชื้อตั้งต้นที่ได้รับคะแนนเพียง 2.64±0.66 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมถึงผู้บริโภคมีความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ส้มไส้ปลาสูตรที่ใช้ *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้นมากกว่าส้มไส้ปลาสูตรที่ไม่ใช้เชื้อตั้งต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยคะแนนเท่ากับ 3.64±0.56 และ 2.92±0.57 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อส้มไส้ปลา

สูตร	ความพึงพอใจของผู้บริโภค			
	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
สูตรไม่ใช้เชื้อตั้งต้น	3.16± 0.47b	3.42± 0.54a	2.64± 0.66b	2.92± 0.57b
สูตรใช้เชื้อตั้งต้น	3.96± 0.73a	3.58± 0.64a	3.84± 0.65a	3.64± 0.56a

ดังนั้นผู้บริโภคจึงพึงพอใจผลิตภัณฑ์ส้มไส้ปลาสูตรที่ใช้ *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้นมากกว่าส้มไส้ปลาสูตรที่ไม่ใช้เชื้อตั้งต้น เนื่องจากการใช้แบคทีเรียแลกติกเป็นเชื้อตั้งต้นจะช่วยรักษาคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สี รส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ รวมถึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติดีขึ้น [4, 24-25]

4. สรุปผลการทดลอง

อัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ส้มไส้ปลา 1 กิโลกรัม ประกอบด้วยไส้ปลาสับละเอียด 700 กรัม กระเทียมสับ 120 กรัม ข้าวเหนียวนึ่ง 70 กรัม ข้าวคั่วบด 70 กรัม และเกลือ 40 กรัม โดยบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 วัน โดยใช้แบคทีเรียแลกติก

Lactobacillus sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้นซึ่งจะมีผลช่วยให้ผลิตภัณฑ์ส้มไส้ปลามีคุณภาพทางจุลชีววิทยาที่ดีขึ้นเนื่องจากช่วยลดจุลินทรีย์ก่อโรคที่ใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพทางจุลชีววิทยาของส้มไส้ปลาได้ อีกทั้งการใช้ *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้นยังส่งผลให้ผู้บริโภคมีความพึงพอใจทางด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวมดีมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการวิจัยทั้งหมดจึงสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ส้มไส้ปลาที่ใช้ *Lactobacillus* sp. I11 เป็นเชื้อตั้งต้นเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมักปลอดภัยที่สร้างความพึงพอใจให้แก่ผู้บริโภค

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณสมาชิกกลุ่มผู้ผลิตปลาส้มบ้านท่าบ่อ หมู่ที่ 4 และหมู่ที่ 6 ตำบลท่าบ่อสงคราม อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนมที่มีส่วนร่วมให้การดำเนินงานวิจัยประสบผลสำเร็จ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Villamil O., Váquiro H. and Solanilla F.J. (2017). Fish viscera protein hydrolysates: production, potential applications and functional and bioactive properties, *Journal of Food Chemistry*, Vol. 224, pp. 160-171.

[2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มผช. 725/2557) กระทรวงอุตสาหกรรม. (2557). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนส้มไส้ปลา*, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

[3] Holzapfel W.H. (1997). Use of starter cultures in fermentation on a household scale, *Food Control*, Vol. 8(6), pp. 241-258.

[4] Laranjo M., Potes M. E. and Elias M. (2019). Role of starter cultures on the safety of fermented meat products, *Frontiers in Microbiology*, Vol 10(853). doi: 10.3389/fmicb.2019.00853

[5] Hwanhlem N., Buradaleng S., Wattanachant S., Benjakul S., Tani A. and Maneerat S. (2011). Isolation and screening of lactic acid bacteria from Thai traditional fermented fish (Plasom) and production of Plasom from selected strains, *Food Control*, Vol. 22, pp. 401-407.

[6] วิศัย พรหมเทพ และ สุวภา ยศตะโคตร. (2555). การแยกเชื้อแบคทีเรียสร้างกรดแลคติกจากผลิตภัณฑ์อาหารหมักเพื่อใช้เป็นแหล่งของโปรไบโอติก, *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร*, ปีที่ 4(8), หน้า 67-76.

[7] อรุณ วงศ์จิรัฐิติ และ สุวภา ยศตะโคตร. (2557). การพัฒนากระบวนการผลิตส้มเท้าวัวปลอดภัย, *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร*, ปีที่ 6(11), หน้า 39-50.

[8] สุวภา ยศตะโคตร, ชนัญกาญจน์ แสงประสาน และ อรุณ วงศ์จิรัฐิติ. (2561). การศึกษาคุณภาพและพัฒนาเชื้อตั้งต้นสำหรับการผลิตน้ำหมักพืชเพื่อการบริโภคที่ปลอดภัย, *รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติสวนดุสิต ครั้งที่ 3 ประจำปี 2561*, 31 กรกฎาคม 2561, ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา มหาวชิราลงกรณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต กรุงเทพฯ, หน้า 358-363.

[9] AOAC. (2016). *Official method of analysis of AOAC international*, 20th edition, AOAC international, Maryland.

[10] Sheppard B.S., Heitkemper D. T. and Gaston C. M. (1994). Microwave digestion for the determination of arsenic, cadmium and lead in seafood products by inductively coupled plasma atomic emission and mass spectrometry, *Analyst*, Vol. 119, pp. 1683-1686.

[11] Tallent S. M., Knolhoff A., Rhodehamel E. J., Harmon S. M., and Bennett R. W. (2020). *BAM Chapter 14: Bacillus cereus*, URL: https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-14-bacillus-cereus, access on 18/06/2021.

[12] Rhodehamel E. J. and Harmon S. M. (2001). *BAM Chapter 16: Clostridium perfringens*, URL: https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-16-clostridium-perfringens, access on 18/06/2021.

[13] Feng P., Weagant S. D., Grant M. A., Burkhardt W. (2020). *BAM Chapter 4: Enumeration of Escherichia coli and the coliform bacteria*, URL: https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria, access on 18/06/2021.

[14] ISO. (2017). *Microbiology of the food chain — horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella — Part 1: Detection of Salmonella spp. (ISO 6579-1:2017)*, ISO.

[15] Tallent S., Hait J., Bennett R. W. and Lancette G. A. (2016). *BAM Chapter 12: Staphylococcus aureus*, URL: https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-12-staphylococcus-aureus, access on 18/06/2021.

[16] Tournas V., Stack M. E., Mislivec P. B., Koch H. A. and Bandler R. (2001). *BAM Chapter 18: Yeasts, molds and mycotoxins*, URL: https://www.fda.gov/food/laboratory-

methods-food/bam-chapter-18-yeasts-molds-and-mycotoxins, access on 18/06/2021.

[17] Fayer R. and Xiao L. (2015). Chapter 42: Waterborne and foodborne parasites. In Y. Salfinger and M. L. Tortorello (Eds.), *Compendium of methods for the microbiological examination of foods* (5th edition) (pp. 565-582). APHA Press.

[18] Tangwatcharin P., Nithisantawakhup J. and Sorapukdee S. (2020). Microbiological and physicochemical qualities of moo som (traditional Thai fermented meat) inoculated with lactic acid bacteria starter, *Walailak Journal of Science and Technology*, 17(8), pp. 788-800.

[19] ปาลิดา ตั้งอนุรัตน์, วัลย์ลิกา สมบัติมี และ กฤติกา ศรีแดน. (2556). ผลของแบคทีเรียกรดแลคติกต่อคุณภาพของการหมักผักกาดเขียวปลี. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 44(2)(พิเศษ), 321-324.

[20] De Vuyst L. and Vandamme E. J. (1994). Antimicrobial potential of lactic acid bacteria, In: De Vuyst L. and Vandamme E. J., Eds. *Bacteriocins of lactic acid bacteria: microbiology, genetic and application*. London: Blackie-Academic & Professional. pp. 91-142.

[21] Dobson A., Cotter P.D., Paul Ross R. and Hill C. (2012). Bacteriocin Production: a Probiotic Trait?. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(1), 1–6.

[22] สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครพนม. (2557). *รายงานผลการปฏิบัติราชการและผลงานเด่นของกระทรวงสาธารณสุข ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557*, สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครพนม.

[23] เทพพร มังธานี. (2562). วัฒนธรรมไท-ลาวกับการแก้ไขปัญหาโรคพยาธิใบไม้ตับและมะเร็งท่อน้ำดี: กรณีศึกษาลุ่มน้ำสงครามตอนกลาง, *วารสารวิชาการมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*, 27(55), หน้า 60-82.

[24] Leroy F. and De Vuyst L. (2004). Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry, *Trends in Food Science & Technology*, 15(2), pp. 67–78. doi: 10.1016/j.tifs.2003.09.004

[25] Kröckel L. (2013). *The role of lactic acid bacteria in safety and flavour development of meat and meat products, Lactic acid bacteria - R & D for food, health and livestock purposes*, Marcelino Kongo, IntechOpen, doi: 10.5772/51117

Sci2.3-5

NCBMI

THE 8th NATIONAL CONFERENCE ON BUSINESS MANAGEMENT AND INNOVATION 2021

การประชุมวิชาการทางธุรกิจและนวัตกรรมทางการจัดการ ระดับชาติ ประจำปี 2564 (ครั้งที่ 8)

"Chinese – Thai Business Collaboration"

วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาการจัดการ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
25 กันยายน 2564

SCGSM
COLLEGE OF GRADUATE STUDY IN MANAGEMENT
KHON KAEN UNIVERSITY

KASETSART BUSINESS SCHOOL

คณะบริหารธุรกิจเพื่อสังคม
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

กำหนดการนำเสนอภาคบรรยายระดับชาติ

วันที่ 25 กันยายน 2564

ณ วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาการจัดการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ประเภทการนำเสนอ : บรรยายระดับชาติ **กรรมการประจำห้อง : รศ.ดร.นิติพล ภูตะโชติ**

ห้องนำเสนอ (9) : https://meet.google.com/qkp-bzbk-rpy?hs=122&authuser=0

ลำดับ	เวลา	บทความ และ นักวิจัย
1	13.30-13.45 น.	การศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคในกลุ่มเจเนอเรชั่นแซด และปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการ Co-working Space ในเขตอำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น **ขวัญโกมล ชินคำ และ บุษกรณ์ ลีเจ้ยวะระ**
2	13.45-14.00 น.	การศึกษาปัจจัยอิทธิพลทางสังคมและปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดในมุมมองของลูกค้าที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ใหม่ในสินค้าเสื้อผ้าแฟชั่นผ่านเครือข่ายออนไลน์ กรณีศึกษาแบรนด์ ธัญญาทอง **ธัญญาลักษณ์ ภู่ทอง และ บุษกรณ์ ลีเจ้ยวะระ**
3	14.00-14.15 น.	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจของนักท่องเที่ยวชาวไทยที่เดินทางมาเที่ยวขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราชหลังการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 **ธีรลักษณ์ ปลอดแก่นทอง อติชา ยีหวังกอง และ วิลาวัลย์ จันทร์ศรี**
4	14.15.-14.30 น.	ทัศนคติ คุณภาพการบริการ และพฤติกรรมผู้บริโภคที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้ออาหารผ่านแอปพลิเคชัน Grab Food ในเขตกรุงเทพมหานคร **นัฐชนน นวลนุ่น และ จรัชวรรณ จันทรัตน์**
5	14.30-14.45 น.	การศึกษาแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือบ้านดงอีด่อย จังหวัดสกลนคร **นาฎลดา เรืองชาญ สุวิมล บุญทา และ ชนัญกาญจน์ แสงประสาน**
6	14.45-15.00 น.	ส่วนประสมทางการตลาดบริการและพฤติกรรมการเลือกใช้บริการร้านจำหน่ายทองคำรูปพรรณในจังหวัดพิษณุโลก **นิอร นาคหมู และ พุดตาน พันธุเณร**
7	15.00-15.15 น	การรับรู้คุณค่า ความไว้วางใจและความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ลูกประคบสมุนไพรที่มีผลต่อการซื้อซ้ำของผู้บริโภค **บุณยาพร ไชยปัญหา จริดา ประเสริฐ จตุพร ทิพยเสวต เกษฎาภรณ์ ณะนิตย์ นัดดา บุญกำเนิด และ วัลลภา พัฒนา**
8	15.15-15.30 น.	การรับรู้ภาพลักษณ์ ความพึงพอใจ และพฤติกรรมการตัดสินใจบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ กรณีศึกษาร้านออแก้นท์ **เบญจพร เพชระ และ วิเชียร วรพุทธพร**

การศึกษาแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือบ้านดงอีด่อย จังหวัดสกลนคร
THE STUDY OF HAND WOKEN FABRIC FASHION PRODUCTS AT BAN DONG E DOI, SAKON NAKHON PROVINCE

นาฎลดา เรืองชาญ[1]
สุวิมล บุญทา[2]
ชนัญกาญจน์ แสงประสาน[3]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาการดำเนินงานกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อยด้วยการสนทนากลุ่ม (Focus group) และ 2) ศึกษาความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มผู้บริโภคที่สนใจในผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างตามความสะดวก (Convenience Sampling) กำหนดขนาดตัวอย่างด้วยวิธีของทาโร่ยามาเน่ (Taro Yamane) ได้ขนาดตัวอย่างอย่างน้อย 270 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็น ความต้องการ ความชื่นชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ ทำการเก็บข้อมูลทั้งออนไลน์และออฟไลน์ มีกลุ่มตัวอย่างยินดีให้ข้อมูลจำนวน 298 คน วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนา

ผลการวิจัยพบว่า 1) กลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อย เป็นหนึ่งในห้ากิจกรรมที่ชมรมผู้สูงอายุตำบลแพดดำเนินการเพื่อเพิ่มรายได้ การพัฒนากิจกรรมกลุ่มทอผ้า ประกอบด้วย การพัฒนาลายผ้าใหม่ การผลิตสินค้าให้ตรงความต้องการของลูกค้า และการเพิ่มช่องทางการจำหน่าย 2) ส่วนใหญ่ผู้บริโภคเคยซื้อผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ คิดเป็นร้อยละ 79.19 มีเหตุผลในการซื้อ คือ ซื้อใช้เอง รองลงมา คือ ซื้อเป็นของฝากหรือของขวัญ และซื้อให้คนในครอบครัว สีของเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มจากผ้าทอมือเพื่อสวมใส่ไปร่วมงานมงคล ที่ชื่นชอบมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ กลุ่มสีสว่างสีฟ้า กลุ่มสีลักษณะทูโทน และกลุ่มสีสว่างที่มีลวดลายตามลำดับ เสื้อผ้าที่ผู้บริโภคคิดว่าน่าจะมีโอกาสซื้อมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ชุดเดรส ชุดลำลองทั่ว ๆ ไป และชุดสูทพร้อมกางเกง และควรมีราคาขายต่อชุดโดยเฉลี่ย 788 บาท 376 บาท และ 1,193 บาท ตามลำดับ

คำสำคัญ ผ้าทอมือ การส่งเสริมการขาย แฟชั่น

Abstract

The aim of this research were (1) to study the operations of Ban Dong E Doi weaving group by focus group; and (2) to study the opinion of Consumer about the fashion of hand woken fabric products. The sample were the consumers who were interested in hand-woven products. The sample size was computed by Taro Yamane formula. The minimum sample size of 270 persons was obtained using the convenience sampling. A questionnaire was used to collect data. During the online and offline data collection period, there were 298 persons who were willing to provide the data. The data were analyzed by descriptive statistics.

The results showed that (1) Ban Dong E Doi weaving group is one of five groups that elderly people of Pad Tombon done for making more money. How to improve the operations of weaving group were to create new pattern of weaving, new products that consumer needs and to make more distribution channels; (2) the 79.19% of consumers have to bought the hand woken fabric products. The reason to bought them were self-used, Gift, and family-used. The colors of hand woken fabric clothing for going to propitious ceremony were group of light blue, group of two-tone color, and group of light color with some pattern.

The top three of clothing that consumers will buy are dresses, casual wears, and suits. The consumers give the average selling price for dresses, casual wears, and suits with pants at 788, 376, and 1,193 baht respectively.

Keywords: Hand Woken, Fabric Promotion, Fashion

[1] อาจารย์ วท.ม.เทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร E-mail: nadlada.r@snru.ac.th
[2] นักวิชาการศึกษา บธ.ม.การจัดการทั่วไป คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
[3] อาจารย์ ปร.ด.การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

บทนำ

ผ้าพื้นเมืองเป็นสัญลักษณ์ของคนในแต่ละชุมชน แสดงถึงเชื้อชาติ เผ่าพันธุ์และความแตกต่างทางวัฒนธรรม ผ้าพื้นเมืองเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ตั้งแต่แก่จนถึงตาย และยังมีบทบาทสำคัญทั้งในทางเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำรงชีวิตของคนในชุมชน และยังมีบทบาททางการค้า ประกอบกับการดำรงอยู่ของวัฒนธรรมควบคู่กับการพัฒนาเป็นอาชีพและรายได้ของคนในชุมชน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายใต้กระแสโลกาภิวัตน์ การก้าวเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนของประเทศไทย ซึ่งมีเป้าหมายของการรวมกลุ่มทางเศรษฐกิจเป็น“ตลาดและฐานการผลิตเดียว” โดยให้มีการเคลื่อนย้ายสินค้า บริการ การลงทุน และแรงงานมีฝีมือภายในอาเซียนอย่างเสรี รวมถึงการเคลื่อนย้ายเงินทุนที่เสรีมากขึ้น เป็นความท้าทายที่ผลักดันให้ผู้ประกอบการไทยที่ทำธุรกิจส่งออก นำเข้า หรือผู้ที่ทำธุรกิจภายในประเทศ ทั้งขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดย่อม และผู้ประกอบการระดับชุมชนต้องเรียนรู้และปรับตัวรองรับความเปลี่ยนแปลงอันเกิดจากการเปิดเสรีภายใต้ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) ที่จะมีผลกระทบต่อการดำเนินธุรกิจ ผ้าพื้นเมืองได้สะท้อนถึงวิถีชีวิตและการเติบโตของชุมชนในแต่ละจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของชุมชน ดังนี้ ผ้าแพรวา กาฬสินธุ์ ผ้ามัดหมี่ ขอนแก่น ผ้ามัดหมี่ขอขั้นนารีและผ้าทอยกมุก ชัยภูมิ ผ้าหางกระรอก นครราชสีมา ผ้าชิ่นไหมมัดหมี่ตีนแดง บุรีรัมย์ ผ้ามัดหมี่ลายสร้อยดอกหมาก มหาสารคาม ผ้ามัดหมี่ลายแก้วมุกดา มุกดาหาร ผ้าขิด ลายลูกแก้วยโสธร ผ้ามัดหมี่ลายสาเกตุ ร้อยเอ็ด ผ้าไหมมัดหมี่ลายตุ้มใหญ่ เลย ผ้าลายลูกแก้ว ศรีสะเกษ ผ้าฝ้ายย้อมคราม สกลนคร ผ้าไหมลายโฮล สุรินทร์ ผ้าไหมขิด หนองบัวลำภู ผ้าขิดฝ้าย อำนาจเจริญ ผ้าไหมมัดหมี่ อุดรธานี และผ้ากาบบัวจกดาว อุบลราชธานี

บ้านดงอีด่อย ต.แพด อ.คำตากล้า จ.สกลนคร เป็นพื้นที่ในเครือข่ายของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่เข้าร่วมกิจกรรมในการพัฒนาชุมชน ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์โอทอป การพัฒนาในโครงการศาสตร์พระราชา จากการศึกษาข้อมูลพื้นที่บ้านดงอีด่อยโดยการสัมภาษณ์ นายสุทิน คำตา ประธานกลุ่มผู้สูงอายุเทศบาลตำบลแพด พบว่า มีกลุ่มทอผ้าพื้นเมืองเกิดจากการรวมกลุ่มของผู้สูงอายุ ที่ต้องการเพิ่มรายได้ มีการผลิตผ้าพื้นเมืองอย่างต่อเนื่องของกลุ่ม ทำให้มีหน่วยงานของภาครัฐเข้ามาช่วยทำการสนับสนุนในด้านการตลาด ถึงแม้ว่ากลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อยจะมีกำลังบุคลากรเพียงพอในการผลิตผ้าทอมือ [1] แต่การจัดจำหน่ายและการพึ่งพาตนเองยังประสบปัญหาอยู่ คือ ผู้ผลิตผ้าทอมือไม่สามารถวิเคราะห์ความต้องการของตลาดได้ รวมถึงแนวทางการจัดจำหน่ายยังมีน้อย เพื่อเป็นการส่งเสริมกิจกรรมของกลุ่มให้เกิดเป็นความยั่งยืน โดยการพึ่งพาตนเอง กลุ่มทอผ้าสามารถรู้ถึงความต้องการของผู้บริโภค ก็จะสามารถผลิตสินค้าที่ตรงกับความต้องการ ผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือเป็นที่ต้องการของตลาด ทำให้กลุ่มผู้ผลิตผ้าทอมือลดปัญหาเรื่องการจำหน่ายผ้าทอมือ และยังสามารถวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ช่วยสนับสนุนส่งเสริม การจัดทำการตลาดหรือส่งเสริมการตลาดต่อไปได้ โดยการพึ่งพาตนเองและมีความยั่งยืนต่อไปในอนาคต

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของการพึ่งพาตนเองของกลุ่ม เพื่อให้กลุ่มผู้ผลิตผ้าทอมือ สามารถรู้ถึงความต้องการ ความชื่นชอบต่อผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ หรือแฟชั่นของผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือของกลุ่มผู้บริโภคเป็นการเบื้องต้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค จึงสนใจที่จะศึกษาการดำเนินงานของกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อย อ.คำตากล้า จ.สกลนคร และศึกษาความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ เพื่อเป็นข้อมูลแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือของกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อยให้ตรงความต้องการของผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1) ศึกษาการดำเนินงานกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อย ต.แพด อ.คำตากล้า จ.สกลนคร
2) ศึกษาความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือของกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อย ต.แพด อ.คำตากล้า จ.สกลนคร

วิธีดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาการดำเนินงานกลุ่มทอผ้าและผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือบ้านดงอีด่อย

ผู้วิจัยดำเนินการลงพื้นที่เพื่อศึกษาการดำเนินงานของกลุ่มทอผ้า โดยการสนทนากลุ่ม (Focus Group) เพื่อศึกษาการรวมกลุ่มทอผ้า ผลการดำเนินงานและผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือของกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อยในอดีต เพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับปัญหาการผลิตผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือให้ตรงกับความต้องการผู้บริโภค ตลอดจนข้อมูลที่กลุ่มทอผ้าควรทราบ ผู้วิจัยได้สนทนากับตัวแทนกลุ่มทอผ้าในประเด็นข้อมูลที่กลุ่มทอผ้าควรทราบ บนแนวคิดส่วนประสมทางการตลาด (Marketing Mix) 4Ps เพื่อใช้

เป็นแนวทางในการผลิต ประชากรและตัวอย่างสำหรับการสนทนากลุ่ม รายละเอียดดังนี้

ประชากร ได้แก่ สมาชิกกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อย ประจำปี พ.ศ. 2563 จำนวน 50 คน ผู้นำชุมชน/ผู้ใหญ่บ้าน 1 คน พัฒนาชุมชนในพื้นที่หรือผู้แทนสำนักงานพัฒนาชุมชน 1 คน

ตัวอย่าง ได้แก่ สมาชิกกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อย ประจำปี พ.ศ. 2563 จำนวน 10 คน โดยใช้วิธีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Selection) โดยเป็นสมาชิกที่มีกิจกรรมทอผ้าอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ ผู้นำชุมชน/ผู้ใหญ่บ้าน 1 คน พัฒนาชุมชนในพื้นที่หรือผู้แทนสำนักงานพัฒนาชุมชน 1 คน

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ

หลังจากการสนทนาร่วมกันระหว่างผู้วิจัย และตัวแทนกลุ่มเกี่ยวกับแนวคิดส่วนประสมทางการตลาด (Marketing Mix) ในส่วนของผลิตภัณฑ์ (Product) การผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ให้ตรงความต้องการของผู้ซื้อหรือผู้บริโภค ตัวแทนกลุ่มทอผ้าได้ร่วมแสดงความคิดเห็นผ่านการสนทนากลุ่มในขั้นตอนที่ 1 แล้ว ผู้วิจัยได้รวบรวมประเด็นข้อมูลเหล่านั้นมาดำเนินการต่อในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นการสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ เพื่อนำไปข้อสรุปที่ได้ไปร่วมในการพัฒนาแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือบ้านดงอีด่อยต่อไป ซึ่งมีระเบียบวิธีวิจัย ดังนี้

1. ประชากรและตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้บริโภคที่สนใจในผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ ซึ่งไม่สามารถกำหนดกรอบในการสุ่มตัวอย่าง (Sampling frame) ได้ จึงใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างตามความสะดวก (Convenience Sampling) ซึ่งกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยวิธีของทาโร่ยามาเน่ (Taro Yamane) กรณีไม่ทราบสัดส่วนของประชากรที่เคยใช้ผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือนี้ เมื่อกำหนดขอบเขตความผิดพลาดเท่ากับ 0.05 ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% [2] สามารถกำหนดขนาดตัวอย่างขั้นต่ำ (Minimum sample size) เท่ากับ 270 คน ดังนั้น กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มนักท่องเที่ยวหรือผู้บริโภคที่สนใจในผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือและยินดีให้ข้อมูลในช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูลออนไลน์และออฟไลน์ ตัวอย่างสำหรับขั้นตอนที่ 2 มีจำนวน 298 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็น ความต้องการ ความชื่นชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ หรือแฟชั่นของผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือของกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อย อำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร โดยการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ ใช้แนวคิดเกี่ยวกับพฤติกรรมผู้บริโภคจาก ศิริวรรณ เสรีรัตน์ [3] แนวคิดส่วนประสมทางการตลาดตามแนวคิดของ Kotler and Keller [4] และแนวคิดการหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ผ้าผ้ายทอมือของกิตติพงษ์ เกียรติวิภาค [5] มีลักษณะข้อคำถามแบบปลายปิด และการแสดงข้อคิดเห็นด้วยข้อคำถามปลายเปิด แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ประสบการณ์ด้านการใช้ผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือและความคิดเห็นที่มีต่อแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ มี 2 ส่วนย่อย คือ

1) ประสบการณ์ด้านการใช้ผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือและความคิดเห็นที่มีต่อแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือทั่ว ๆ ไป

2) ความคิดเห็นที่มีต่อการออกแบบแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือบ้านดงอีด่อย อำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร

ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะอื่นๆ เกี่ยวกับแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือและการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ

ผู้วิจัยพัฒนาเครื่องมือวิจัยให้เหมาะสม โดยการพิจารณาคุณภาพเครื่องมือวิจัย ด้านความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาด้วยเกณฑ์การประเมินความสอดคล้อง (Index of consistency : IOC) จากผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือวิจัย จำนวน 3 ท่าน ได้เครื่องมือที่พัฒนาแล้วมีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ค่า IOC มากกว่า 0.5 ทุกข้อคำถาม

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 ขั้นตอนการการสนทนากลุ่ม (Focus Group) เพื่อศึกษาผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือของกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อย เก็บข้อมูลโดยใช้การจดบันทึกและเทปบันทึกเสียง บันทึกประเด็นและรายละเอียดของการสนทนากลุ่ม เมื่อเสร็จสิ้นการสนทนาผู้วิจัยทำการถอดรายละเอียดจากเทปที่บันทึกไว้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ต่อไป

3.2 ขั้นตอนการศึกษาความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ ผู้วิจัยทำการอบรมวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลให้กับตัวแทนสมาชิกกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อย เพื่อให้ตัวแทนกลุ่มที่ผ่านการอบรมการเก็บรวบรวมข้อมูลแล้วดำเนินการเก็บข้อมูลจากกลุ่มลูกค้าเดิมที่เคยซื้อผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือของกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อย ด้วยแบบสอบถามในลักษณะออฟไลน์ ส่วนการเก็บข้อมูลจากกลุ่มลูกค้าทั่วไปที่สนใจในผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ จะดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามในลักษณะออนไลน์

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพโดยการวิเคราะห์เนื้อหา และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้สถิติพื้นฐาน

ได้แก่ ความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการลงพื้นที่เพื่อศึกษาการดำเนินงานของกลุ่มทอผ้า โดยการสนทนากลุ่ม (Focus Group) เพื่อศึกษาการรวมกลุ่มทอผ้า ผลการดำเนินงานผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือและปัญหาของกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อยในอดีต พบว่า สมาชิกกลุ่มมีความต้องการที่จะศึกษาพัฒนาลายผ้า การผลิตสินค้าให้ตรงตามความต้องการลูกค้า เพื่อให้สามารถจำหน่ายได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังต้องการเพิ่มช่องทางการจำหน่ายสินค้าให้หลากหลาย และทันสมัย จึงมีความสนใจที่จะจำหน่ายสินค้าผ่านช่องทางออนไลน์ด้วย ซึ่งสมาชิกกลุ่มมีความต้องการผลิตสินค้าให้ตรงตามความต้องการซื้อของลูกค้า ดังนั้นการสอบถามความคิดเห็นของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ จึงเป็นที่สนใจของกลุ่มทอผ้า

ผลการสำรวจความคิดเห็นของตัวอย่างผู้บริโภคที่มีต่อแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ บ้านดงอีด่อย จำนวน 298 คน พบว่า

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นผู้หญิง คิดเป็นร้อยละ 63.42 อายุอยู่ในช่วง 18 ปี ถึง 63 ปี อายุโดยเฉลี่ย 35.05 ปี (SD = 10.18 ปี) ส่วนใหญ่จบการศึกษาระดับปริญญาตรี รองลงมา คือ จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย และอนุปริญญา คิดเป็นร้อยละ 69.13 ร้อยละ 15.10 และร้อยละ 5.03 ตามลำดับ มีอาชีพหลัก คือ ข้าราชการ/พนักงานของรัฐ รองลงมา คือ พนักงานบริษัทเอกชน และนักเรียน/นักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 48.32 ร้อยละ 25.84 และร้อยละ 12.08 ตามลำดับ มีอาชีพเสริม คือ เจ้าของกิจการ/ประกอบอาชีพอิสระ รองลงมา คือ เกษตรกรรม และรับจ้างทั่วไป คิดเป็นร้อยละ 51.40 ร้อยละ 46.37 และร้อยละ 1.12 ตามลำดับ ส่วนใหญ่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน อยู่ในช่วง 10,001 - 20,000 บาท รองลงมาคือ รายได้เฉลี่ยต่อเดือน ไม่เกิน 10,000 บาท และมีรายได้ 20,001 – 30,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 41.61 ร้อยละ 23.15 และร้อยละ 22.48 ตามลำดับ

ส่วนใหญ่ผู้บริโภคมีประสบการณ์ด้านการใช้ผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ คือ เคยซื้อผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ 236 คน คิดเป็นร้อยละ 79.19 และมีเหตุผลในการซื้อ คือ ซื้อใช้เอง รองลงมา คือ ซื้อเป็นของฝากหรือของขวัญสำหรับบุคคลอื่น และซื้อให้คนในครอบครัว คิดเป็นร้อยละ 76.80 ร้อยละ 48.31 และร้อยละ 47.03 ตามลำดับ ด้านประสบการณ์เคยใช้ผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่เคยใช้ผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ 250 คน คิดเป็นร้อยละ 83.89 ซึ่งผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือที่ผู้บริโภคเคยใช้ มากที่สุด 3 อันดับแรกได้แก่ ผ้าพันคอ เสื้อ และผ้าถุง คิดเป็นร้อยละ 58.00 ร้อยละ 48.00 และร้อยละ 42.80 ตามลำดับ ดังภาพที่ 1

กลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคมีความคิดเห็นต่อคุณสมบัติทั้ง 6 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ เฉพาะ “เครื่องนุ่งห่ม” ที่ทำให้ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อในอนาคต ในประเด็น 1) คุณค่าของธรรมชาติหรืองานหัตถกรรม 2) มีเอกลักษณ์และศิลปวัฒนธรรมของท้องถิ่น 3) วัสดุและกรรมวิธีการผลิตของท้องถิ่น 4) ใช้สอยดี เหมาะสมกับวัสดุท้องถิ่น 5) ความสวยงามและความน่าสนใจ และ 6) รูปแบบแปลกใหม่ สะดุดตา มีคะแนนความสำคัญโดยเฉลี่ย ค่อนข้างมากและอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ทั้ง 6 คุณสมบัติ

สำหรับโอกาสหรือมีความจำเป็นที่ผู้บริโภคต้องสวมใส่ เสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มจากผ้าทอมือ มากที่สุด คือ เพื่อไปร่วมงานมงคล เช่น งานฉลองพิธีมงคลสมรส งานขึ้นบ้านใหม่ งานทำบุญเนื่องในวันสำคัญทางพุทธศาสนา ฯลฯ และเฉดสีของเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มจากผ้าทอมือที่ชื่นชอบ ที่จะสวมใส่เสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มจากผ้าทอมือไปร่วมงานมงคล มากที่สุด 3 อันดับแรก คือ กลุ่มสีสว่างสีฟ้า กลุ่มสีผสมคละสีลักษณะทูโทน และกลุ่มสีสว่างสีลวดลาย คิดเป็นร้อยละ 38.29 ร้อยละ 21.14 และร้อยละ 17.71 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

กลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคเพศหญิง หากมีโอกาสหรือจำเป็นที่ต้องสวมใส่เสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มจากผ้าทอมือ เพื่อไปร่วมงานมงคล จะเลือกใส่กลุ่มชุดเสื้อผ้าที่ชื่นชอบมากที่สุด ได้แก่ ตัวอย่างชุดเสื้อผ้าที่ 2 ที่มีลักษณะเป็นชุดเดรสกระโปรงยาว รองลงมา คือ ตัวอย่างชุดเสื้อผ้าที่ 1 ที่มีลักษณะเป็นชุดเสื้อและกระโปรง และตัวอย่างชุดเสื้อผ้าที่ 3 ที่มีลักษณะเป็นชุดเดรสกระโปรงสั้น คิดเป็นร้อยละ 38.62 ร้อยละ 30.69 และร้อยละ 30.16 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคเพศชาย หากมีโอกาสหรือจำเป็นที่ต้องสวมใส่เสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มจากผ้าทอมือ เพื่อไปร่วมงานมงคล จะเลือกใส่กลุ่มชุดเสื้อผ้าที่ชื่นชอบมากที่สุด ได้แก่ ตัวอย่างชุดเสื้อผ้าที่ 4 ที่มีลักษณะเป็นชุดสูทบ้างหรือชุดสมัยใหม่ที่ตัดเย็บด้วยผ้าคราม หรือเป็นชุดสีเข้ม รองลงมา คือ ตัวอย่างชุดเสื้อผ้าที่ 6 ที่มีลักษณะเป็นเสื้อเชิ้ตชาย ผ้าลายสก็อตและตัวอย่างชุดเสื้อผ้าที่ 5 ที่มีลักษณะเป็นเสื้อซาฟารี คิดเป็นร้อยละ 47.71 ร้อยละ 26.61 และร้อยละ 22.94 ตามลำดับ ดังภาพที่ 2

สำหรับความต้องการซื้อเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มจากผ้าทอมือ กลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคมีความคิดเห็นต่อกลุ่มเสื้อผ้าที่ตนเอง

น่าจะมีโอกาสซื้อมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ชุดเดรส ชุดลำลองทั่วๆไป และชุดสูทพร้อมกางเกง ความคิดเห็นด้านราคาขายที่เหมาะสมของเครื่องนุ่งห่มจากผ้าทอมือ ในมุมมองของผู้บริโภค พบว่า ในมุมมองผู้บริโภค คิดเห็นว่า ราคาขายที่เหมาะสมของชุดเด็ก อยู่ในช่วง 50 บาท ถึง 1,000 บาท ราคาโดยเฉลี่ยต่อชุด 258.68 บาท ราคาขายที่เหมาะสมของชุดสูทพร้อมกระโปรง อยู่ในช่วง 400 บาท ถึง 3,500 บาท ราคาโดยเฉลี่ยต่อชุด 1,110.38 บาท ราคาขายที่เหมาะสมของชุดสูทพร้อมกางเกง อยู่ในช่วง 500 บาท ถึง 4,000 บาท ราคาโดยเฉลี่ยต่อชุด 1,193.28 บาท ราคาขายที่เหมาะสมของชุดเดรส อยู่ในช่วง 300 บาท ถึง 4,999 บาท ราคาโดยเฉลี่ยต่อชุด 787.89 บาท ราคาขายที่เหมาะสมของชุดลำลองทั่ว ๆ ไป อยู่ในช่วง 99 บาท ถึง 2,000 บาท ราคาโดยเฉลี่ยต่อชุด 375.63 บาท

กลุ่มตัวอย่างผู้บริโภค ได้ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือและการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือสามารถจัดเป็นประเด็น ๆ ได้ดังนี้ ชุดควรมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ลวดลายใหม่ๆ เหมาะสมกับทุกเพศทุกวัย ลักษณะที่ทันสมัยใส่ได้ทุกโอกาส ควรมีผลิตภัณฑ์ที่ราคาไม่แพง เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถเข้าถึงได้หรือซื้อได้ง่าย และควรพัฒนาให้เกิดผลิตภัณฑ์หลากหลายที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ผ้าถุงลวดลายใหม่ หรือผ้าหุ้มเบาะรถ เป็นต้น

สรุป

ผู้วิจัยดำเนินการลงพื้นที่เพื่อศึกษาการดำเนินงานของกลุ่มทอผ้า โดยการสนทนากลุ่ม (Focus Group) เพื่อศึกษาการรวมกลุ่มทอผ้า ผลการดำเนินงานผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือและปัญหาของกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อยในอดีต พบว่า สมาชิกกลุ่มมีความต้องการที่จะศึกษาพัฒนาลายผ้า การผลิตสินค้าให้ตรงตามความต้องการลูกค้า เพื่อให้สามารถจำหน่ายได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังต้องการเพิ่มช่องทางการจำหน่ายสินค้าให้หลากหลาย และทันสมัย จึงมีความสนใจที่จะจำหน่ายสินค้าผ่านช่องทางออนไลน์ด้วย ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีส่วนประสมทางการตลาด 4Ps เพราะสมาชิกกลุ่มมีความต้องการผลิตสินค้าให้ตรงตามความต้องการซื้อของลูกค้า ดังนั้นการสอบถามความคิดเห็นของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ จึงเป็นที่สนใจของกลุ่มทอผ้า

ผลการสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อแฟชั่นผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ บ้านดงอีด่อย พบว่า ส่วนใหญ่ผู้บริโภคมีประสบการณ์ด้านการใช้ผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ เคยซื้อผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ และส่วนใหญ่มีเหตุผลในการซื้อ คือ ซื้อใช้เอง รองลงมา คือ ซื้อเป็นของฝากหรือของขวัญสำหรับบุคคลอื่น และ ซื้อให้คนในครอบครัว ตามลำดับ นั้นสอดคล้องกับแนวคิดส่วนประสมทางการตลาดด้านผลิตภัณฑ์ (Product) โดยตรง เพราะผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือนี้มีอรรถประโยชน์ มีคุณค่าในสายตาของลูกค้า ไม่ว่าจะซื้อใช้เอง หรือให้คนในครอบครัวใช้ ตลอดจนเป็นของฝากสำหรับบุคคลอื่น ๆ นั้นแสดงว่า ผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ มีคุณค่า มีราคา จึงใช้เป็นของฝากสำหรับบุคคลอื่น ๆ ได้ ซึ่งสอดคล้องความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อคุณสมบัติทั้ง 6 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ เฉพาะ “เครื่องนุ่งห่ม” ที่ทำให้ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อในอนาคต ในประเด็นคุณค่าของธรรมชาติหรืองานหัตถกรรม มีเอกลักษณ์และศิลปวัฒนธรรมของท้องถิ่น วัสดุและกรรมวิธีการผลิตของท้องถิ่น ใช้สอยดี เหมาะสมกับวัสดุท้องถิ่นความสวยงามและความน่าสนใจ รูปแบบแปลกใหม่ สะดุดตา มีคะแนนความสำคัญโดยเฉลี่ยค่อนข้างมากและอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ทั้ง 6 คุณสมบัติ สอดคล้องกับการศึกษาของสุภัทรา ปานสุวรรณจิตร และคณะ [6] พบว่า พฤติกรรมในการเลือกซื้อนิยมซื้อเสื้อ มักซื้อเพื่อใช้เองในโอกาสวันสำคัญต่าง ๆ และให้ความสำคัญในด้านผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบสวยงาม ด้านราคาเหมาะสมกับคุณภาพ หากกลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อยได้นำกลยุทธ์ทางการตลาดมาใช้ ดังผลการศึกษาของธัญญธร ศรีวิเชียร [7] ย่อมจะส่งเสริมให้ผู้บริโภคมีการใช้ผ้าทอมือมากขึ้น เพื่อส่งเสริมการขาย ไม่ว่าจะเป็นการสร้างโปรโมชั่น หรือให้สิทธิส่วนลด และผลการศึกษาด้านการจัดจำหน่ายของ มณีรัตน์ รัตนพันธ์ [8] ที่เสนอแนะให้ลูกค้าที่เป็นองค์กร เช่น หน่วยงาน บริษัท โรงเรียน หรือหน่วยงานจากภาครัฐ เป็นต้น สามารถสั่งทอผ้าเป็นลวดลายพิเศษได้ ทั้งนี้กลุ่มทอผ้าบ้านดงอีด่อย ควรใช้กลยุทธ์ทางการตลาดที่ตรงกับกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย เช่น อาจให้ส่วนลดกับผู้ปฏิบัติงานในส่วนราชการเป็นต้น และเป็นการตอบสนองต่อความคิดเห็นของกลุ่มผู้บริโภคที่คิดเห็นว่า ควรมีผลิตภัณฑ์ที่ราคาไม่แพง เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถเข้าถึงได้หรือซื้อได้ง่ายด้วย สำหรับผลิตภัณฑ์ควรสร้างให้สามารถสวมใส่ได้หลากหลายโอกาสด้วย

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร กลุ่มทอผ้าและผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือบ้านดงอีด่อย อ.คำตากล้า จ.สกลนคร กลุ่มผู้บริโภคที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่สำคัญ ขอขอบคุณ ผศ.ศิริลักษณ์ เจิมจิตต์พรชัย มหาวิทยาลัยมหาสารคามและผู้เชี่ยวชาญผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่านที่ให้คำแนะนำตลอดการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร. (2562). **สรุปผลการลงพื้นที่บ้านดงอีด่อย ตำบลแพด อำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร 47250**. สกลนคร: โครงการน้อมนำศาสตร์พระราชา.

[2] สุชาดา กีระนันทน์. (2538). **ทฤษฎีและวิธีการสำรวจตัวอย่าง**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] ศิริวรรณ เสรีรัตน์, ศุภร เสรีรัตน์, ปณิศา มีจินดา, อรทัย เลิศวรรณวิทย์, ปริญ ลักษิตานนท์, องอาจ ปทะวานิช และคณะ. (2552). **การบริหารการตลาดยุคใหม่**. กรุงเทพฯ: ไดมอน อิน บิสสิเน็ต เวิร์ล.

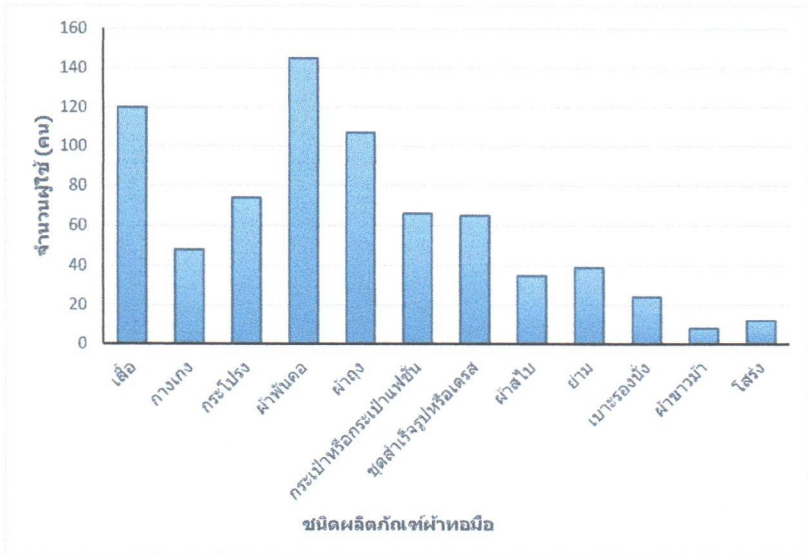
[4] Kotler, P. and Keller, K. L. (2012). **Marketing Management**. 14th. New Jersey: Prentice Hall.

[5] กิตติพงษ์ เกียรติวิภาค (2559). การศึกษาและพัฒนาการนำผ้าฝ้ายทอมือ มาประยุกต์ใช้ในการสร้างสรรค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษา: กลุ่มหมู่บ้านผ้าฝ้ายทอมือบ้านดอนหลวง อำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน. **วารสารศิลปกรรมสาร**, 11(1), 13 – 52.

[6] สุภัทรา ปานสุวรรณจิตร์ รัฐนันท์ พงศ์วิริทธิ์ธร ธีราวิชย์ ทองนิล และกฤติยา วงศ์เทววิมาน. (2560). พฤติกรรมการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายทอมือเพื่อการพัฒนาส่วนประสมทางการตลาดตามความต้องการของผู้ซื้อ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. **วารสารบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ ราชมงคลล้านนา**, 5(1), 43-51.

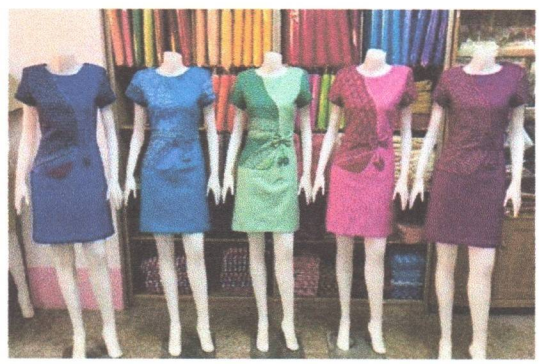
[7] ธัญญธร ศรีวิเชียร. (2561). กลยุทธ์การตลาดบริการสำหรับธุรกิจร้านผ้าพื้นเมืองในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. **วารสารวิชาการแพรวากาฬสินธุ์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์**, 5(1), 60-74.

[8] มณีรัตน์ รัตนพันธ์. (2562). แนวทางการพัฒนาการตลาดผลิตภัณฑ์ผ้าทอ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผ้าทอร่มไทร. ใน **การประชุมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 11** . วันที่ 17 กรกฎาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยหาดใหญ่.

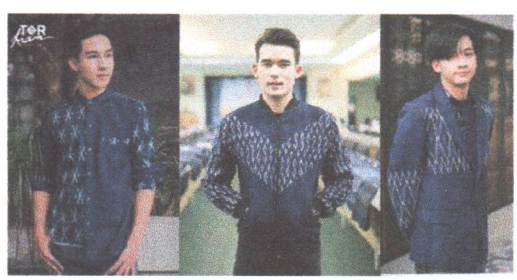


ภาพที่ 1 ชนิดผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือที่ผู้บริโภคเคยใช้

ก1) ตัวอย่างชุดสำหรับผู้หญิง อันดับ 1*



ก2) ตัวอย่างชุดสำหรับผู้หญิง อันดับ 2***

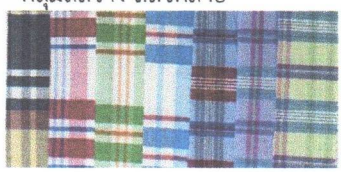
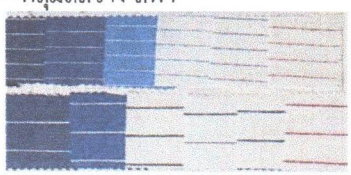
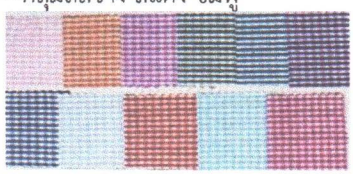
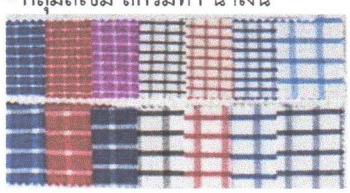


ข1) ตัวอย่างชุดสำหรับผู้ชาย อันดับ 1**

ข2) ตัวอย่างชุดสำหรับผู้ชาย อันดับ 2***

ภาพที่ 2 กลุ่มชุดเสื้อผ้าที่ชื่นชอบใส่ไปงานมงคลมากสุด 2 อันดับแรก ก) ชุดสำหรับผู้หญิง ข) ชุดสำหรับผู้ชาย
ที่มา *http://m.1688.com/offer/601137974655.html
** เพจ TorKram หยิบผ้าครามมาทำเท่
*** เพจอันดาผ้าไทย ชุดทำงาน
****http://www.naubon.com

ตารางที่ 1 เฉดสีของเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มจากผ้าทอมือที่กลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคชื่นชอบ เพื่อใส่ร่วมงานมงคลต่าง ๆ

รายการเฉดสีของเสื้อผ้าที่ชื่นชอบ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
- กลุ่มสีสว่าง สีลวดลาย* 	31	17.71
- กลุ่มสีสว่าง สีฟ้า* 	67	38.29
- กลุ่มสีสว่าง สีแดง ชมพู* 	11	6.29
- กลุ่มสีเข้ม สีกรมท่า น้ำเงิน* 	25	14.29
- กลุ่มสีผสม คละสีลักษณะทูโทน*	37	21.14
- กลุ่มสีอื่นๆ (เช่น สีคราม)	4	2.29

* ที่มา https://m.1688.com/offer/644357884436.html

0,2

Sci2.3-6

การยกระดับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

Safety Improvement in Environmental Science Laboratory of Sakon Nakhon Rajabhat University

อมรรัตน์ แท่งทอง[1]*, ณัฐพร จิระวัฒนาสมกุล[2] และธัญวรัตน์ ศรีสวัสดิ์[3],

A-monrat Thangthong[1]*, Nathaporn Jirawatanasomkul[2], and Thanwarat Srisawat[3]

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร; t.amonrat@snru.ac.th

[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร; Nathaporn.j@snru.ac.th

[3]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร; thanwarat.sr62@snru.ac.th

*Corresponding author, E-mail: t.amonrat@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการเป็นสิ่งสำคัญและมีผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต ชุมชน และสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่ต้องทำงานในห้องปฏิบัติการ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจและประเมินสภาพความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร และดำเนินการยกระดับความปลอดภัยตามแนวทางคู่มือการประเมินความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องมือแบบสำรวจ ESPReL Checklist ในการสำรวจติดตามการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ จากการศึกษาพบว่า ก่อนการดำเนินการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการผลคะแนนรวมจากการประเมินความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการ คิดเป็นร้อยละ 55.5 และทำการวิเคราะห์ช่องว่างความปลอดภัย และดำเนินการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ 7 ด้าน ประกอบด้วย การบริหารระบบจัดการความปลอดภัย ระบบการจัดการสารเคมี ระบบการจัดการของเสีย ลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการ ระบบการป้องกันและและไขภัยอันตราย การให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับด้านความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ และการจัดการข้อมูลและเอกสาร จากการยกระดับความปลอดภัย พบว่าผลคะแนนรวมจากการประเมินความปลอดภัยห้องปฏิบัติการมีคะแนนเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 81.1 โดยพบว่าระดับคะแนนตามองค์ประกอบเพิ่มขึ้นสูงสุด 3 ลำดับแรกคือ ระบบการจัดการสารเคมี ระบบการจัดการของเสีย และการให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความปลอดภัย โดยมีคะแนนคิดเป็นร้อยละ 96.2, 85.5 และ 77.8 ตามลำดับ จากผลการศึกษาวิจัยนี้พบว่าสามารถยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการได้ดีขึ้น และเป็นแนวทางเพื่อพัฒนาห้องปฏิบัติการของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอื่น ๆ ต่อไป

คำสำคัญ: ห้องปฏิบัติการวิทยาสิ่งแวดล้อม, ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ, ESPReL Checklist

Abstract

Improving laboratory safety is critical and has an impact on quality of life, community and environment, especially those who have to work in the laboratory. This research aims to survey and evaluate safety status in environmental science laboratories of Sakon Nakhon Rajabhat University and carry out to enhance the safety level in accordance with the laboratory safety assessment guidelines by using the ESPReL Checklist as a survey tool to monitor laboratory safety enhancements. The study

found that the initial laboratory safety level, the total score from the laboratory safety assessment accounted for 55.5%. The GAP Analysis was then performed followed by preparing a plan to raise the level of laboratory safety in 7 areas, including: safety management systems, chemical management system, waste management system, physical characteristics of the laboratory, danger prevention and correction system, basic knowledge of laboratory safety and data document management. It was found that the overall score from the laboratory safety assessment was increased to 81.1% and the highest increase in scores according to components were the chemical management system, waste management system and basic knowledge about safety with the scores representing 96.2, 85.5 and 77.8 percent, respectively. Based on the results of this study, it was found that laboratory safety could be improved and used as a guideline to further develop the laboratory in other areas of the faculty of science and technology.

Keywords: Environmental Science Laboratory, Laboratory Safety, ESPReL Checklist

1. บทนำ

ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ถือว่าเป็นแหล่งเรียนรู้และฝึกปฏิบัติงานในสถานศึกษา เช่น โรงเรียน และมหาวิทยาลัย การปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการนั้นมีความอันตรายและความเสี่ยงสูง เช่น อันตรายที่เกิดจากสารเคมี เชื้อโรค หรือเกิดจากโครงสร้างพื้นฐานที่มีการออกแบบและการจัดการด้านความปลอดภัยที่ไม่ถูกต้องเหมาะสม ซึ่งอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุในห้องปฏิบัติการ ทำให้สูญเสียงบประมาณ และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการและผู้ที่เกี่ยวข้องได้ [1] จึงควรให้ความสำคัญต่อการหามาตรการในการบริหารจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการโดยเฉพาะในสถาบันการศึกษาอย่างเร่งด่วน ซึ่งในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการออกกฎระเบียบและมาตรการกำกับดูแลความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการเพื่อป้องกันเหตุอันตรายที่อาจเกิดขึ้นและได้ถือปฏิบัติจนเป็นวัฒนธรรมในการทำงาน เช่น การประกาศใช้ Occupational Health Guidelines for chemical Hazards (OSHA) [2]

ส่วนประเทศไทยในปัจจุบันนั้นถึงแม้จะมีหน่วยงานหลายหน่วยงานรับผิดชอบดูแลเกี่ยวกับความปลอดภัย รวมทั้งมีกฎหมาย กฎกระทรวง ประกาศ ข้อบังคับ หรือข้อกำหนดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการแต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีผลบังคับใช้โดยตรงกับห้องปฏิบัติการวิจัย ทดสอบ และจัดการเรียนการสอนในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ จึงทำให้การดำเนินการด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการในสถาบันอุดมศึกษายังไม่มีรูปแบบและกลไกที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน [3] ซึ่งทางสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ได้ผลักดันให้มีโครงการยกระดับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย Enhancement of Safety Practice of Research Laboratory in Thailand (ESPReL) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและเสนอแนวปฏิบัติในการยกระดับมาตรฐานคุณภาพความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย โดยมีเครื่องมือในการสำรวจประเมินสถานภาพความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการ (ESPReL Checklist) [4] เพื่อเป็นแนวทางในการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการในประเทศไทย

ดังนั้นจากเหตุผลดังกล่าวห้องปฏิบัติการสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการสำหรับการจัดการเรียนการสอนและการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มีลักษณะการใช้งานที่มีความหลากหลาย เช่น ด้านการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และปฏิบัติการทางจุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม โดยห้องปฏิบัติการยังไม่มีมาตรการในการป้องกัน และบริหารจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการที่เป็นรูปธรรม จึงสนใจที่จะยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการโดยนำแนวปฏิบัติในการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการในการประเมินสถานภาพ

ของห้องปฏิบัติการเพื่อเป็นแนวทางในการยกระดับตามองค์ประกอบทั้ง 7 ด้านต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสำรวจและประเมินสถานภาพความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

2. เพื่อจัดทำแผนและยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการ ตามแนวทางโครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรต้น คือ การยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ตัวแปรตาม คือ ผลการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. แบบสำรวจ ESPReL Checklist

2. แบบการวิเคราะห์ช่องว่างความปลอดภัย (Gap Analysis)

3.3 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

สถิติที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัย การการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย เป็นการศึกษาวิจัยเชิงสำรวจและพัฒนา โดยมีศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่นเป็นแม่ข่ายด้านมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

1. การสำรวจสถานภาพความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการโดยใช้แบบสำรวจ ESPReL Checklist ตามองค์ประกอบทั้ง 7 ด้านดังนี้ (1) การบริหารจัดการระบบด้านความปลอดภัย, (2) ระบบการจัดการสารเคมี, (3) ระบบการจัดการของเสีย, (4) ลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์เครื่องมือ, (5) ระบบป้องกันและแก้ไขภัยอันตราย, (6) การให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับด้านความปลอดภัยและ, (7) การจัดระบบเอกสารเพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาจุดแข็ง-จุดอ่อนในการจัดการห้องปฏิบัติการ

2. การจัดทำแผนยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ โดยนำผลคะแนนที่ได้จากการประเมิน ESPReL Checklist [5] มาทำการวิเคราะห์ช่องว่างความปลอดภัย (Gap Analysis) เพื่อจัดลำดับความสำคัญและความเป็นไปได้ร่วมกัน (set priority) โดยคำนึงถึงความสำคัญและความเป็นไปได้ [6]

3. ดำเนินการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการตามแผนการยกระดับความปลอดภัย โดยกิจกรรมที่สามารถทำได้ในระยะเวลา 6 เดือน

4. สำรวจผลการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการหลังดำเนินการยกระดับความปลอดภัย เพื่อสรุปผลการยกระดับ และพิจารณาหาแนวทางในการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้นต่อไป

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ผลการศึกษาวิจัยสามารถรายงานและอภิปรายผลได้โดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ตามขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

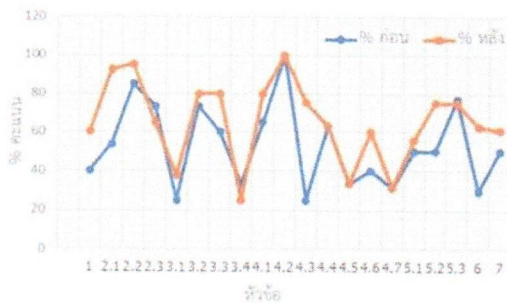
4.1 ผลการสำรวจสถานภาพความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการก่อนดำเนินการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการโดยใช้แบบสำรวจ ESPReL Checklist ตามองค์ประกอบทั้ง 7 ด้านโดยคำนวณคะแนนที่ได้เทียบกับคะแนนรวมในแต่ละด้าน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินห้องปฏิบัติการก่อนและหลังตามองค์ประกอบโดยใช้ ESPReL Checklist

หัวข้อ	ร้อยละคะแนนที่ได้	
	ก่อน	หลัง
1. การบริหารระบบการจัดการด้านความปลอดภัย	40.0	66.7
2.1 การจัดการข้อมูลสารเคมี	53.7	97.6
2.1 การจัดการข้อมูลสารเคมี	53.7	97.6
2.2 การจัดเก็บสารเคมี	85.2	100.0
2.3 การเคลื่อนย้ายสารเคมี	73.3	82.4
3.1 การจัดการข้อมูลของเสีย	25.0	75.0
3.2 การเก็บของเสีย	73.3	100.0
3.3 การลดการเกิดของเสีย	60.0	80.0
3.4 การบำบัดและกำจัดของเสีย	33.3	33.3
4.1 งานสถาปัตยกรรม	65.0	80.0
4.2 งานสถาปัตยกรรมภายใน	100.0	100.0
4.3 งานวิศวกรรมโครงสร้าง	25.0	75.0
4.4 งานวิศวกรรมไฟฟ้า	63.2	63.2
4.5 งานวิศวกรรมสุขาภิบาลและสิ่งแวดล้อม	33.3	33.3
4.6 งานวิศวกรรมระบบระบายอากาศและปรับอากาศ	40.0	100.0
4.7 งานระบบฉุกเฉินและระบบติดต่อสื่อสาร	40.3	68.8
5.1 การบริหารความเสี่ยง	31.3	70.0
5.2 การเตรียมความพร้อม/ตอบโต้ภาวะฉุกเฉิน	40.5	75.0
5.3 ข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยโดยทั่วไป	77.1	89.6
6. การให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ	29.6	77.8
7. การจัดการข้อมูลและเอกสาร	50.0	71.4
รวม	**55.5**	**81.1**

4.2 จากผลคะแนนที่ได้ตามองค์ประกอบนำมาคำนวณช่องว่างความปลอดภัย สามารถจัดลำดับความสำคัญได้ 4 ลำดับ แสดงดังตารางที่ 2 คือ First priority องค์ประกอบที่มีช่วงคะแนนร้อยละ 0-49 ซึ่งมีความสำคัญเร่งด่วนและมีความเป็นไปได้ที่จะดำเนินการภายในระยะเวลา 6 เดือน ได้แก่ การจัดการข้อมูลของเสีย การบำบัดและกำจัดของเสีย การให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับด้านความปลอดภัยใน ประเมินความเสี่ยงในด้านต่างๆ จากผู้เชี่ยวชาญ Fourth priority องค์ประกอบที่ไม่เร่งด่วนและต้องใช้เวลามากกว่า 6 เดือน ลักษณะทางกายภาพห้องปฏิบัติการ ได้แก่ งานสถาปัตยกรรม งานวิศวกรรมโครงสร้าง งานวิศวกรรมไฟฟ้า งานวิศวกรรมสุขาภิบาลและสิ่งแวดล้อม งานวิศวกรรมระบบระบายอากาศและปรับอากาศ งานระบบฉุกเฉินและระบบติดต่อสื่อสาร ซึ่งห้องปฏิบัติการไม่สามารถดำเนินการในส่วนนี้ได้เนื่องจากต้องตั้งงบประมาณในการปรับปรุงห้องปฏิบัติการจากมหาวิทยาลัย การจัดลำดับความสำคัญและความเป็นไปได้ในการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการแสดงดังตารางที่ 2 และดำเนินการยกระดับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการในส่วน first และ second priority [7] ซึ่งสามารถดำเนินการได้ภายใน 6 เดือนโดยมีกระบวนการและผลลัพธ์ที่เปนรูปธรรมแสดงดังตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

4.3 ผลการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการหลังดำเนินการยกระดับความปลอดภัย แสดงดังตารางที่ 1 และผลการเปรียบเทียบก่อน-หลังการดำเนินการแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เปรียบเทียบผลคะแนนการสำรวจโดยใช้ ESPReL Checklist ก่อน-หลังการยกระดับห้องปฏิบัติการตามองค์ประกอบ

ตารางที่ 2 การจัดลำดับความสำคัญและความเป็นไปได้ในการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ (set priority)

	สำคัญ/ด่วน/มีผลกระทบสูง	สำคัญ/ยังไม่ด่วน/มีผลกระทบต่ำ
6 เดือน	First priority (ช่วงคะแนนร้อยละ 0-49) 3.1 การจัดการข้อมูลของเสีย 3.4 การบำบัดและกำจัดของเสีย 6. การให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ	Second priority 1. การบริหารระบบการจัดการด้านความปลอดภัย 2.1 การจัดการข้อมูลสารเคมี 2.2 การจัดเก็บสารเคมี 2.3 การเคลื่อนย้ายสารเคมี 3.2 การเก็บของเสีย 3.3 การลดการเกิดของเสีย 5.3 ปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยโดยทั่วไป 7. การจัดการข้อมูลและเอกสาร
มากกว่า 6 เดือน	Third priority 5.1 การบริหารความเสี่ยง 5.2 การเตรียมความพร้อม/ตอบโต้ภาวะฉุกเฉิน	Fourth priority ลักษณะทางกายภาพห้องปฏิบัติการ

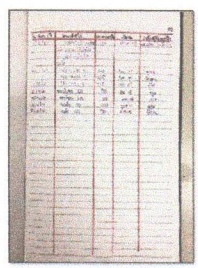
ตารางที่ 3 แผนและผลการดำเนินการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ First Priority

องค์ประกอบ	ปัญหา/ความไม่สอดคล้อง	กระบวนการ/กิจกรรม	ผลลัพธ์/ผลผลิต
3.1 การจัดการข้อมูลของเสีย	ยังไม่มีการบันทึกข้อมูลของเสียในรูปแบบเอกสารและอิเล็กทรอนิกส์	จัดทำสมุดบันทึกของเสียที่มีโครงสร้าง ผู้รับผิดชอบ ชนิดสารเคมี ปริมาณของเสีย วันที่บันทึกข้อมูล แสดงดังภาพที่ 2	มีสมุดบันทึกของเสียที่มีรายละเอียดโครงสร้างตามข้อกำหนด
3.4 การบำบัดและกำจัดของเสีย	มีการทิ้งของเสียกรด-เบสโดยไม่ได้ทำการสะเทินก่อนทิ้งลงท่องระบายน้ำ	ให้ความรู้แก่ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ เรื่องการบำบัดของเสียก่อนส่งกำจัด	มีการสะเทินกรด-เบสก่อนทิ้งลงท่อระลายน้ำ
6. การให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ	นักศึกไม่ได้รับการอบรมเรื่องความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ	จัดอบรม เรื่องความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการให้กับนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ชั้นปีที่ 3 และ 4 แสดงดังภาพที่ 2	นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจเรื่อง ความปลอดภัยฯ มากขึ้นและพฤติกรรมในการทำผิดกฎระเบียบห้องปฏิบัติการลดลงผลดังตารางที่ 5 สังเกตโดยใช้กล้องวงจรปิด

ตารางที่ 4 แผนและผลการดำเนินการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ Second Priority

องค์ประกอบ	ปัญหา/ความไม่สอดคล้อง	กระบวนการ/กิจกรรม	ผลลัพธ์/ผลผลิต
1. การบริหารระบบการจัดการด้านความปลอดภัย	ไม่มีนโยบาย แผนงาน โครงสร้างการบริหาร ระดับคณะและมหาวิทยาลัย	ดำเนินการผลักดันให้มีโครงสร้างการบริหารระดับคณะและมหาวิทยาลัย	มีโครงสร้างการบริหารระดับคณะและมหาวิทยาลัย
2.1 การจัดการข้อมูลสารเคมี	ไม่มีระบบบันทึกสารเคมีในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์	จัดทำ chemical list โดยใช้โปรแกรม google sheet โดยมีโครงสร้าง ประกอบด้วย รหัสภาชนะบรรจุ ชื่อสารเคมี CAS no. ขนาดบรรจุ ที่จัดเก็บ วันที่รับเข้า ผู้จำหน่าย	มีระบบบันทึกข้อมูลสารเคมีในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์
2.2 การจัดเก็บสารเคมี	1. ไม่มีการจัดเก็บสารเคมีตามสมบัติการเข้ากันไม่ได้ของสารเคมี 2. หน้าตู้จัดเก็บสารเคมีไม่มีการระบุสัญลักษณ์ตามความอันตราย 3. ไม่มี SDS ของสารเคมีอันตรายในรูปแบบเอกสารและอิเล็กทรอนิกส์	1. แยกประเภทสารเคมีอ้างอิงตามระบบ GHS และมีการจำแนกประเภทตามความอันตรายและการเข้ากันไม่ได้ 2. ติดป้ายสัญลักษณ์ความเป็นอันตรายหน้าตู้สารเคมี 3. จัดทำแฟ้มและไฟล์ข้อมูลเอกสาร SDS ของสารเคมีอันตราย	1. สารเคมีได้รับการจัดเก็บตามข้อกำหนด 2. มีป้ายบอกบริเวณ เก็บสารเคมีอันตราย 3. มีแฟ้มและไฟล์ข้อมูล SDS ของสารเคมีอันตราย
2.3 การเคลื่อนย้ายสารเคมี	ภาชนะในการเคลื่อนย้ายไม่เหมาะสมในการเคลื่อนย้ายของเหลวไวไฟ	จัดหาภาชนะที่มีความแน่นหนา เช่น ถังเหล็กแทนการใช้ถังพลาสติก	มีภาชนะที่เหมาะสมในการเคลื่อนย้ายสารเคมี
3.2 การเก็บของเสีย	1. ไม่มีเกณฑ์และการแยกของเสียที่เหมาะสมสำหรับห้องปฏิบัติการ 2. ไม่มีการติดฉลากภาชนะบรรจุของเสีย 3. ไม่มีพื้นที่บริเวณจัดเก็บของเสียที่แน่นอน 4. ไม่มีถาดรองรับภาชนะของเสีย	1. จัดทำเกณฑ์ในการจำแนกของเสียของห้องปฏิบัติการและแยกของเสียตามเกณฑ์ที่กำหนด 2. ติดฉลากภาชนะบรรจุของเสีย 3. กำหนดบริเวณในการเก็บของเสียที่แน่นอน 4. จัดหาถาดรองรับภาชนะบรรจุของเสียแสดงดังภาพที่ 3	1. มีเกณฑ์ในการจำแนกของเสียของห้องปฏิบัติการ 2. มีฉลากติดภาชนะบรรจุของเสียแต่ละประเภท 3. มีบริเวณสำหรับวางของเสียที่แน่นอน 4. มีถาดรองรับของเสียกรณีเกิดเหตุรั่วไหล
3.3 การลดการเกิดของเสีย	ไม่มีมาตรการในการลดการเกิดของเสีย	ออกมาตรการในการลดการเกิดของเสีย	สามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากห้องปฏิบัติการได้

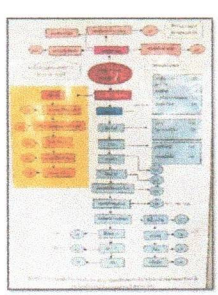
องค์ประกอบ	ปัญหา/ความไม่สอดคล้อง	กระบวนการ/กิจกรรม	ผลลัพธ์/ผลผลิต
5.3 ปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยโดยทั่วไป	1. ขาดอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล 2. ไม่มีกฎระเบียบของห้องปฏิบัติการ	1. จัดหาอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล เช่น แว่นตานิรภัยไว้บริการสำหรับผู้ปฏิบัติงาน 2. ออกกฎระเบียบปฏิบัติของห้องปฏิบัติการ	1. ผู้ปฏิบัติงานมีอุปกรณ์ในการป้องกันอันตรายที่เหมาะสม 2. มีข้อกำหนดกฎระเบียบสำหรับห้องปฏิบัติการ
7. การจัดการข้อมูลและเอกสาร	ไม่มีเอกสารและการบักทึกเอกสารข้อมูลสำคัญต่าง ๆ	จัดหาแฟ้มสำหรับเก็บรวบรวมเอกสาร เช่น SDS รายงานการเกิดอุบัติเหตุ คู่มือการใช้เครื่องมือ แสดงดังภาพที่ 3	มีบริเวณสำหรับจัดเก็บเอกสารที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถเข้าถึงได้ง่าย



(องค์ 3.1)ระบบการบันทึกข้อมูลของเสีย

(องค์ 6) การให้ความรู้พื้นฐานความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ

ภาพที่ 2 ตัวอย่างผลการดำเนินการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ First Priority



(องค์ 3.2) เกณฑ์การจำแนกของเสียและการแยกประเภทตามความเข้ากันไม่ได้

(องค์ 7) การจัดการข้อมูลและเอกสาร

ภาพที่ 3 ตัวอย่างผลการดำเนินการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ Second Priority

ตารางที่ 5 ความถี่การกระทำผิดกฎระเบียบห้องปฏิบัติการ (ก่อน-หลัง) การอบรมให้ความรู้

ลักษณะพฤติกรรม	จำนวนที่ทำผิดกฎระเบียบ (ครั้ง)	
	ก่อน	หลัง
1. ไม่เก็บสารเคมีเข้าที่หลังการใช้งาน	5	0
2. ไม่ทำความสะอาดเครื่องชั่งหลังใช้งาน	1	0
3. ไม่ลง log book ของเสีย	1	0
4. ไม่เก็บอุปกรณ์ เครื่องแก้วหลังใช้งาน	2	0
5. นำอาหามารับประทานในห้องปฏิบัติการ	0	0
6. สวมเสื้อกราวด์ออกนอกห้องปฏิบัติการ	31	1
7.แต่งกายไม่เหมาะสมในขณะทำปฏิบัติการ	50	4

ลักษณะพฤติกรรม	จำนวนที่ทำผิดกฎระเบียบ (ครั้ง)	
	ก่อน	หลัง
8. ไม่ใช้ตู้ดูดควันในการเตรียมสารที่สามารถระเหยได้	0	0
9. ไม่ติดฉลากสารเคมีที่เตรียมขึ้นเอง	0	0
10. ไม่ถอดปลั๊กอุปกรณ์หลังการใช้งาน	3	0
รวม	**93**	**5**

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งต่อไปผู้วิจัยจะยกระดับองค์ประกอบที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการโดยนำผลการดำเนินงานในครั้งนี้รายงานต่อผู้บริหารเพื่อผลักดันในการของบประมาณเพื่อปรับปรุงห้องปฏิบัติการให้ได้มาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการต่อไป

5. สรุปผลการศึกษา

การสำรวจและประเมินของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทั้ง 7 องค์ประกอบ โดยใช้ ESPReL checklist พบว่าห้องปฏิบัติการมีการยกระดับความปลอดภัยมากขึ้น โดยพบว่าผลคะแนนตามองค์ประกอบสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ด้านระบบการจัดการสารเคมี ด้านระบบการจัดการของเสีย และการอบรมให้ความรู้ด้านความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ มีคะแนนเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 96.2 85.5 และ 77.8 ตามลำดับ และจากการสังเกตพฤติกรรมนักศึกษาที่เข้ามาใช้งานห้องปฏิบัติการโดยใช้กล้องวงจรปิด พบว่าการกระทำผิดกฎระเบียบห้องปฏิบัติการลด คิดเป็นร้อยละ 95 ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยแม่ข่ายด้านมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้คำแนะนำในการดำเนินการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการและห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ปวีณา เครือนิล, ดวงกมล เชาว์ศรีหมุด และเบญจพร บริสุทธิ์. (2556). การพัฒนาระบบการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการโลหะและธาตุปริมาณน้อย. *Bulletin of Applied Sciences,* 2(2), 55-61.

[2] โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย. (2555). *แนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ.* พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

[3] พรเพ็ญ กำนารายณ์. (2558). ผลการสำรวจชี้บ่งอันตรายและวิเคราะห์ความเสี่ยงในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การแพทย์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,* 23(4), 667-681.

[4] ฉัตรชัย วิริยะไกรกุล. (2558). *การพัฒนาตัวอย่างห้องปฏิบัติการวิจัยปลอดภัยในประเทศไทย 2558.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย. (2558). *คู่มือการประเมินความปลอดภัยห้องปฏิบัติการฉบับแก้ไขเพิ่มเติมครั้งที่ 2.* สืบค้นเมื่อ 12 กันยายน 2564, จาก http://esprel.labsafety.nrct.go.th/files/ESPRel-Book2.pdf

[6] ศูนย์บริหารความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน (COSHEM). (2562). *กระบวนการทำแผนยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวกับสารเคมี.* เมื่อวันที่ 15 มกราคม 2562, จากการประชุมโครงการยกระดับมาตรฐานด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ.

[7] กาญจนา สุรีย์พิศาล (2564). การยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการเคมี L-210 มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี ตามมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย. *วารสาร Mahidol R2R e-journal,* 8(1), 49-62.

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากร้านกาแฟ โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

Optimization for treatment of wastewater from Coffee Shop by electrocoagulation process

ทรงพล ประโยชน์มี, ประวิทย์ สุวรรณรงค์, จิตรติพร จันทะนาม, วิภาดา คำด่วน และสุชาดา จันทร์สุข

Songphon Prayochmee, Prawit Suwannarong, Jittiporn Jantanam, Wipada Khamduan and Suchada Jansook

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

songphon@snru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียจากร้านกาแฟด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้อลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด ทดลองด้วยปัจจัย 3 ปัจจัย ได้แก่ พีเอชเริ่มต้น (pH) ระยะเวลา และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ในการบำบัดซีโอดี สารแขวนลอยทั้งหมด และความขุ่น ออกแบบการทดลองด้วยรูปแบบบ็อกซ์ - เบห์นเคน เพื่อใช้ทำนายผลสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดที่ดีที่สุด พบว่า ที่พีเอชเริ่มต้น 5 ระยะเวลา 60 นาที และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 100 แอมป์แปร์ต่อตารางเมตร ผลการทำนายประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี สารแขวนลอยทั้งหมด และความขุ่น ได้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 82.96, 96.24 และ 98.60 ตามลำดับ

คำสำคัญ: รวมตะกอนด้วยไฟฟ้า, บำบัดน้ำเสีย, ร้านกาแฟ

Abstract

This research aimed to examine the optimal operating conditions for treatment of wastewater from coffee shop by electrocoagulation process (EC) which used aluminum metal as electrodes. Experimented with three factors: initial pH, electrolysis time, and current density for removal of chemical oxygen demand (COD), suspended solids (TSS) and Turbidity. Design experiments with the Box Behnken design (BBD) to predict the optimized condition for the maximum reduction efficiency. The results showed that to be initial pH of 5, electrolysis time of 60 minutes, and current density of 100 A/m^3. the predicted removal efficiencies of COD, TSS and Turbidity were found to be 82.96%, 96.24% and 98.60% respectively.

Keywords: electrocoagulation, wastewater treatment, coffee shop

1. บทนำ

ธุรกิจร้านกาแฟในปัจจุบันมีจำนวนมากและมีอัตราการเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2561 ถึง 2562 จำนวนการจัดตั้งร้านกาแฟสดเพิ่มขึ้นจาก 2,376 ราย เป็น 2,531 ราย ซึ่งในปี 2562 ธุรกิจร้านกาแฟมีมูลค่าการตลาดถึง 400,000 ล้านบาท โดยพฤติกรรมการบริโภคกาแฟสดเพิ่มขึ้นร้อยละ 5-6 ต่อปี [1] อย่างไรก็ตามการบริโภคและจำนวนร้านค้าที่เพิ่มมากขึ้นก็ทำให้เกิดน้ำเสียจากร้านกาแฟเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน หากร้านที่ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้มาตรฐานก็จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า(Electrocoagulation) เป็นอีกวิธีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยอาศัยการตกตะกอนจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ไม่มีการใช้สารเคมีหรือใช้ในปริมาณน้อยทำให้ใช้ง่ายได้ง่าย [2] เทคนิคการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยอาศัยการใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) แก่ขั้วไฟฟ้าซึ่งนิยมใช้อะลูมิเนียมหรือเหล็ก ที่ขั้วแอโนดโลหะจะละลายและเปลี่ยนรูปเป็นโลหะไฮดรอกไซด์และที่ขั้วแคโทดจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้น โดยอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ขึ้นจากจากกระบวนการนี้และทำหน้าที่เป็นสารตกตะกอน มีความสามารถในกำจัดค่าความสกปรกในรูปซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอยและอนุภาคคอลลอยด์ขนาดเล็กออกจากน้ำได้ ซึ่งมีงานวิจัยที่ศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ากับน้ำเสียชุมชน [3] [4] หรือใช้ทดลองกับน้ำเสียจากร้านอาหาร [5] อย่างไรก็ตามยังไม่พบงานวิจัยที่ทดลองกับน้ำเสียจากร้านกาแฟโดยเฉพาะ

การวิจัยนี้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหาจากน้ำเสียร้านกาแฟแม้มีปริมาณน้ำเสียไม่มากนัก แต่จำนวนร้านที่มากขึ้นเรื่อย ๆ อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือแหล่งน้ำหากมีการระบายทิ้งโดยตรง ซึ่งคาดว่าผลจากการวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสียจากร้านกาแฟหรือนำผลการศึกษาไปพัฒนาเป็นถังปฏิกรณ์เพื่อใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการตกตะกอนทางไฟฟ้าได้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียจากร้านกาแฟโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียร้านกาแฟด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) โดยดำเนินการในระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory scale) การทดลองจะใช้ขั้วอะลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด เนื่องจากที่ขั้วแอโนดอะลูมิเนียมจะสามารถละลายและเปลี่ยนรูปเป็นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ $Al(OH)_3(s)$ ในสารละลายที่มีพีเอชระหว่าง 3.4-12.4 ซึ่งละลายน้ำได้น้อย อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะทำหน้าที่เหมือนสารรวมตะกอน (Coagulant) ช่วยในการรวมตะกอน ส่วนขั้วแคโทรดจะเกิดปฏิกิริยาได้ก๊าซไฮโดรเจน เป็นฟองอากาศช่วยในการลอยตะกอน [6] โดยกระบวนการดำเนินการวิจัยสามารถอธิบายได้ ดังนี้

3.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

การวิเคราะห์น้ำตัวอย่างก่อนการทดลองมีขั้นตอนดังนี้

1) เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากร้านกาแฟในพื้นที่ตำบลธาตุเชิงชุม อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร โดยลักษณะของน้ำเสียมีสีน้ำตาลดำ และมีกากกาแฟแขวนลอยในน้ำเสียดังภาพที่ 1

2) นำน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนการทดลองโดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ความขุ่น สารแขวนลอย ซีโอดี และพีเอช แสดงดังตารางที่ 1

ภาพที่ 1 ลักษณะของตัวอย่างน้ำเสีย

ลักษณะสมบัติของน้ำเสียมีค่าพีเอชอยู่ที่ 4.43 - 5.41 ค่าซีโอดี 6,770 - 6,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสารแขวนลอยทั้งหมด 2,930 - 3,100 มิลลิกรัมต่อลิตร และ

ค่าความขุ่น 550 - 670 เอ็นทียู อย่างไรก็ตามลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากร้านกาแฟค่อนข้างที่จะมีลักษณะแตกต่างกัน

ตารางที่ 1 ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

พารามิเตอร์	ค่า
pH	4.43 - 5.41
COD (mg/L)	6,770 - 6,800
Total suspended solid (mg/L)	2,930 - 3,100
Turbidity (NTU)	550 - 670

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในห้องปฏิบัติการมีขั้นตอน ดังนี้

1) ออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab Version 15 (trial) ด้วยรูปแบบ Box-Behnken design (BBD) เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยและหาสมการเพื่อใช้ทำนายประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย โดยได้กำหนดปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัยดังนี้ 1) pH เริ่มต้น (5, 7, 9), 2) เวลาในการเกิดปฏิกิริยา (10, 35, 60 นาที) และ 3) ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (50, 100, 150 แอมแปร์/ตารางเมตร) ได้ระดับของปัจจัยที่จะทำการทดลองเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง (+1) แสดงดังตารางที่ 2 มีลำดับการทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง

2) ทดลองด้วยถังปฏิกิริยา (บีกเกอร์) ขนาด 500 ml. โดยใช้ขั้วอลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด จัดวางขั้วแบบ Monopolar โดยให้มีระยะห่างหว่าง 1.5 เซนติเมตรและติดตั้งขั้วไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้าภายนอกคือเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า รุ่น KPS3010D.

3) ดำเนินการทดลองตามปัจจัยต่าง ๆ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการบำบัดทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

4) เก็บน้ำตัวอย่างโดยเก็บเฉพาะส่วนที่ใส แล้วนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ซีโอดี สารแขวนลอยทั้งหมด และความขุ่น

5) คำนวนหาค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย และนำผลไปวิเคราะห์หาค่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

เมื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการทดลองด้วยปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย ในห้องปฏิบัติการทั้งหมด 15 ชุด

ตารางที่ 2 การกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ค่าระดับ		
		-1	0	+1
พีเอชเริ่มต้น	X_1	5	7	9
เวลา (นาที)	X_2	10	35	60
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (A/m^2)	X_3	50	100	150

การทดลอง ได้แก่ ซีโอดี, สารแขวนลอยทั้งหมดและความขุ่น แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 3 แล้วจะสามารถนำไปวิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาสร้างสมการถดถอย เพื่อใช้ทำนายค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากร้านกาแฟจากค่าของปัจจัยต่าง ๆ โดยสมการที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับทำนายค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี, สารแขวนลอยทั้งหมดและความขุ่น แสดงได้ดังสมการที่ 1-3 ตามลำดับ

ซีโอดี (%) = $73.8164 + 0.0104(X_1) + 1.6271(X_2) - 0.5336(X_3) - 0.7029(X_1)(X_1) - 0.0083(X_2)(X_2) - 0.0002(X_3)(X_3) - 0.1487(X_1)(X_2) + 0.1014(X_1)(X_3) + 0.0014(X_2)(X_3)$ ---------- (1)

สารแขวนลอยทั้งหมด (%) = $106.717 - 4.5983(X_1) + 0.0652(X_2) - 0.0976(X_3) + 0.379(X_1)(X_1) + 0.0009(X_3)(X_3) - 0.0299(X_1)(X_2) - 0.015(X_1)(X_3) + 0.0027(X_2)(X_3)$ ---------- (2)

ความขุ่น (%) = $35.9048 + 8.4503(X_1) + 2.4419(X_2) - 0.4341(X_3) - 1.1356(X_1)(X_1) - 0.0190(X_2)(X_2) - 0.0003(X_3)(X_3) - 0.1877(X_1)(X_2) + 0.0755(X_1)(X_3) + 0.0060(X_2)(X_3)$ ---------- (3)

เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลประสิทธิภาพการบำบัดด้วย ANOVA พบว่า อิทธิพลของปัจจัยที่มีค่า P-valve น้อยกว่า 0.05 มีผลอย่างนัยสำคัญ

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี สารแขวนลอยทั้งหมดและความขุ่น จากการทดลองและการทำนายด้วยความสัมพันธ์จากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

ชุดการทดลอง	พีเอช	เวลา	ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)					
				ซีโอดี		สารแขวนลอยทั้งหมด		ความขุ่น	
				ค่าทดลอง	ค่าทำนาย	ค่าทดลอง	ค่าทำนาย	ค่าทดลอง	ค่าทำนาย
1	5	35	150	77.03	75.91	99.18	98.79	98.38	95.37
2	7	35	100	72.97	70.32	84.99	86.25	78.63	83.06
3	9	35	50	37.84	37.82	83.70	84.24	39.30	45.06
4	9	60	100	45.95	48.72	86.99	85.74	59.23	54.27
5	7	10	50	55.41	53.49	85.93	85.13	53.24	55.76
6	5	60	100	81.08	83.17	97.54	96.08	95.56	98.91
7	7	60	150	78.38	79.27	97.66	98.61	99.82	100.10
8	5	10	100	62.16	61.04	86.75	86.80	56.83	60.24
9	5	35	50	77.03	77.67	87.81	88.60	88.55	86.03
10	9	10	100	56.76	56.33	82.18	82.43	58.03	53.14
11	7	35	50	54.05	60.56	86.52	84.90	78.20	70.09
12	7	35	150	79.73	79.08	94.14	92.09	94.03	94.53
13	7	60	50	62.16	57.25	83.70	84.67	58.03	60.66
14	9	35	150	78.38	76.62	89.10	88.43	79.34	84.60
15	7	10	150	64.86	68.51	86.28	85.57	65.23	65.20

โดยค่า P-valve ของเทอม Linear, Square และ Interaction ของแต่ละพารามิเตอร์มีค่าแสดงดังตารางที่ 4

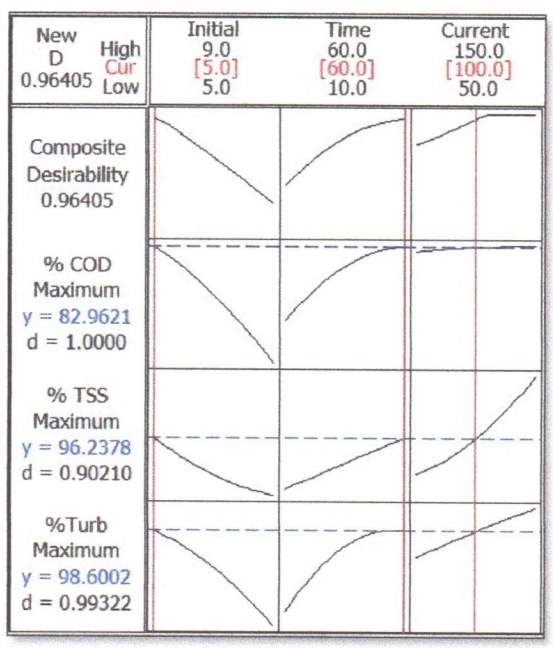
โดยเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Sq) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี, สารแขวนลอยทั้งหมดและความขุ่น มีค่าร้อยละ 95.75, 96.57 และ 95.24 ตามลำดับ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R-Sq(adj)) มีค่าร้อยละ 88.09, 90.41 และ 86.68 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Sq) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R-Sq(adj)) มีค่าสูงสมการที่ได้มีความเหมาะสม โดยปัจจัยต่าง ๆ มีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลประสิทธิภาพการบำบัดด้วย ANOVA

เทอม	p-value		
	ซีโอดี	สารแขวนลอยทั้งหมด	ความขุ่น
Regression	0.006	0.004	0.008
Linear	0.002	0.001	0.002
Square	0.280	0.240	0.097
Interaction	0.016	0.029	0.049
R^2	95.75%	96.57%	95.24%
R^2adj	88.09%	90.41%	86.68%

4.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

จากการศึกษาหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า สามารถนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด (Optimal condition) โดยอาศัยสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ พบว่า ผลของปัจจัยต่อประสิทธิภาพการบำบัดที่เหมาะสมที่สุดที่ pH เริ่มต้น 5.0 เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 100 แอมป์แปร์/ตร.ม ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี, สารแขวนลอยทั้งหมดและความขุ่น เท่ากับร้อยละ 82.96, 96.24 และ 98.60 ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์ แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 สภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่ให้ค่าตอบสนองต่อประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด (Optimal condition)

5. สรุปผลการศึกษา

ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากร้านกาแฟด้วยกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้าด้วย 3 ปัจจัยคือ ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 5, 7 และ 9 ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 50, 100 และ 150 แอมป์แปร์ต่อตารางเมตร และเวลาที่ 10, 35 และ 60 นาที การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ(laboratory scale) และใช้ปริมาณน้ำตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร โดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรดเมื่อทำการทดลองและวิเคราะห์ผล พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสียจากร้านกาแฟด้วยการรวมตะกอนทางไฟฟ้า คือ ค่าพีเอชเริ่มต้น 5 เวลา 60 นาทีและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 100 แอมป์แปร์ต่อตารางเมตร ซึ่งได้ค่าพารามิเตอร์ซีโอดี, สารแขวนลอยทั้งหมดและค่าความขุ่นคิดเป็นร้อยละ 82.96, 96.24 และ 98.60 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจต่อประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าร้อยละ 95.75, 96.57 และ 95.24 ตามลำดับ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R-Sq(adj)) มีค่าร้อยละ 88.09, 90.41 และ 86.68 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

ในการศึกษาควรพิจารณาลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ได้จากร้านกาแฟแต่ละร้านในการทดลองมีที่แตกต่างกัน ซึ่ง อาจทำให้ผลการทดลองได้ผลที่ต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กนกพลอย ธาตุเพชร และปณัทพร เรืองเชิงชุม. (2563). การลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จาเป็นด้วยการวางผังตามกระบวนการผลิต กรณีศึกษาธุรกิจร้านกาแฟสดในจังหวัดขอนแก่น. *วารสารบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2564 หน้า 1-24.

[2] Emamjomeh, M.M. & Sivakumar, M. (2009). Review of Pollutants Removed by Electrocoagulation and Electrocoagulation /Flotation Processes. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1663–1679.

[3] Elazzouzi, M., El-Kasmi, A., Haboubi, K. and Elyoubi, M.S. (2018). A Novel Electrocoagulation Process Using Insulated Edges of Al Electrodes for Enhancement of Urban Wastewater Treatment: Techno-Economic Study. *Process Safety and Environmental Protection*, 116, 506–515.

[4] Bote, M.B (2021). Studies on electrode combination for COD removal from domestic wastewater using electrocoagulation. *Heliyon,* 7(12), e08614

[5] Chen, X., Chen, G., & Yue, P. L. (2000). Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation. *Separation and Purification Technology,* 19(1-2), 65–76.

[6] Ubale, M.A. and Salkar, V.D. (2017). Experimental Study on Electrocoagulation of Textile Wastewater by Continuous Horizontal Flow through Aluminum Baffles. *Korean Journal of Chemical Engineering,* 34(4), 1044–1050.

หัววัดแก๊สอะซีโตนความเข้มข้นต่ำสำหรับคัดกรองโรคจากลมหายใจประดิษฐ์จากซิงค์ออกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบเตตระพอตเจือด้วยดีบุก

Low level acetone gas detection for exhaled breath medical diagnosis based on Sn doped ZnO tetrapods structure

ธีระพงษ์ แสนทวีสุข*,1, สุภาพ ชูพันธ์2

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร[1]

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่[2]

E-mail: theerapong.sa@snru.ac.th*

บทคัดย่อ

ซิงค์ออกไซด์สังเคราะห์จากวิธีออกซิเดชันด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงโดยใช้ซิงค์เป็นสารตั้งต้นและเจือดีบุกต่างกัน (0 0.1 mol.% และ0.2 mol.%) ซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างแบบเตตระพอตขนาดเล็กปริมาณมากมีสี่ขาที่จัดเรียงตัวอย่างสมมาตร ดีบุกส่งผลต่อขนาดของ ขนาดของผลึก พื้นที่ผิว และขนาดรูพรุน ซิงออกไซด์เตตระพอตทุกเงื่อนไขเป็นผลึกเชิงเดี่ยว มีสภาพความเป็นผลึกสูง ไม่พบสารอื่นเจือปน มีความบกพร่องในผลึกต่ำ ซิงค์ออกไซด์เตตระพอตถูกประดิษฐ์เป็นหัววัดแก๊สและทดสอบกับอะซีโตน (0.5, 2, 10 และ 50 ppm) ที่ 250, 300, 350 และ450°C ปริมาณดีบุกมีอิทธิพลต่อค่าสภาพไว ค่าเวลาการตอบสนองและค่าเวลาในการคืนตัว หัววัดแก๊สซิงค์ออกไซด์เตตระพอตเจือดีบุก 0.1 mol.% มีค่าสภาพไวสูงที่สุดและเงื่อนไขที่ไม่เจือดีบุกให้ค่าสภาพไวต่ำที่สุด ค่าสภาพไวของหัววัดแก๊สจะเพิ่มขึ้นตามค่าอุณหภูมิและความเข้มข้นของแก๊ส ผลจากขนาดผลึกที่เล็กช่วยให้การส่งผ่านของประจุพาหะในบรรยากาศของแก๊สอะซีโตนได้ดีขึ้นและโลหะดีบุกที่เจือจะช่วยปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของหัววัดแก๊สโดยการลดปริมาณประจุพาหะเมื่ออยู่ในอากาศปกติ ทั้งสองปัจจัยส่งผลให้หัววัดมีความต้านทานไฟฟ้า ที่สูงในอากาศปกติและมีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำในบรรยากาศของแก๊สอะซีโตนทำให้ค่าสภาพไวที่คำนวณจากอัตราส่วนของค่าทั้งสองนี้มีค่าสูง นอกจากนี้ยังพบว่าสารเจือดีบุกช่วยลดค่าเวลาในการตอบสนองและค่าเวลาในการคืนตัวของหัววัดแก๊สด้วย หัววัดที่เจือดีบุกสามารถวัดแก๊สความเข้มข้นต่ำกว่า ppm ได้ซึ่งเหมาะสำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์เพื่อคัดกรองโรคจากลมหายใจ

คำสำคัญ: หัววัดแก๊ส การคัดกรองโรคจากลมหายใจ อะซีโตน ซิงค์ออกไซด์ โครงสร้างเตตระพอต

ABSTRACT

ZnO were synthesized using a simple thermal oxidation reaction method at high temperature in air; using Zn with Sn dopant (0 0.1 mol.% and 0.2 mol.%) as the raw materials. The synthesized products showed tetrapods structure with four symmetry legs. The Sn dopant affected on the size, crystalline size, surface area and pore size. All samples exhibited the good single crystal with a high crystalline degree; without other impurity and low crystal defect. ZnO tetrapods were fabricated as gas sensor and were tested with acetone concentration (0.5, 2, 10 and 50 ppm) at 250, 300, 350 and 450°C. It was carried out that the Sn dopant affected on sensitivity response time and recovery time of the sensors. ZnO tetrapods with 0.1 mol.% sensor showed the highest sensitivity; while undoped sensor exhibited a lowest value. The sensitivity increased with the gas concentration and temperature. Smaller crystallize size improved the transfer rate of charge carried in acetone atmosphere; while the Sn dopant reduced the charge carried of sensor in normal air. Therefore, the sensor showed high resistance in air and low resistance in acetone atmosphere. As a result, the gas sensitivity which calculated from the ratio of those resistance was improved. Moreover, the Sn dopant also reduced the response time and recovery time of the sensors. Sn-doped sensors can detect acetone gas down to sub-ppm level, which is suitable for exhaled breath medical diagnosis device.

Keywords: Gas sensor, Exhaled breath detection, Acetone, ZnO, Tetrapods

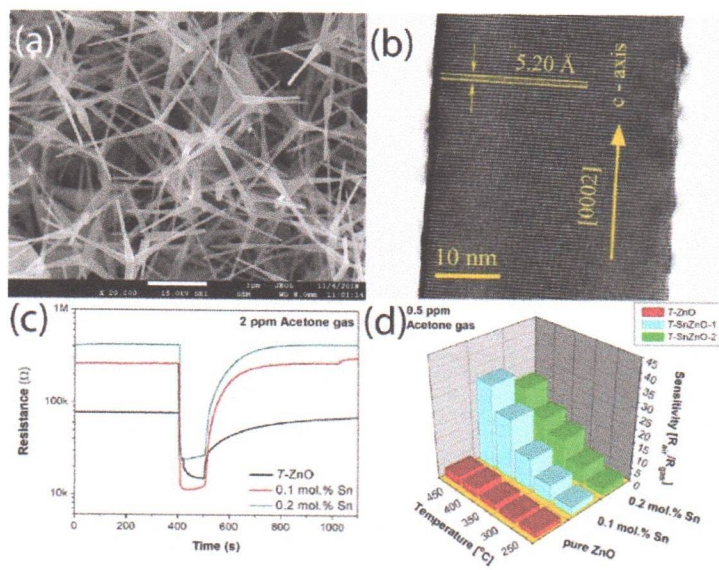
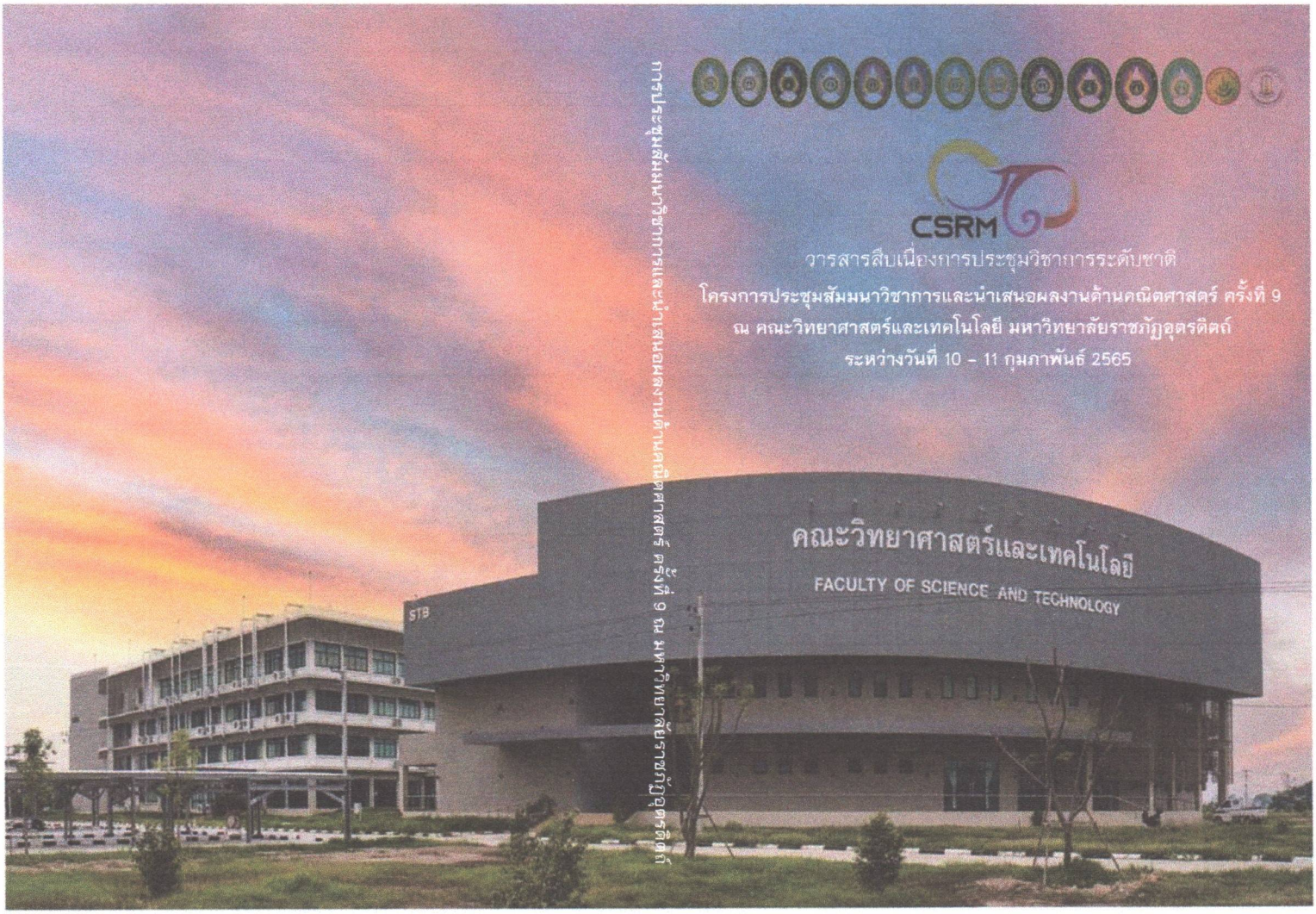


Fig. 1 SEM image of the tetrapods (a) and high-resolution TEM image of one leg of the tetrapods (b), while (c) showed the resistance signal of the sensors under 2 ppm and (d) demonstrated the sensitivity under 0.5 ppm with various operating temperature.

0.2

Sci2.3-9


CSRM
วารสารสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ
โครงการประชุมสัมมนาวิชาการและนำเสนอผลงานด้านคณิตศาสตร์ ครั้งที่ 9
ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
ระหว่างวันที่ 10 - 11 กุมภาพันธ์ 2565
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
STB

คำนำ

ปัจจุบันการพัฒนาตนเองในด้านวิชาการมีความสำคัญต่อบุคลากรทางการศึกษาและนักศึกษาเป็นอย่างมาก นอกจากจะมีความรู้แล้วสิ่งหนึ่งที่ขาดไม่ได้คือการถ่ายทอด หรือการนำเสนอผลงานที่ได้ศึกษาค้นคว้า ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อการเรียนคณิตศาสตร์ ดังนั้นการจัดสัมมนาและนำเสนอผลงานของนักศึกษาจึงเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่สำคัญ ซึ่งจะทำให้นักศึกษากล้าแสดงออก สามารถนำเสนอผล ตอบคำถาม และแก้ปัญหาเฉพาะหน้าได้ การจัดประชุมวิชาการครั้งนี้นอกจากนักศึกษาจะได้ฝึกทักษะข้างต้นแล้ว อาจารย์และบุคลากรทางด้านคณิตศาสตร์ยังได้แลกเปลี่ยนข้อมูลทางการเรียนการสอน และการวิจัยเพื่อช่วยกันพัฒนาผลงานวิชาการทางด้านคณิตศาสตร์ให้ดียิ่งขึ้น

หลักสูตรคณิตศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ได้ตระหนักและเห็นความสำคัญในการส่งเสริมและพัฒนานักศึกษาให้มีความสามารถในนำเสนอผลและสร้างผลงานวิจัย จึงจัดโครงการสัมมนาวิชาการและนำเสนอผลงานด้านคณิตศาสตร์ ครั้งที่ 9 ขึ้น มีจุดประสงค์เพื่อให้นักศึกษาได้นำเสนอผลงานทางด้านคณิตศาสตร์ โดยมีการประกวดผลงานด้านสัมมนาและโครงงานคณิตศาสตร์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้านคณิตศาสตร์กับนักศึกษาและอาจารย์จากมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ที่เข้าร่วมโครงการในครั้งนี้ เป็นการสร้างแรงบันดาลใจในการสร้างผลงานวิชาการและสร้างความร่วมมือทางวิชาการระหว่างมหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

คำนำ 1

สารบัญ 3

โครงงานคณิตศาสตร์ 5

การคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับการทำซ้ำแบบ Noor และ การทำซ้ำแบบ Implicit Noor

ธนาวุฒิ จันทร์สว่าง และ สุกัญญา มาเย็น 6

การปรับปรุงระเบียบวิธีการทำซ้ำจุดตรึง สำหรับสมการไม่เชิงเส้น โดยการใช้วิธีการแยกอะโดเมียน

เมธาวี คงอรุณ และ ไพชยนต์ สิริเสถียรวัฒนา 34

Some Properties of Matrix Methods in Horadam Sequence

Waraporn Phromkamwong, Onanong Kathong and Boonyen Thongkam 53

Algebraic Properties of Partially Multiplicative Function

Chuttima Duangsri, Chaksiriwan Samphao and Boonyen Thongkam 59

สมบัติการตัดออกบนซิมเมตริกกรุปปอยด์

รัตนาภรณ์ ปัจจัยโก และ วีรพงษ์ วงศ์พินิจ 70

ตัวคูณ f สองสมมาตรบนพีชคณิต a

วาสนา บุญเลี้ยง และ บรรชา นันจรัส 78

บนพีชคณิต IS

ศราวุธ สิงห์เงิน และ เชาวน์วัฒน์ มั่นยืน 85

การออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์ลายไทยจากสมการทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม Geometer's Sketchpad

เบญจวรรณ สุดไทย, ภัทราพร ทองอิ่ม, ทวีโชค มากรักชาติ และ จิตติพร ตังควิเวชกุล 101

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทยโดยใช้วิธีอารีมา
ดวงฤทัย บุญสงค์, พิมพ์พิกา วันป้าน, สมประสงค์ อุตวงค์ษา, สมจิตร บุญเทียม และ ชนัญกาญจน์ แสงประสาน 112

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) เพื่อสร้างเสริมมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ เรื่อง สมบัติของเลขยกกำลัง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น
ทวีสิทธิ์ ปัญญายง, รัชนีกร ตะนา, ณัฐพล ครีบผา และ วิไลวรรณ ตันโน 130

การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่องปริมาตรและพื้นที่ผิวของพีระมิด กรวย และทรงกลม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้แนวคิด SSCS ร่วมกับโฮโลแกรม (hologram)
มะลิวัลย์ กันยานวน, กาญจนา อุ่งเกษ, ชนากานต์ ศรีอินทร์, ทวีสิทธิ์ ปัญญายง และ คทาวุธ ชาติศักดิ์ยุทธ 153

ภาคผนวก 172

คณะกรรมการดำเนินงาน 173

ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินผลงาน 175

วารสารสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ
โครงการสัมมนาวิชาการและนำเสนอผลงานด้านคณิตศาสตร์ ครั้งที่ 9
ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

การพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทยโดยใช้วิธีอารีมา

ดวงฤทัย บุญสงค์[1*], พิมพ์พิกา วันป้าน[1], สมประสงค์ อุตวงค์ษา [1],
สมจิตร บุญเทียม [1] และ ชนัญกาญจน์ แสงประสาน [2]

[1]หลักสูตร วท.บ.(คณิตศาสตร์) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
[2]หลักสูตร วท.บ.(วิทยาการข้อมูล) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแบบจำลองมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิที่เหมาะสมโดยใช้วิธี $ARIMA$ สำหรับการพยากรณ์ในระยะสั้น โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิรายเดือนของประเทศไทย จัดเก็บโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 รวมทั้งสิ้น 67 เดือน แบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลสำหรับสร้างตัวแบบพยากรณ์ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 จำนวน 60 เดือน และชุดที่ 2 คือ ข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 จำนวน 7 เดือน การเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบใช้เกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ต่ำสุด จากการศึกษาพบว่า แบบจำลอง $ARIMA(1,1,1)(0,0,0)_{12}$ เป็นตัวแบบที่มีความเหมาะสมในการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิรายเดือนในประเทศไทย

*Corresponding Author: Duangruthai.Bo61@snru.ac.th
Keyword : อนุกรมเวลา มูลค่าการส่งออก ข้าวหอมมะลิ อารีมา
AMS Classification: 62M10

1 บทนำ

ข้าวเป็นพืชอาหารหลักของชาวโลกจัดเป็นพืชสายพันธุ์เดียวกับหญ้า ซึ่งนับได้ว่าเป็นหญ้าที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลก และมีความหลากหลายทางชีวภาพสามารถปลูกขึ้นได้ง่าย มีความทนทานต่อทุกสภาพภูมิประเทศในโลก ไม่ว่าจะเป็นถิ่นแห้งแล้งแบบทะเลทราย พื้นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง หรือแม้กระทั่งบนเทือกเขาที่หนาวเย็น ข้าวก็ยังสามารถงอกงามขึ้นมาได้อย่างทรหดอดทน [1] ซึ่งปัจจุบันจะเห็นได้ว่าประชากรของโลกเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความต้องการที่จะบริโภคข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าวจึงมีแนวโน้มสูงขึ้น และแพร่หลายเกือบทั่วโลก ทำให้ประเทศที่เป็นผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก เช่น ไทย อินเดีย เวียดนาม ปากีสถาน และสหรัฐอเมริกา พยายามที่จะพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตข้าวให้เพียงพอต่อการบริโภคของคนภายในประเทศ และเพิ่มปริมาณการส่งออกให้มากขึ้น [2]

ในการส่งออกข้าวของไทย ข้าวนับว่าเป็นสินค้าที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย ปัจจุบันประเทศไทยมีรายได้จากการส่งออกข้าวนับแสนล้านบาท [3] การส่งออกข้าวของไทยหลัก ๆ ประกอบด้วยกลุ่มข้าวขาว ข้าวหอม และข้าวเหนียว ซึ่งกระจายการส่งออกไปในตลาดการค้าข้าวในภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก แม้ว่าปริมาณการส่งออกข้าวหอมมะลิจะมีปริมาณน้อยกว่าการส่งออกข้าวขาว แต่เมื่อพิจารณาจากมูลค่าการส่งออกจะเห็นว่า ข้าวหอมมะลิมีมูลค่าการส่งออกมากกว่าข้าวขาวเกือบหนึ่งเท่าตัว เนื่องจากการส่งออกข้าวหอมมะลิให้มูลค่าต่อหน่วยหรือต่อตันของผลผลิตสูงกว่ามูลค่าต่อหน่วยของผลผลิตข้าวขาวอย่างมาก [4] โดยข้าวหอมมะลิและข้าวหอมไทยถูกกำหนดให้เป็นข้าวคุณภาพระดับพรีเมียม (premium quality) และข้าวคุณภาพสูง (high quality) และยังได้รับรางวัลในปี 2559 ข้าวหอมมะลิของไทยได้รับรางวัลข้าวดีเด่นของโลก จากงาน The World Rice Conference ซึ่งทำให้ได้รับความสนใจจากทั่วโลกยังคงเป็นที่ต้องการ ในตลาดต่างประเทศที่มีกำลังซื้อสูง เช่น สหรัฐอเมริกา ฮ่องกง แคนาดา และสิงคโปร์ เป็นต้น [5]

สำหรับสถานการณ์การส่งออกข้าวหอมมะลิของไทยย้อนหลัง 5 ปี ตั้งแต่ปี 2556 - 2560 พบว่า ปี 2556 มีปริมาณการส่งออกข้าวหอมมะลิรวมอยู่ที่ 1,477,869 ตัน ต่อมาในปี 2557 มีปริมาณการส่งออกรวมของข้าวหอมมะลิไทยลดลงมาจากปีก่อนคือ 1,336,238 ตัน ถึงแม้ว่าผลรวมในปี 2558 จะเพิ่มมากขึ้นแต่ก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งเพิ่มมาเป็น 1,385,027 ตัน แต่ยังคงปรับตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี 2559 มีผลรวมของปริมาณการส่งออกข้าวหอมมะลิไทยคือ 1,535,633 ตัน ซึ่งเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง กระทั่งในปี 2560 ปริมาณรวมของการส่งออกข้าวหอมมะลิไทยมีการปรับตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง คือ 1,607,356 ตัน แต่อย่างไรก็ตามจากสถิติผลผลิตข้าวโลก ปี 2556 - 2560 นั้น ประเทศไทยยังคงเป็นรองเรื่องของผลผลิตข้าวโลก [6] จากสถานการณ์ดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ถ้าเราได้ทราบถึงราคาการขายข้าวในอนาคตด้วยการพยากรณ์ทางสถิติ นับเป็นอีกหนึ่งมาตรการที่จะช่วยเหลือเกษตรกรในการใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการวางแผนการปลูก และเป็นแนวทางที่ช่วยคาดการณ์ความผันผวนของราคาข้าว

สำหรับการใช้ตัวแบบทางสถิติเพื่อการพยากรณ์นั้น จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่ามีนักวิจัยหลายคนได้ใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา ด้วยวิธี $ARIMA$ [2], [7]-[12] เป็นการพยากรณ์ที่ใช้ทฤษฎีและหลักการทางสถิติ สามารถใช้พยากรณ์หรือทำนายค่าล่วงหน้าได้ ซึ่งเทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลามีหลักการพยากรณ์ค่าตัวแปรที่ศึกษาเพียงตัวแปรเดียว โดยอาศัยความสัมพันธ์ของตัวแบบที่ศึกษาในปัจจุบันกับข้อมูลตัวแปรนั้นในอดีต เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพสำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของประเทศไทย การพยากรณ์ด้วยเทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา โดยใช้วิธี $ARIMA$

2 ความรู้พื้นฐาน

2.1 การพยากรณ์ (Forecasting)

การพยากรณ์ หมายถึง การคาดคะเนหรือทำนายการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ในอนาคต โดยการพยากรณ์จะทำการศึกษาแนวโน้มและรูปแบบการเกิด เหตุการณ์ตามข้อมูลในอดีตหรือ ใช้ความรู้ความสามารถประสบการณ์และดุลยพินิจของผู้พยากรณ์ในปัจจุบัน การพยากรณ์มักจะนำไปใช้ เกี่ยวกับการวางแผนอุปสงค์ (demand planning) หรือการพยากรณ์ห่วงโซ่อุปทาน (supply chain forecasting) ซึ่งจะใช้ทั้งวิธีการพยากรณ์ทางสถิติและวิธีการสำรวจความคิดเห็น และการพยากรณ์มักใช้กับข้อมูลอนุกรมเวลา เห็นได้ว่าการพยากรณ์มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการวางแผน และการตัดสินใจเกี่ยวกับ การดำเนินงานในทุกสาขาอาชีพ [13]

2.2 การพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Time Series Forecasting)

การพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาเป็นการพยากรณ์โดยการศึกษาถึงความเคลื่อนไหวของข้อมูลชุดหนึ่ง ๆ ตามงวดระยะเวลาในอดีตว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ตัวอย่างข้อมูลอนุกรมเวลา ได้แก่ ข้อมูลการขายสินค้ารายวัน ข้อมูลการผลิตสินค้ารายเดือน และข้อมูลส่งออกหรือข้อมูลการนำเข้าสินค้าในแต่ละไตรมาสของปีต่าง ๆ ในการนำเสนอข้อมูลอนุกรมเวลามักจะเรียงลำดับเวลาตามปฏิทิน [14]

2.3 การทดสอบความนิ่งของข้อมูล (Unit Root Test)

การทดสอบความนิ่งของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษามีด้วยกันหลายวิธีโดยส่วนใหญ่แล้ว จะนิยมใช้วิธีทดสอบของ Dickey-Fuller (DF) and Augmented Dickey-Fuller (ADF) และวิธี The Twiatkowski, Phillips, Schmidt, and Shin (KPSS test) ข้อมูลอนุกรมเวลาส่วนใหญ่จะมีคุณสมบัติเป็น non–stationary หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลอนุกรมเวลาเหล่านั้นมี unit root ถ้าหากนำข้อมูลที่มีคุณสมบัติ non– stationary มาประมาณค่าพารามิเตอร์โดยใช้ด้วยวิธี Ordinary Least Square (OLS) ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการประมาณการแม้ว่ามี regression ดังนั้นผู้ทำการศึกษาต้องปรับข้อมูลให้มีความนิ่งก่อนถึงจะนำไปประมาณค่าพารามิเตอร์ได้ ข้อมูลที่มีลักษณะนิ่ง (stationary) หมายถึง ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีค่าเฉลี่ย (mean) และความแปรปรวน (variance) เท่ากันตลอดระยะเวลาที่ศึกษา เมื่อสมมุติให้ตัวแปร y_t เป็นอนุกรมเวลาที่คงที่ (stationary) ดังนั้นตัวแปร y_t จะมีคุณสมบัติดังนี้

$$\text{Mean: } E(y_t) = \mu$$
$$\text{Variance: } Var(y_t) = E(y_t - \mu)^2 = \delta^2$$
$$\text{Covariance: } E[(y_t - \mu)(y_{t+k} - \mu)] = \gamma_k$$

ส่วนข้อมูลที่มีลักษณะไม่นิ่ง (non-stationary) หมายถึงข้อมูลอนุกรมที่มีค่าเฉลี่ย (mean) และความแปรปรวน (variance) ไม่เท่ากันตลอดระยะเวลาที่ศึกษาเมื่อสมมุติให้ตัวแปร y_t เป็นอนุกรมเวลาที่ไม่คงที่ (non-stationary) ดังนั้นตัวแปร y_t จะมีคุณสมบัติดังนี้

$$\text{Mean: } E(y_t) = t\mu$$
$$\text{Variance: } Var(y_t) = E(y_t - \mu)^2 = t\delta^2$$
$$\text{Covariance: } E[(y_t - \mu)(y_{t+k} - \mu)] = t\gamma_k$$

การทดสอบความนิ่งของข้อมูลด้วยวิธี ADF test มีสมมุติฐานการทดสอบคือ $H_0 : \theta = 1$ (ข้อมูลมีลักษณะไม่นิ่ง) แย้งกับ $H_1 : \theta \neq 1$ (ข้อมูลมีลักษณะนิ่ง) และทำการทดสอบเป็น 3 กรณีดังนี้ กรณี 1 ไม่มีค่าคงที่และแนวโน้มเวลา

$$\Delta y_t = \theta y_{t-1} - \epsilon_t \tag{2.1}$$

กรณี 2 มีแต่ค่าคงที่

$$\Delta y_t = \alpha + \theta y_{t-1} + \epsilon_t \tag{2.2}$$

กรณี 3 มีทั้งค่าคงที่และแนวโน้มเวลา

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \theta y_{t-1} + \epsilon_t \tag{2.3}$$

แต่หากข้อมูลที่ได้มีลักษณะไม่นิ่งให้ทำ order of integration 1 ครั้ง หรือทำไปเรื่อย ๆ จนกว่าข้อมูลที่ได้จะมีลักษณะนิ่ง [7]

2.4 การวิเคราะห์ตัวแบบ

สำหรับข้อมูลที่มีลักษณะนิ่งแล้ว สามารถนำมาวิเคราะห์สร้างตัวแบบ $ARIMA$ ดังนี้

2.4.1 ตัวแบบ$ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$

ตัวแบบ Autoregressive integrated moving average model $(ARIMA)$ คือ

$$\begin{aligned}(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \cdots - \phi_p B^p)(1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \cdots - \Phi_p B^{Ps})(1 - B)^d (1 - B^s)^D Y_t \\ = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \cdots - \theta_q B^q)(1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \cdots - \Theta_Q B^{Qs})\epsilon_t\end{aligned} \tag{2.4}$$

โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลา t

B คือ backshist operator จำนวนครั้งของการหาผลต่าง มีคุณสมบัติคงที่ (stationary)

ϵ_t คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม (random error) ณ เวลา t

$\phi_1, \phi_2, \ldots, \phi_p$ คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการ nonseasonal autoregressive อันดับ $1, 2 \ldots, p$ ตามลำดับ

$\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_q$ คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการ nonseasonal moving average อันดับ $1, 2 \ldots, q$ ตามลำดับ

$\Phi_1, \Phi_2, \ldots, \Phi_P$ คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการ seasonal autoregressive อันดับที่ $1, 2 \ldots, P$ ตามลำดับ

$\Theta_1, \Theta_2, \ldots, \Theta_Q$ คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการ seasonal moving average อันดับ $1, 2 \ldots, Q$ ตามลำดับ

d คือ ผลต่างของอนุกรมเวลาแบบไม่มีฤดูกาล อันดับ d

D คือ ผลต่างของอนุกรมเวลาแบบมีฤดูกาล อันดับ D

s คือ ความยาวของฤดูกาลในหนึ่งรอบ ถ้าข้อมูลเป็นรายเดือน $s = 12$

2.4.2 การกำหนดรูปแบบ (identification)

กำหนดค่าพารามิเตอร์กระบวนการ MA (q) หรือ SMA(Q) จากกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (autocorrelation function : ACF) โดยที่ค่า autocorrelation (r_k) ของอนุกรมตัวอย่าง ดังสูตรต่อไปนี้

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k}(Y_t - \bar{Y})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^{n-k}(Y_t - \bar{Y})^2} \tag{2.5}$$

เมื่อ Y_t คือ ข้อมูลหรือค่าสังเกต ณ เวลา t

k คือ จำนวนช่วงข้อมูลที่ห่างกัน

กำหนดค่าพารามิเตอร์กระบวนการ AR (p) หรือ SAR(P) จากกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (partial autocorrelations : PACF) โดยที่ค่า Partial Autocorrelation (r_{kk}) ของอนุกรม

ตัวอย่าง ดังสูตรต่อไปนี้

$$r_{kk} = \begin{cases} r_1 & \text{เมื่อ } k = 1 \\ \dfrac{r_k - \sum_{j=1}^{k-1} r_{k-1,j} r_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} r_{k-1,j} r_j} & \text{เมื่อ } k > 1 \end{cases} \tag{2.6}$$

ในการพิจารณาแต่ละรูปแบบ ต้องพิจารณา r_k, r_{kk} พร้อมกันหลาย ๆ ค่า จึงมักพิจารณาจากรูปที่เรียกว่า "คอเรลโลแกรม" (correlogram) ที่ได้จากการพล็อต r_k, r_{kk}

2.4.3 การประมาณค่าพารามิเตอร์ (estimation)

การประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

2.4.4 การตรวจสอบตัวแบบ(diagnostic checking)

เมื่อกำหนดรูปแบบและประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบแล้ว จะต้องทำการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบในที่นี้ใช้การทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบด้วยสถิติ Ljung-Box ซึ่งพิจารณาจากค่า Q-statistic ดังสมการนี้

$$Q_m = n(n+2) \sum_{k=1}^{m} \frac{r_k^2(e_t)}{n-k} \tag{2.7}$$

โดยที่ e_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ณ เวลา t
n คือ จำนวนอนุกรมเวลาของ e_t ทั้งหมด
m คือ ช่วงเวลาที่ห่างกันมากที่สุดของ e_t ทั้งหมด

ซึ่งค่า Q ที่ได้มีการแจกแจงแบบ Chi-square และมีองศาความเป็นอิสระ (degree of freedom) เท่ากับ $m - n$ โดยมีสมมติฐานว่างเป็นพจน์ของความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมาณที่มีลักษณะเป็น white noise หมายถึง ตัวแบบ ที่ไม่มี อัตสหสัมพันธ์ ถ้าหากตัวแบบที่ได้ไม่มีอัตสหสัมพันธ์ให้ใช้ตัวแบบนี้สำหรับการพยากรณ์ต่อไป [7]

2.4.5 การคัดเลือกตัวแบบที่เหมาะสม (Akaike's information criterion: AIC)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบในขั้นการสร้างตัวแบบ แบบใช้เกณฑ์การสูญเสียสารสนเทศของอะกะอิเกะ (Akaike's information criterion: AIC) เป็นเกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบที่

เหมาะสมภายใต้ตัวแบบที่มีการใช้ข้อมูลชุดเดียวกัน แต่มีจำนวนพารามิเตอร์แตกต่างกันที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัว แปรตามกับตัวแปรอิสระชุดหนึ่ง ตัวแบบที่เหมาะสมกว่า คือ ตัวแบบที่มีค่า AIC ต่ำกว่า และสามารถคำนวณค่า AIC ได้ดังนี้ [14]

$$AIC = -2\ln \hat{L} + 2p \tag{2.8}$$

3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของประเทศไทย ซึ่งเป็นมูลค่าการส่งออกรายเดือน รวมทั้งสิ้น 67 เดือน แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 จำนวน 60 เดือน เพื่อนำมาใช้ในการสร้างตัวแบบการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของประเทศไทย ด้วยวิธี $ARIMA$ และ ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 จำนวน 7 เดือน ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบที่เป็นไปได้ ทั้งนี้เนื่องจากขอบเขตระยะเวลาการวิจัย การวิจัยนี้วิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม R ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างตัวแบบการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของประเทศไทย ด้วยวิธี $ARIMA$ โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 1 ดังนี้

1.1 พิจารณากราฟการเคลื่อนไหวอนุกรมเวลา

1.2 ทดสอบกระบวนการนิ่งของข้อมูล ด้วย ADF test ถ้าข้อมูลไม่นิ่งจะทำการแปลงข้อมูล แล้วทดสอบ ADF test ใหม่ จนได้ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีความนิ่ง

1.3 สร้างกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (PACF) แล้วพิจารณาจำนวนพารามิเตอร์ของตัวแบบที่คาดว่าจะเป็นไปได้จากกราฟ ACF และ PACF

1.4 ประมาณค่าพารามิเตอร์และทดสอบนัยสำคัญของตัวแบบที่คาดว่าจะเป็นไปได้ด้วยการทดสอบความเป็นอิสระกันของความคลาดเคลื่อนด้วยสถิติ Ljung-Box ซึ่งจะได้ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของประเทศไทย

1.5 ถ้ามีตัวแบบที่เหมาะสมมากกว่า 1 ตัวแบบ จะเลือกตัวแบบที่มีเกณฑ์สารสนเทศของ Akaike (Akaike's information criterion: AIC) ต่ำสุด

ขั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบที่ได้ จากข้อ 1.5 ในขั้นตอนที่ 1 โดยใช้พยากรณ์ข้อมูลทดสอบชุดที่ 2 ด้วยเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ต่ำสุด

ขั้นตอนที่ 3 ทำการพยากรณ์ในระยะสั้นของมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิรายเดือนในประเทศไทย จำนวน 6 คาบเวลาล่วงหน้า โดยใช้ตัวแบบที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 2 เพื่อพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิรายเดือน ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ.2564 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2565

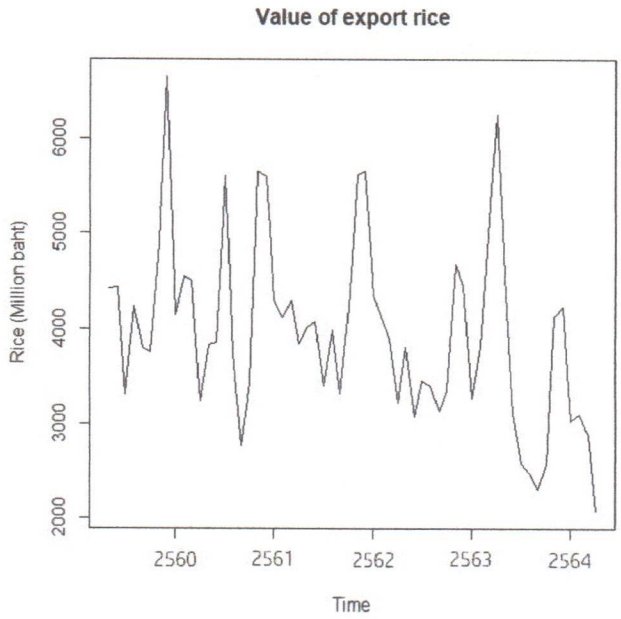
4 ผลการศึกษา

คณะผู้วิจัยจะนำเสนอผลการดำเนินการวิจัย ดังนี้

4.1 ผลการสร้างตัวแบบการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของประเทศไทย ด้วยวิธี $ARIMA$ โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 1

4.1.1 ผลการเคลื่อนไหวอนุกรมเวลา

ผลการศึกษาความเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาของมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 รวมทั้งสิ้น 60 เดือน ดังรูปที่ 4.1 จากรูปที่ 4.1 พบว่า มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิรายเดือนของประเทศไทย ปี พ.ศ.



รูปที่ 4.1: อนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของประเทศไทย

2559 ถึง พ.ศ. 2564 มีลักษณะเหมือนยอดเจดีย์ มีมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิเพิ่มขึ้นและลดลง ในแต่ละปีจะพบว่ามีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน ซึ่งจะอยู่ในช่วงเวลาสิ้นปีคือเดือนพฤศจิกายน ถึงมีนาคมของทุกปี ซึ่งเป็นช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวข้าวจะมีมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิรายเดือนสูงกว่ามูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในเดือนอื่น ๆ ในรอบปีนั้น แต่สำหรับมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิรายเดือน ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564 มีลักษณะผันผวนมากกว่าทุกปี และมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิรายเดือนของประเทศไทยไม่คงที่ แสดงให้เห็นว่าอนุกรมเวลามีส่วนประกอบของอิทธิพลแนวโน้ม ฤดูกาล และการแปรผันผิดปกติ

4.1.2 ผลการทดสอบความนิ่งของข้อมูลด้วยสถิติ ADF test

เมื่อนำข้อมูลมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทย ปี 2559 ถึงปี 2564 ไปทดสอบความนิ่งของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบ ADF test พบว่าค่าสถิติ Dickey-Fuller เท่ากับ -3.9194 ค่า p-value เท่ากับ 0.01922 ซึ่งมีค่ามากกว่านัยสำคัญ 0.01 หมายความว่า ยอมรับสมมติฐานหลัก สรุปว่าข้อมูลของมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทยไม่มีความนิ่ง แต่ถ้ากำหนดนัยสำคัญ 0.05 จะยอมรับว่าข้อมูลมีความนิ่ง ดังรูปที่ 4.2

```
> adf.test(Ricets_m)

        Augmented Dickey-Fuller Test

data:  Ricets_m
Dickey-Fuller = -3.9194, Lag order = 3, p-value = 0.01922
alternative hypothesis: stationary
```

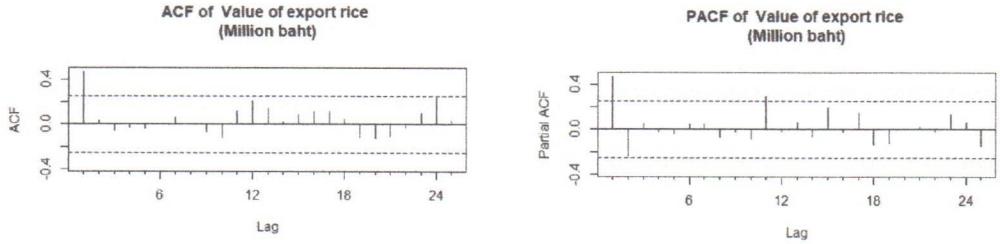
รูปที่ 4.2: ผลการทดสอบความนิ่ง

เพื่อสร้างทางเลือกเพิ่มในการสร้างตัวแบบ จึงทำการแปลงค่าข้อมูลด้วยการหาผลต่างอันดับที่ 1 และผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1 ทำการทดสอบความนิ่งของข้อมูลที่แปลงค่าแล้ว ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1: ผลการทดสอบความนิ่งข้อมูลที่มีการแปลงค่า

ข้อมูล / ชื่อตัวแปร	การแปลงค่า	ค่าสถิติ Dickey-Fuller	p-value
$rice_{md}$	$d = 1$	-2.3645	0.4286
$rice_{mdD}$	$d = 1, D = 1$	-3.7953	0.0273

จากตารางที่ 1 พบว่าเมื่อแปลงข้อมูลด้วย $d = 1, D = 1$ ค่าสถิติ Dickey-Fuller เท่ากับ -3.7953 ค่า p-value เท่ากับ 0.0273 ซึ่งมีค่าน้อยกว่านัยสำคัญ 0.05 ดังนั้น ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าผลต่างอันดับที่ 1 และผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1 ของข้อมูลมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทยมีความนิ่ง สามารถนำไปสร้างตัวแบบ $ARIMA$ ในขั้นตอนต่อไปได้เช่นเดียวกัน

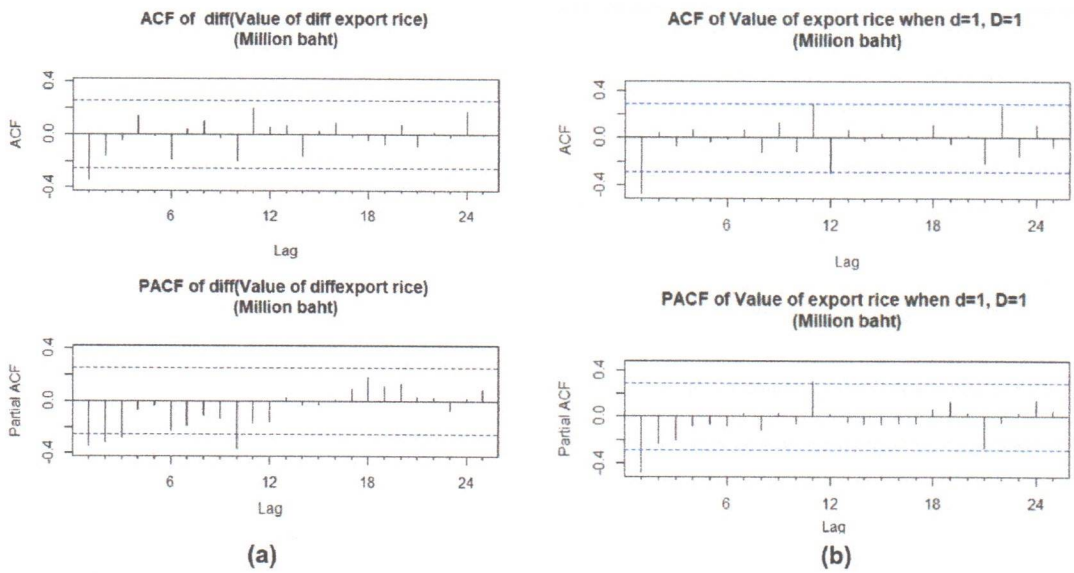


รูปที่ 4.3: กราฟ ACF และกราฟ PACF ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทย

4.1.3 ผลการสร้างกราฟ ACF และ PACF และผลการพิจารณาตัวแบบที่คาดว่าจะเป็นไปได้

เมื่อพิจารณากราฟของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (PACF) ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทยโดยเฉลี่ย ดังรูปที่ 4.3

จากรูปที่ 4.3 พบว่ากราฟ ACF ณ lag 1 มีนัยสำคัญแสดงถึงกระบวนการ MA(1) หรือ $q = 1$ ส่วนกราฟ PACF ณ lag 1 และ lag 11 มีนัยสำคัญแสดงถึงกระบวนการ AR(1) หรือ $p = 1$ และกระบวนการ SAR(1) หรือ $P = 1$ สำหรับข้อมูลที่ทำการแปลงมีกราฟ ACF และกราฟ PACF ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4: กราฟ ACF และกราฟ PACF ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทย ที่แปลงค่าแล้ว

จากรูปที่ 4.4 (a) เมื่อ d=1 พบว่ากราฟ ACF ณ lag 1 มีนัยสำคัญแสดงถึงกระบวนการ

MA(1) หรือ q=1 ส่วนกราฟ PACF ณ lag 1 lag 2 และ lag 3 มีนัยสำคัญแสดงถึงกระบวนการ AR ที่มีค่า p ไม่เกิน 3 และ lag 10 มีนัยสำคัญ เนื่องจากอิทธิพลของฤดูกาลหรือกระบวนการ SAR(1) หรือ P=1 ทั้งนี้โดยอนุโลม เนื่องจากเป็นข้อมูลตัวอย่าง จากรูปที่ 4.4 (b) เมื่อ $d = 1, D = 1$ พบว่ากราฟ ACF ณ lag 1 มีนัยสำคัญแสดงถึงกระบวนการ MA(1) หรือ $q = 1$ ส่วนกราฟ PACF ณ lag 1 และ lag 11 มีนัยสำคัญแสดงถึงกระบวนการ AR(1) และกระบวนการ SAR(1) หรือ $p = 1$และ $P = 1$ จึงกำหนดค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบที่เป็นไปได้ สามารถหาตัวแบบที่เป็นไปได้ในขั้นต่อไป

4.1.4 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์และทดสอบนัยสำคัญของตัวแบบที่คาดว่าจะเป็นไปได้ซึ่งจะได้ตัวแบบที่เป็นไปได้สำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของประเทศไทย

จากการวิเคราะห์กราฟของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (PACF) ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทย ที่แปลงค่าแล้ว กำหนดอันดับ p, q, P และ Q ที่เป็นไปได้ ดังนั้น ตัวแบบอนุกรมเวลาที่คาดว่าจะเป็นไปได้ สำหรับอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทย ได้แก่

$$ARIMA(0,1,0)(1,1,0)_{12}$$

$$ARIMA(1,1,1)(1,0,0)_{12}$$

$$ARIMA(2,1,1)(1,0,0)_{12}$$

$$ARIMA(1,0,1)(1,0,0)_{12}$$

$$ARIMA(1,1,1)(0,0,0)_{12}$$

$$ARIMA(0,1,2)(1,1,0)_{12}$$

จากตัวแบบ$ARIMA$ ที่เป็นไปได้ 6 ตัวแบบสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ และทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าประมาณค่าพารามิเตอร์ และทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2: ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแบบ $ARIMA$ ที่คาดว่าจะเป็นไปได้

ตัวแบบ	ค่าพารามิเตอร์	ค่าประมาณ	ค่าสถิติ z	Sig	ผลลัพธ์
$ARIMA(0,1,0)(1,1,0)_{12}$	$SAR(1)$	-0.7290	-7.4256	$1.123e-13*$	พารามิเตอร์ทุกตัว มีนัยสำคัญ
$ARIMA(1,1,1)(1,0,0)_{12}$	$AR(1)$	0.4549	3.3295	$0.0009*$	พารามิเตอร์บางตัว ไม่มีนัยสำคัญ
	$MA(1)$	-0.9358	17.1984	$< 2.2e-16*$	
	$SAR(1)$	0.2749	-1.9297	0.0537^{ns}	
$ARIMA(2,1,1)(1,0,0)_{12}$	$AR(1)$	0.5240	3.7713	$0.0002*$	พารามิเตอร์บางตัว ไม่มีนัยสำคัญ
	$AR(2)$	-0.2330	-1.6642	0.0961^{ns}	
	$MA(1)$	0.9114	-14.3876	$< 2.2e-16*$	
	$SAR(1)$	0.1879	1.1901	0.2340^{ns}	
$ARIMA(1,0,1)(1,0,0)_{12}$	$AR(1)$	0.2490	1.0912	0.2752^{ns}	พารามิเตอร์ทุกตัว ไม่มีนัยสำคัญ
	$MA(1)$	0.3349	1.5098	0.1311^{ns}	
	$SAR(1)$	0.1631	0.9794	0.3274^{ns}	
$ARIMA(1,1,1)(0,0,0)_{12}$	$AR(1)$	0.4674	3.5718	$0.0004*$	พารามิเตอร์ทุกตัว มีนัยสำคัญ
	$MA(1)$	-0.9392	-17.3848	$< 2.2e-16*$	
$ARIMA(0,1,2)(1,1,0)_{12}$	$MR(1)$	-0.4324	-3.0999	$0.0019*$	พารามิเตอร์ทุกตัว มีนัยสำคัญ
	$MA(2)$	-0.3842	-2.9093	$0.0036*$	
	$SAR(1)$	-0.7448	-7.9364	$2.082e-15*$	

จากตารางที่ 2 พบว่ามี 3 ตัวแบบคือ ตัวแบบที่ 1 $ARIMA(0,1,0)(1,1,0)_{12}$ ตัวแบบที่ 5 $ARIMA(1,1,1)(0,0,0)_{12}$ และตัวแบบที่ 6 $ARIMA(0,1,2)(1,1,0)_{12}$ ที่มีค่าพารามิเตอร์ทุกตัวในตัวแบบมีนัยสำคัญในขั้นตอนนี้ได้ตัวแบบที่มีความเหมาะสม 3 ตัวแบบจึงทำการหาค่าเกณฑ์ AIC ต่อไป

4.1.5 ผลการหาค่าเกณฑ์ AIC ของตัวแบบที่เหมาะสม

การทดสอบความเป็นอิสระกันของความคลาดเคลื่อนด้วยสถิติ Ljung-Box ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3: ผลการทดสอบความความเหมาะสมของตัวแบบด้วยสถิติ Ljung-Box และค่าเกณฑ์ AIC

ตัวแบบ	ค่าสถิติ Ljung-Box	df	p-value	ค่าเกณฑ์ AIC
$ARIMA(0,1,0)(1,1,0)_{12}$	10.601	12	0.5634	774.95
$ARIMA(1,1,1)(0,0,0)_{12}$	16.02	12	0.1903	969.67
$ARIMA(0,1,2)(1,1,0)_{12}$	4.0777	12	0.982	768.87

จากตารางที่ 3 พบว่าตัวแบบ $ARIMA(0,1,2)(1,1,0)_{12}$ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงเป็นตัวแบบที่มีความเหมาะสมที่จะใช้พยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทย

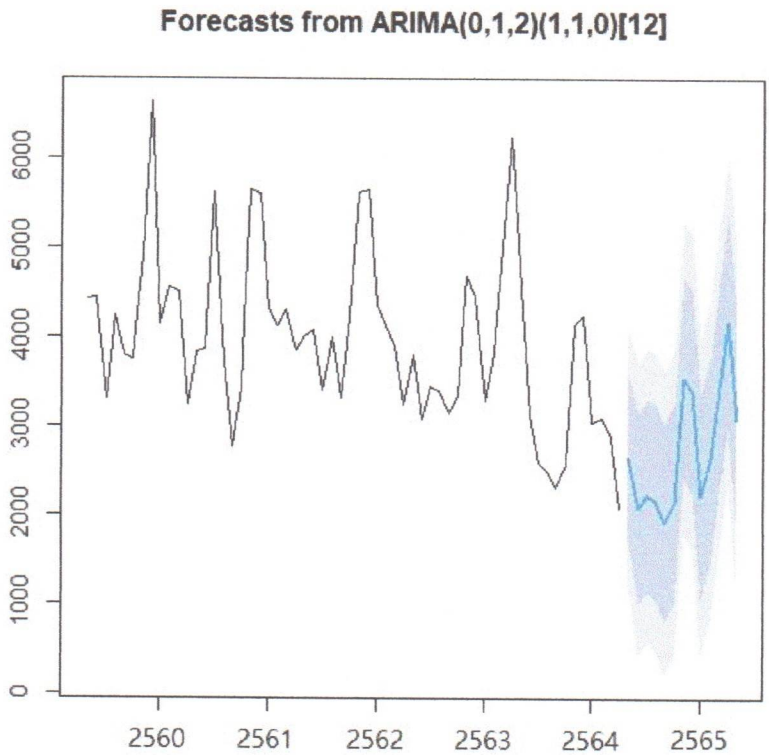
4.2 ผลการพยากรณ์และการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบที่ได้

ผลการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทยตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 จำนวน 7 คาบเวลา ด้วยตัวแบบ $ARIMA(0,1,0)(1,1,0)_{12}$ และตัวแบบ $ARIMA(0,1,2)(1,1,0)_{12}$ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4: การเปรียบเทียบค่าพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทย โดยใช้ 2 ตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ จำนวน 7 คาบเวลา (หน่วย ล้านบาท)

เดือน พ.ศ.	ค่าจริง	ค่าพยากรณ์ $ARIMA(0,1,0)(1,1,0)$	ค่าพยากรณ์ $ARIMA(0,1,2)(1,1,0)$
พ.ค.64	1909.86573	2054.3950	2659.277
มิ.ย.64	1864.97513	1130.5600	2087.498
ก.ค.64	2187.80205	1257.1135	2228.341
ส.ค.64	2813.43722	1191.1053	2163.053
ก.ย.64	2745.06594	948.0278	1918.556
ต.ค.64	2934.26976	1184.5736	2154.419
พ.ย.64	3938.51589	2574.9895	3540.988
$RMSE$		499.1507	**225.2027**

จากตารางที่ 4 สำหรับการพยากรณ์ในระยะสั้นของมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิรายเดือนในประเทศไทย จำนวน 6 คาบเวลาล่วงหน้า โดยใช้ตัวแบบ $ARIMA(0,1,2)(1,1,0)$ มีค่า $RMSE$ ต่ำสุด จึงเป็นตัวแบบที่เหมาะสม และได้ค่าพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิรายเดือน ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ.2564 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2565 เท่ากับ 2,438.7986 1,253.3184 1,661.5177 2,463.4124 3,164.5174 และ 1,916.8693 (หน่วย ล้านบาท) ตามลำดับ ดังรูป 4.5



รูปที่ 4.5: ค่าพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิรายเดือนในประเทศไทย จำนวน 6 คาบเวลาล่วงหน้า

5 สรุปผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการการศึกษา

การเคลื่อนไหวของมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 รวมทั้งสิ้น 67 เดือน ในทุก ๆ รอบปี อนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของประเทศไทย มีค่าขึ้น ๆ ลง ๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของการแปรผันตามฤดูกาล (seasonal component) และมีลักษณะไม่นิ่ง (non-stationary) ที่ไม่ชัดเจน จึงทำการแปลงข้อมูลมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของประเทศไทย โดยการหาผลต่างอันดับ 1 และผลต่างฤดูกาลอันดับ 1 จะได้ข้อมูลอนุกรมเวลามีลักษณะนิ่ง จากนั้นพิจารณากราฟของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (autocorrelation function: ACF) และกราฟของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial autocorrelation function: PACF) ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของประเทศไทยที่แปลงค่าแล้วสามารถกำหนดตัวแบบอนุกรมเวลาที่มีความเหมาะสมและตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบด้วยสถิติ Ljung - Box กับค่าเกณฑ์ AIC ต่ำสุด พบว่า ตัวแบบ $ARIMA(0,1,2)(1,1,0)_{12}$ มีเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ต่ำสุด จึงเป็นตัวแบบที่มีความเหมาะสมในการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทย

5.2 อภิปรายผลการศึกษา

ข้อมูลมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของประเทศไทย เป็นอนุกรมเวลาที่มีค่าขึ้น ๆ ลง ๆ ซึ่งจะอยู่ในช่วงเวลาสิ้นปีคือเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคมของทุกปี ซึ่งเป็นช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวข้าวจะมีมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิรายเดือนสูงกว่ามูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในเดือนอื่น ๆ ในรอบปีนั้น แต่สำหรับมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิรายเดือนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564 มีลักษณะผันผวนมากกว่าทุกปี และมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิรายเดือนของประเทศไทยไม่คงที่ ซึ่งเป็นอิทธิพลของฤดูกาล จากการศึกษาพบว่า ตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษานี้ คือ ตัวแบบ $ARIMA(0,1,2)(1,1,0)_{12}$ ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการศึกษา ของศศิธร โกฏสืบ และกัลยา บุญหล้า [8] ที่พบว่า ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ราคาข้าวหอมมะลิ 105 คือตัวแบบ $ARIMA(1,1,2)$ ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของชนิดข้อมูลและช่วงระยะเวลาข้อมูลที่มาสร้างตัวแบบ แต่จากการศึกษาการเคลื่อนไหวอนุกรมเวลาของมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของไทย ในปี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2562 มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ นิตินัย รุ่งจินดารัตน์ และศรัณย์ ทัศกานิเวศน์ [4] ที่ได้พยากรณ์ไว้ในอดีต ในการศึกษานี้ได้ทำการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิของไทย ในระยะเวลาต่อเนื่องจากการศึกษาของ นิตินัย รุ่งจินดารัตน์ และศรัณย์ ทัศกานิเวศน์ [4] ได้ข้อสังเกตจากการศึกษานี้ คือ ค่าพยากรณ์มูลค่าการส่งออก

ข้าวหอมมะลิสำหรับการพยากรณ์ระยะสั้น ณ ปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คาดการณ์ได้ว่าการส่งออกข้าวหอมมะลิจะส่งเสริมระบบเศรษฐกิจการค้าระหว่างประเทศได้ดีขึ้นกว่าเดิม จากการศึกษา มีการนำความรู้ด้านการพยากรณ์ไปใช้พยากรณ์เกี่ยวกับการผลิตข้าว ราคาข้าวเปลือก และราคาข้าวสาร ดังเช่นการศึกษาของ Khalid Khan, Gulawar Khan และ Sarfaraz Ahmed Shaikh [10] พบว่า ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์การผลิตข้าวในประเทศปากีสถาน คือ $ARIMA(2,1,1)$ และการศึกษาของ Fitri Ramadhani, Ketut Sukiyono และ Melli Suryanty [9] พบว่า ตัวแบบการพยากรณ์ ราคาข้าวเปลือกที่เหมาะสมในระดับชาวนา คือ $ARIMA(1,1,2)$ สำหรับราคาข้าวเปลือกที่เหมาะสมในระดับโรงสี คือ $ARIMA(1,1,2)$ และสำหรับราคาข้าวเปลือกที่เหมาะสมในระดับนานาชาติ คือ $ARIMA(3,1,7)$ แต่ในการศึกษานี้ พบว่า ตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิในประเทศไทยนั้นคือ $ARIMA(0,1,2)(1,1,0)_{12}$ ซึ่งผลการวิจัยสามารถนำไปเป็นข้อมูลช่วยในการวางแผนการผลิตข้าว และควบคุมปริมาณการผลิตข้าวให้มีความเหมาะสมกับความต้องการของตลาด จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถนำหลักการพยากรณ์ไปประยุกต์ใช้เกี่ยวกับข้อมูลธุรกิจอื่น ๆ ได้

6 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากคณาจารย์สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ได้ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย เพื่อให้นักศึกษาได้เพิ่มโอกาสทางการศึกษาและพัฒนาทักษะวิชาชีพด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ ดร.สมจิตร บุญเทียม และ ดร.ชนัญกาญจน์ แสงประสาน อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบคุณ อาจารย์จิรวัฒน์ กันทะโล ที่กรุณาปรับปรุงต้นฉบับบทความด้วย Latex และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ที่จัดการประชุมวิชาการในครั้งนี้ เพื่อเปิดโอกาสให้นักศึกษาได้นำเสนอผลงานวิจัยซึ่งเป็นประสบการณ์ตรง ที่มีความสำคัญในการพัฒนาตนเองด้านวิชาการอย่างยิ่ง

หนังสืออ้างอิง

[1] สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. (2564). *ข้อมูลเกี่ยวกับข้าว*. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2564, จาก http://www.thairiceexporters.or.th/rice_profile.htm

[2] ภัทราพร จีนโน และ กัญญ์สุดา นิ่มอนุสสรณ์กุล. (2559). *การพยากรณ์ราคาข้าวส่งออกของประเทศไทยโดยใช้แบบจำลอง ARIMA*. Economics Paper Network คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. https://www.econ.cmu.ac.th

[3] อริสรา เตชะเสนา และ อนุธิดา ติ๊บแก้ว. (2564). *การค้าข้าว*. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 พฤษภาคม 2564, จาก https://sites.google.com/site/2845goodrices/kar-kha-khaw.

[4] นิตินัย รุ่งจินดารัตน์ และ ศรัณย์ ทัศกานิเวศน์. (2562). การพยากรณ์อนุกรมเวลาด้วยวิธีแบบคลาสสิค : การส่งออกข้าวหอมมะลิของไทย. *วารสารวิทยาลัยดุสิตธานี* 13(2), 283-293.

[5] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2564). *สถิติการส่งออกข้าวหอมมะลิ*. สืบค้นเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2564 , จาก http://impexp.oae.go.th/service/export.php.

[6] อารีย์ รักษ์ธัญการ. (2561). *ปัจจัยที่มีอิทธิผลต่อปริมาณการส่งออกข้าวหอมมะลิไปยังตลาดโลก*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, คณะบริหารธุรกิจ, วิชาเอกธุรกิจระหว่างประเทศ.

[7] บุญกอง ทะกลโยธิน และ ยุพาภรณ์ อารีพงษ์. (2561). การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ราคาหุ้นโดยใช้แบบจำลองอารีมาและอารีแม็กซ์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ* 4(1), 44-55.

[8] ศศิธร โกฏสืบ และกัลยา บุญหล้า (2558).การสร้างตัวแบบเพื่อการพยากรณ์ราคาข้าวหอมมะลิ105. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์* 8(8), 49-60.

[9] Ramadhani, F., Sukiyono, K., & Suryanty, M. (2020). Forecasting of Paddy Grain and Rice's Price: An ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) Model Application. *SOCA : Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian,* 14(2), 224-239.

[10] Khan, K., Khan, G., Shaikh, S. A., Lodhi, A. S., & Jilani, G. (2015). ARIMA modelling for forecasting of rice production: A case study of Pakistan. *Lasbela University Journal of Sciences and Technology* 4(1), 117-120.

[11] Ohyver, M., & Pudjihastuti, H. (2018). Arima Model for Forecasting the Price of Medium Quality Rice to Anticipate Price Fluctuations. *Procedia Computer Science*, 135(2018), 707-711.

[12] Sultana, A., & Khanam, M. (2020). Forecasting Rice Production of Bangladesh Using ARIMA and Artificial Neural Network Models. *Dhaka Univ. J. Sci.* 68(2), 143-147.

[13] อนุสรณ์ บุญสง่า. (2559). *การพยากรณ์ความต้องการแว่นตา กรณีศึกษา : ร้านรักแว่น.*[การค้นคว้าอิสระวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีปทุม]

[14] อฤดี พันธ์นา. (2557). *การพยากรณ์ความต้องการสายพานรถยนต์และสายพานอุตสาหกรรมของลูกค้า : กลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนรถยนต์.* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา]

[15] ทิวาวัลย์ สมนา และ ทวีศักดิ์ จันทร์งาม. (2562). การวิเคราะห์ปัจจัยมลพิษทางอากาศและ เศรษฐกิจเชิงสังคมที่มีอิทธิพลต่อจำนวนผู้ป่วยโรค ระบบทางเดินหายใจในภาคเหนือด้วยตัวแบบ เชิงเส้นนัยทั่วไป, *การประชุมวิชาการระดับปริญญาตรีสาขาสถิติ ระดับชาติประจำปี ๒๕๖๒ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*. 24-35.

คณะกรรมการดำเนินงาน

คณะกรรมการดำเนินงานภายใน

ลำดับที่	ชื่อ-สกุล	มหาวิทยาลัย
1	รองศาสตราจารย์ ดร.สุภาวิณี สัตยาภรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
2	รองศาสตราจารย์ ดร.อิสระ อินทร์จันทร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
3	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระพล ขุนอาสา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
4	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรี มณีรัตน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
5	อาจารย์ ดร.พิศิษฐ์ นาคใจ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
6	อาจารย์ ดร.ธัชชัย อยู่ยิ่ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
7	อาจารย์ ดร.ดิเรก บัวหลวง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
8	อาจารย์ ดร.นภาภรณ์ จันทร์สี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
9	อาจารย์ ดร.นราวดี นวลสอาด	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
10	อาจารย์ ดร.สะอาด อยู่เย็น	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
11	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย มิ่งขวัญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
12	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไชยยา แซ่ยับ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
13	อาจารย์วิไลวรรณ รัตนกูล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
14	อาจารย์วรินสินี จันทะคุณ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

คณะกรรมการดำเนินงานภายนอก

ลำดับที่	ชื่อ-สกุล	มหาวิทยาลัย
1	รองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ รัตนสีหา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
2	รองศาสตราจารย์ อาดุลย์ จงรักษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
3	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชม ปานตา	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
4	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จุรี สุวรรณศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
5	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติพร ตังควิเวชกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
6	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเย็น ทองคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
7	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุไรลักษมณ์ สิงห์ทอง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
8	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
9	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ เสือนุ่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
10	อาจารย์ ดร.บรรชา นันจรัส	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
11	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉลองชัย กล้าณรงค์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินผลงาน

ผู้ทรงคุณวุฒิ Topic A : Analysis

ลำดับที่	ชื่อ-สกุล	มหาวิทยาลัย
1	อาจารย์ ดร.อำพล เลี้ยงพรม	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
2	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติพร ตังควิเวชกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
3	อาจารย์ ดร.ณัฐพล ปักการะนัง	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
4	รองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ รัตนสีหา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
5	อาจารย์ศุภมิตร พิมพ์ศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
6	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุไรลักษมณ์ สิงห์ทอง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
7	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
8	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ เสือนุ่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
9	อาจารย์ ดร.บรรชา นันจรัส	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
10	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จีระนันท์ คำภักดี	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
11	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉลองชัย กล้าณรงค์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
12	อาจารย์บุญญฤทธิ์ เงินคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

ผู้ทรงคุณวุฒิ Topic B : Algebra

ลำดับที่	ชื่อ-สกุล	มหาวิทยาลัย
1	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จุรี สุวรรณศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
2	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปิยะณัฐ พวงจำปา	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
3	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพล ภูมิลา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
4	ว่าที่ร้อยตรี ดร.พงษ์พันธ์ จุลทา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
5	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเย็น ทองคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
6	อาจารย์ ดร.ชัญญา ทิศกลาง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
7	รองศาสตราจารย์ ดร.นิรุตติ์ พิพรรธนจินดา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
8	อาจารย์ ดร.เชาวน์วัฒน์ มั่นยืน	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

9	อาจารย์ ดร.วีรพงษ์ วงศ์พินิจ	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
10	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ยา อนันตยเศรษฐี	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
11	อาจารย์ ดร.นเรศ สวัสดิ์รักษา	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

ผู้ทรงคุณวุฒิ Topic C : Applied Mathematics

ลำดับที่	ชื่อ-สกุล	มหาวิทยาลัย
1	อาจารย์ ดร.โกสุมภ์ จันทร์แสงกระจ่าง	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
2	รองศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ติ๊กจ๊ะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
3	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ โพนแก้ว	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
4	อาจารย์ ดร.หยาดพิรุณ ศุภรากรสกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
5	อาจารย์ศุภาวัลย์ นันตา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
6	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี ต่อวัฒนบุญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
7	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมถวิล ขันเขตต์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
8	อาจารย์ ดร.กฤติเดช จันทวารา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
9	อาจารย์ ดร.บุรัสกร นันทดิลก	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
10	ดร.ฐิติกาญจน์ มูลสาร	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
11	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันวิสา พวงมาลัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
12	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงลักษณ์ วิริยะพงษ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
13	อาจารย์ ดร.รุ่งรัตติกาล ม่วงไหม	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

ผู้ทรงคุณวุฒิ Topic D : Education Mathematics

ลำดับที่	ชื่อ-สกุล	มหาวิทยาลัย
1	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปิยะณัฐ พวงจำปา	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
2	อาจารย์ ดร.ประภิชญา สร้อยจิต	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
3	อาจารย์ ดร.อาวีพร ปานทอง	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
4	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีสิทธิ์ ปัญญายง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

0.2

Sci2.3-10

วารสารสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ
โครงการสัมมนาวิชาการและนำเสนอผลงานด้านคณิตศาสตร์ ครั้งที่ 9
ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

การทำเหมืองข้อมูลสำหรับจำแนกผู้ป่วยโรคเบาหวาน

สุนันทา แก้วดี [1], นริศรา นามสิงห์ษา[1], ประกาศิต เสนานาม [1] และ มงคล แสนสุข [1*]

[1]หลักสูตรวิทยาการข้อมูล สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกผู้ป่วยโรคเบาหวานซึ่งจะช่วยคัดกรองผู้ป่วยโรคเบาหวานในการไปพบแพทย์ มีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้ 1) รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวกับโรคเบาหวานจากเว็ปไซต์ Kaggle จำนวน 768 ข้อมูล 2) เตรียมข้อมูลโดยการปรับช่วงข้อมูล Min-Max Normalization และคัดเลือกคุณลักษณะด้วยเทคนิควิธีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 ประชากร 3) จำแนกข้อมูลโดยใช้เครื่องมือ RapidMiner Studio9 โดยเปรียบเทียบตัวจำแนกทั้งหมด 4 ตัวจำแนก คือ เทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ เทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เทคนิควิธีนาอีฟเบย์ และ เทคนิควิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียง จากผลการทดลองพบว่า การคัดเลือกคุณลักษณะด้วยเทคนิควิธีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 ประชากร โดยแบ่งข้อมูลแบบ 5-fold Cross Validation ร่วมกับการจำแนกแบบเทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุด คือ ร้อยละ 77.21

*Corresponding Author: Mongkolsaensuk@gmail.com

Keyword: Diabetes, Classification, Data Mining

AMS Classification: 68T01

1 บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกมีจำนวนผู้ป่วยโรคเบาหวานเพิ่มมากขึ้น จากข้อมูลขององค์กรอนามัยโลกพบว่าประชาชนในวัยผู้ใหญ่มีจำนวนผู้ที่ป่วยเป็นโรคเบาหวานทั่วโลกประมาณ 356 ล้านคน [1] ในประเทศไทยมีผู้ป่วยโรคเบาหวานที่อยู่ในระบบทะเบียน 3.2 ล้านคน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 3 แสนคนต่อปี ข้อมูลจากสำนักสื่อสารความเสี่ยงและพัฒนาพฤติกรรมสุขภาพ [2] โดยโรคเบาหวานส่งผลต่อร่างกายในการผลิตฮอร์โมนอินซูลิน ทำให้การผลิตคาร์โบไฮเดรตผิดปกติ น้ำตาลในเลือดสูงขึ้น ก่อให้เกิดอาการปัสสาวะบ่อย หิวบ่อย และกระหายน้ำ ผู้ที่ป่วยเป็นโรคเบาหวานหากไม่ได้รับการรักษาอาจทำให้เกิดโรคแทรกซ้อนเฉียบพลันได้ รุ่งโรจน์ บุญมา และคณะ [3] นำเสนอการสร้างแบบจำลองเหมืองข้อมูลสำหรับการจำแนกผู้ป่วยโรคเบาหวานและการคัดเลือกคุณลักษณะหรือลดมิติข้อมูล โดยใช้ความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ (Correlation Based Feature Selection : CFS) เพื่อช่วยคัดกรองผู้ป่วยโรคเบาหวานในเบื้องต้นในการไปพบแพทย์ โดยเปรียบเทียบโมเดลสำหรับจำแนกข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ เทคนิควิธีต้นไม้

ตัดสินใจ (Decision Tree) เทคนิควิธีนาอีฟเบย์ (Naïve Bayes) เทคนิควิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียง (K-Nearest Neighbor) และเทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) จากผลการทดลองพบว่าเทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มีประสิทธิภาพความถูกต้องสูงสุด Deepti และคณะ [4] นำเสนองานวิจัยการจำแนกประเภทผู้ป่วยโรคเบาหวานเพื่อช่วยให้ผู้ที่มีความเสี่ยงเป็นโรคเบาหวานสามารถคัดกรองตัวเองในเบื้องต้น ซึ่งได้พัฒนาเป็นระบบสำหรับการคัดกรองผู้ป่วยโรคเบาหวานระยะเริ่มต้นจากเทคนิควิธีการจำแนกข้อมูลที่ดีที่สุด จากผลการทดลองพบว่า เทคนิควิธีนาอีฟเบย์มีประสิทธิภาพความถูกต้องสูงที่สุด วิชญ์วิสิฐ เกสรสิทธิ์ และคณะ [5] นำเสนอการจำแนกการกลับมารักษาซ้ำของผู้ป่วยโรคเบาหวานในโรงพยาบาล โดยใช้ข้อมูลจาก UCI Machine Learning จำนวน 101,766 ข้อมูล ซึ่งมีคุณลักษณะจำนวน 33 คุณลักษณะ เพื่อวางแผนการบริหารงานบุคคลากรทางการแพทย์และสิ่งอำนวยความสะดวกรวมถึงช่วยลดค่าใช้จ่ายภาครัฐในการดูแลผู้ป่วย โดยเปรียบเทียบการจำแนกข้อมูล 2 เทคนิควิธีคือ เทคนิควิธีการถดถอยลอจิสติก (Logistic Regression) และ เทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ จากผลการทดลองพบว่าเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจมีค่าความถูกต้องสูงกว่าเทคนิควิธีการถดถอยลอจิสติก จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ พบว่า ต้องการจำแนกผู้ป่วยโรคเบาหวานในเบื้องต้น เพื่อคัดกรองผู้ป่วยโรคเบาหวานก่อนที่จะไปพบแพทย์ ซึ่งจะช่วยลดภาระของแพทย์ในการวินิจฉัยโรคเบาหวาน

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอกระบวนการในการจำแนกข้อมูลผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยใช้ข้อมูล Pima Indians Diabetes Database จากเว็บไซต์ Kaggle [6] ในการทดลองการจำแนก โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการเตรียมข้อมูลได้แก่ การปรับช่วงข้อมูล การคัดเลือกคุณลักษณะ และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวจำแนก อาทิ เทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ เทคนิควิธีนาอีฟเบย์ เทคนิควิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียง และเทคนิควิธีซัพพอร์ตเว็กเตอร์แมชชีน ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาการคัดกรองผู้ป่วยโรคเบาหวาน และลดภาระของแพทย์ในการวินิจฉัยโรคเบาหวาน

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหมืองข้อมูล (Data Mining)

การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) [7] คือ การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อค้นหาองค์ความรู้ที่แฝงอยู่ในชุดข้อมูลพื่อนำมาใช้ประโยชน์ ในบางครั้งอาจเป็นการค้นหารูปแบบ (Pattern) ความสัมพันธ์ของข้อมูล (Association) การแบ่งกลุ่มของข้อมูล (Clustering) หรือใช้ในการสร้างโมเดลเพื่อพยากรณ์ข้อมูลในอนาคต (Predictive Modeling) โดยอาศัยหลักการทางสถิติ การทำเหมืองข้อมูลแบ่งเป็นประเภทของการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ได้ 2 ประเภท คือ การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) และการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) เหมืองข้อมูลสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้งานหลายประเภท ทั้งด้านธุรกิจ ด้านการแพทย์ ด้านกีฬา ด้านเศรษฐกิจ และด้านสังคม การทำเหมือง

ข้อมูลยังมีขั้นตอนที่สำคัญหลายขั้นตอนเพื่อให้ได้ข้อมูลที่พร้อมนำไปวิเคราะห์ เช่น การเตรียมข้อมูลซึ่งประกอบด้วย การทำความสะอาดข้อมูล การปรับช่วงข้อมูล การคัดเลือกคุณลักษณะของข้อมูล เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ข้อมูล และการวัดประสิทธิภาพของโมเดล

2.1.1 การจำแนกประเภทข้อมูล

การจำแนกประเภทข้อมูล [7] เป็นกระบวนการสร้างโมเดลจากข้อมูลในอดีต เพื่อพยากรณ์ข้อมูลในอนาคต โดยนำข้อมูลมาแบ่งเป็นข้อมูลชุดสอน (Training Set) สำหรับสร้างโมเดล และชุดข้อมูลทดสอบ (Test Set) สำหรับทดสอบโมเดลเพื่อวัดประสิทธิภาพของโมเดล

1. เทคนิควิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Tree : DT)

เทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ [8] เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ข้อมูล เพื่อค้นหาแอททริบิวท์ (Attributes) หรือคุณลักษณะ (Features) ที่มีความสามารถในการจำแนกข้อมูลหรือคุณลักษณะที่มีผลต่อคลาสมากที่สุด เพื่อจัดลำดับคุณลักษณะที่มีความสำคัญ โมเดลต้นไม้ตัดสินใจแสดงแผนภาพต้นไม้ที่เริ่มจากรากและแตกแขนงออกไปเป็นกิ่งก้านใบ โดยโหนดภายใน คือคุณลักษณะ โหนดภายนอกคือคลาส และกิ่งคือค่าของข้อมูลภายในคุณลักษณะ ต้นไม้ตัดสินใจที่เหมาะในการคำนวณกับข้อมูลเชิงปริมาณนิยมใช้เทคนิค GainRatio ซึ่งจะต้องคำนวณค่า Information Gain และค่า Split Information

Information Gain คือการประเมินค่าเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลด้วยการคำนวณค่า Gain สำหรับแต่ละมิติข้อมูล ถ้ามิติข้อมูลใดมีค่า Gain สูงสุด จะถูกเลือกให้เป็นกลุ่มย่อยที่มีอำนาจจำแนก ดังสมการที่ 2.1 - 2.2

$$Entropy(p) = -\sum_{i=0}^{c-1} p(j|t)\log_2 p(j|t) \tag{2.1}$$

$$InformationGain = Entropy(p) - \Big(\sum_{i=1}^{k} \frac{n_i}{n} Entropy(i)\Big) \tag{2.2}$$

GainRatio เป็นการประเมินความน่าเชื่อถือของมิติข้อมูลโดยการวัด GainRatio ในแต่ละคลาส การคำนวณ GainRatio โดยใช้ค่า splitINFO ดังสมการที่ 2.3 - 2.4

$$splitINFO = -\sum_{i=1}^{k} \frac{n_i}{n}\log_2 \frac{n_i}{n} \tag{2.3}$$

$$GainRatio = \frac{\triangle INFO}{SplitINFO} \tag{2.4}$$

2. เทคนิควิธีนาอีฟเบย์ (Naive Bayes : NB)

เทคนิควิธีนาอีฟเบย์ [9] เป็นเทคนิควิธีการจำแนกข้อมูลโดยใช้หลักการความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขในการคำนวณความน่าจะเป็นของคลาสที่มีต่อคุณลักษณะต่าง ๆ ของข้อมูล เพื่อหาความน่าจะเป็นที่มากที่สุดในการพยากรณ์คลาสของข้อมูล โดยมีทฤษฎีของเบย์ ดังสมการที่ 2.5 และ โมเดลความน่าจะเป็นในการจำแนกข้อมูล ดังสมการที่ 2.6

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \tag{2.5}$$

โดยที่ $P(A|B)$ คือ ความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์ A จะเกิดขึ้นถ้าเหตุการณ์ B เกิดขึ้นแล้ว
$P(B|A)$ คือ ความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์ B จะเกิดขึ้นถ้าเหตุการณ์ A เกิดขึ้นแล้ว
$P(A)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการณ์ A
$P(B)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการณ์ B

$$\hat{y} = \arg\max p(C_k) \prod_{i=1}^{n} p(x_i|C_k) \tag{2.6}$$

โดยที่ $\hat{y}$ คือ ผลการทำนายของคลาส
$p(C_k)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ของคลาสลำดับที่ k
$p(x_i|C_k)$ คือ ความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุการณ์ x_i จะเกิดขึ้นถ้าเหตุการณ์ของคลาสลำดับที่ k เกิดขึ้นแล้ว

3. เทคนิควิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียง (K-Nearest Neighbors : K-NN)

เทคนิควิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียง [10] เป็นวิธีการจำแนกข้อมูลโดยอาศัยความคล้ายคลึงกันของข้อมูลจากระยะห่างโดยรวม ถ้าข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์มีระยะห่างโดยรวมใกล้เคียงกับคลาสใดมากที่สุดหรือมีระยะห่างน้อยที่สุด จะจำแนกข้อมูลดังกล่าวว่าเป็นคลาสนั้น ซึ่งจะต้องมีการกำหนดค่า k เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการระบุคลาสโดยส่วนใหญ่ถ้าคลาสเป็นจำนวนคู่จะระบุค่า k เป็นจำนวนคี่ เทคนิควิธีที่นิยมใช้ในการวัดระยะห่างระหว่างข้อมูลคือ Euclidean Distance ซึ่งเป็นเทคนิควิธีที่ใช้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์เหมาะกับข้อมูลเชิงปริมาณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดค่า k เพื่อใช้ค่า k ในการระบุจำนวนข้อมูลที่มีระยะห่างรวมน้อยที่สุดที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกข้อมูล

2) คำนวณระยะห่าง (Distance) ของข้อมูลที่ต้องการพิจารณากับกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง ดังสมการที่ 2.7

$$\text{Distance} = \sqrt{\sum_{k=1}^{n}(p_k - q_k)^2} \tag{2.7}$$

โดยที่ p_k คือ ข้อมูลเรียนรู้ ลำดับที่ k
q_k คือ ข้อมูลที่นำมาทดสอบ ลำดับที่ k

3) จัดเรียงลำดับของระยะห่าง และเลือกพิจารณาชุดข้อมูลที่ใกล้เคียงที่สุด ตามจำนวน k ข้อมูลที่กำหนดไว้

4) พิจารณาข้อมูลจำนวน k ชุด ที่ใกล้เคียงที่สุดและสังเกตว่ามีคลาสใดมากที่สุด เพื่อระบุคลาสของข้อมูลที่ต้องการทำนาย

4. เทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM)

เทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน [8] เป็นการจำแนกข้อมูลโดยอาศัยหลักการทำงานการสร้างเส้นแบ่งข้อมูล ที่จะใช้แบ่งข้อมูลออกเป็นคลาส หรือเรียกว่า Hyperplane โดยจะต้องระบุ เคอร์แนล (Kernal) เช่น เส้นตรง (Linear) ตามแนวรัศมี (Radio) หรือ ตามแนวโค้ง (Polynomial) โดยเส้นแบ่งที่ได้ต้องมีความสามารถในการแบ่งข้อมูลได้ดีที่สุดหรือมีระยะห่างระหว่างข้อมูลแต่ละคลาสมากที่สุด Hyperplane แบบเส้นตรงสามารถเขียนในแบบสมการเส้นตรงที่แสดงตัวแปร x_1 และ x_2 ได้ ดังสมการที่ 2.8

$$b + w_1x_1 + w_2x_2 = 0 \tag{2.8}$$

เส้นตรงที่ใช้แทน Boundary ที่อยู่เหนือเส้น Hyperplane สามารถเขียนในแบบสมการเส้นตรงได้ ดังสมการที่ 2.9

$$b + (w_1)(1) + (w_2)(2) = 1 \tag{2.9}$$

เส้นตรงที่ใช้แทน Boundary ที่อยู่ใต้เส้น Hyperplane สามารถเขียนในแบบสมการเส้นตรงได้ ดังสมการที่ 2.10

$$b + (w_1)(1) + (w_2)(2) = -1 \tag{2.10}$$

จากสมการที่ 2.8 - 2.10 อธิบายได้ว่า
w คือ เวกเตอร์น้ำหนัก
x_1 คือ เวกเตอร์ข้อมูลที่มีค่าเป็นบวก
x_2 คือ เวกเตอร์ข้อมูลที่มีค่าเป็นลบ
b คือ ค่า bias

2.2 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าแปรปรวนของ 2 ประชากร

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าแปรปรวนของ 2 ประชากร [11] เป็นการเปรียบเทียบค่าแปรปรวนของสองประชากร โดยมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. สำหรับการทดสอบแบบ 2 ด้าน

   $H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

   $H_1 = \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

2. สถิติทดสอบ ดังสมการที่ 2.11

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \tag{2.11}$$

3. เขตปฏิเสธ H_0 ดังสมการที่ 2.12 - 2.13

$$F \leq F_{1-\frac{\alpha}{2},n_1-1,n_2-1} \tag{2.12}$$

$$F \geq F_{1-\frac{\alpha}{2},n_1-1,n_2-1} \tag{2.13}$$

ที่องศาอิสระ $n_1 - 1$ และ $n_2 - 1$

2.3 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองประชากร ($\mu_1 - \mu_2$)

สำหรับการทดสอบแบบ 2 ด้าน

$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = d_0$

$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq d_0$

2.3.1 กรณีที่ไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 ทราบเพียงแต่ว่า $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

เมื่อทราบว่า σ_1^2 และ σ_2^2 มีค่าเท่าใด แต่ทราบว่ามีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$) นั่นคือ $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_p^2$ (Pooled Population Variance) จึงประมาณ σ_p^2 ด้วย S_p^2 ดังสมการที่ 2.14

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \tag{2.14}$$

ดังนั้น สถิติทดสอบ ดังสมการที่ 2.15

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_0}{S_p\sqrt{(1/n_1) + (1/n_2)}} \tag{2.15}$$

เขตปฏิเสธ $H_0 : |t| \geq t_{\alpha/2;n_1+n_2-2}$

2.3.2 กรณีที่ไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 แต่ทราบ $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

เมื่อไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 เป็นเท่าใด ทราบเพียงแต่ว่าไม่เท่ากัน ($\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$) จึงต้องประมาณค่าแปรปรวน σ_1^2 และ σ_2^2 แยกกันนั่นคือ ประมาณค่า σ_1^2 ด้วย S_1^2 และประมาณค่า σ_2^2 ด้วย S_2^2 $\frac{(\bar{X}_1-\bar{X}_2)-(\mu_1-\mu_2)}{\sqrt{(S_1^2/n_1)+(S_2^2/n_2)}}$ จะมีการแจกแจงแบบที ที่องศาอิสระ ν ดังสมการที่ 2.17 ตัวสถิติทดสอบ ดังสมการที่ 2.16

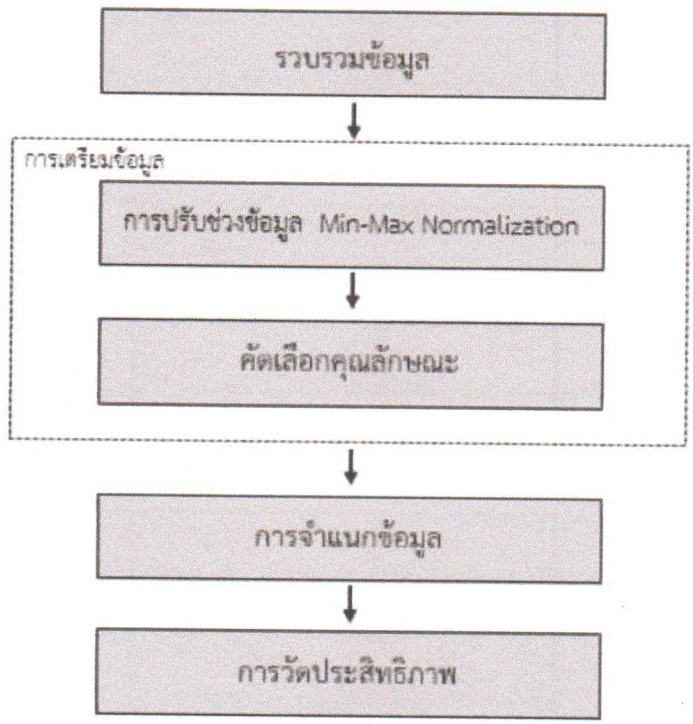
$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_0}{\sqrt{(S_1^2/n_1) + (S_2^2/n_2)}} \tag{2.16}$$

ซึ่งมีองศาอิสระ ν โดยที่

$$\nu = \frac{[(S_1^2/n_1) + (S_2^2/n_2)]^2}{\frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1-1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2-1}} \tag{2.17}$$

เขตปฏิเสธ $H_0 : |t| > t_{1-\alpha/2;\nu}$

3 วิธีดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

3.1 รวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูล Pima Indians Diabetes Database เป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับโรคเบาหวานจากเว็ปไซต์ kaggle เป็นข้อมูลสาธารณะ มีจำนวน 768 ข้อมูล และ 9 คุณลักษณะ (Features) ได้-แก่ การตั้งครรภ์ (Pregnancies) กลูโคส (Glucose) ความดันโลหิต (BloodPressure) ความหนาของผิว (SkinThickness) อินซูลิน (Insulin) ค่าดัชนีมวลกาย (BMI) ฟังก์ชันสายเลือดเบาหวาน (DiabetesPedigreeFunction) อายุ (Age) คุณลักษณะต่างๆ เป็นข้อมูลเชิงปริมาณและคุณลักษณะผลลัพธ์ (Outcome) ซึ่งเป็นคลาส (Class) ประกอบไปด้วย 1 เป็นโรคเบาหวาน 0 ไม่เป็นโรคเบาหวาน

3.2 การเตรียมข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองการเตรียมข้อมูลโดยนำชุดข้อมูล Pima Indians Disbetes Database มาทำการปรับช่วงข้อมูลด้วยเทคนิควิธี Min-Max Normalization เพื่อให้ได้ข้อมูลที่อยู่ในช่วงค่าเดียวกันซึ่งจะช่วยลดความโน้มเอียงของตัวจำแนก และทำการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยเทคนิควิธีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวนของ 2 ประชากร เพื่อคัดเลือกคุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับคลาสหรือผลลัพธ์ไปใช้ในการสร้างโมเดล โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 การปรับช่วงข้อมูล Min-Max Normalization

เนื่องจากชุดข้อมูล Pima Indians Disbetes Database มีช่วงค่าในแต่ละคุณลักษณะไม่เท่ากันซึ่งอาจจะมีผลต่อความโน้มเอียงของการจำแนกข้อมูลได้ ดังนั้น จึงต้องทำการปรับช่วงข้อมูลให้อยู่ในช่วงข้อมูลเดียวกันด้วยเทคนิควิธี Min-Max Normalization [12] เป็นการปรับช่วงข้อมูล ให้อยู่ในช่วง [0-1] ผลลัพธ์ที่ได้ของค่าน้อยที่สุดในคุณลักษณะจะมีค่าเป็น 0 และค่ามากที่สุดจะมีค่าเป็น 1 โดยมีสูตรการคำนวณ ดังสมการที่ 3.1

$$\nu'_{ij} = \frac{\nu_{ij} - min(x_j)}{max(x_j) - min(x_j)} \tag{3.1}$$

ν'_{ij} คือ ข้อมูลที่อยู่ในช่วงค่าใหม่
ν_{ij} คือ ข้อมูลเดิม
$min(x_j)$ คือ ค่าที่มากที่สุดของคุณลักษณะที่ j
$max(x_j)$ คือ ค่าที่น้อยที่สุดของคุณลักษณะที่ j

3.2.2 การคัดเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection)

การคัดเลือกคุณลักษณะ [14] คือ เทคนิคการลดจำนวนคุณลักษณะเพื่อลดขนาดของมิติข้อมูล โดยจะคัดเลือกคุณลักษณะที่เหมาะสมหรือคุณลักษณะที่มีอิทธิพลต่อคลาสมาใช้ในการสร้างโมเดล ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิควิธีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวนของ 2 ประชากร โดยใช้เครื่องมือ SPSS และทำการตรวจสอบค่า P-value ที่มีค่ามากกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าคุณลักษณะดังกล่าวมีค่าความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวนของ 2 ประชากรหรือยอมรับสมมติฐาน H_1 งานวิจัยนี้จะทำการคัดเลือกคุณลักษณะเหล่านี้ไปใช้ในการสร้างโมเดลส่วนคุณลักษณะใดที่ยอมรับสมมติฐาน H_0 หรือไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวนของ 2 ประชากรจะไม่ถูกนำไปสร้างโมเดล ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบสมมติฐานพบว่าคุณลักษณะ ความดันโลหิต มีค่าความแปรปรวน

ของประชากรในกลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวานและผู้ที่ไม่ป่วยโรคเบาหวานไม่แตกต่างกันหรือยอมรับสมมติฐาน H_0 ดังนั้นจึงไม่ได้นำคุณลักษณะความดันโลหิตไปสร้างโมเดล

3.3 การจำแนกข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองจำแนกข้อมูลโดยใช้เครื่องมือ RapidMiner Studio9 [15] และเปรียบเทียบตัวจำแนกต่างๆ ทั้งหมด 4 ตัวจำแนก ประกอบไปด้วย เทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ เทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เทคนิควิธีนาอีฟเบย์ และเทคนิควิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียง โดยนำข้อมูลมาแบ่งเป็นข้อมูลชุดสอน (Training Set) สำหรับสร้างโมเดล และชุดข้อมูลทดสอบ (Test Set) สำหรับทดสอบโมเดล ด้วยวิธี k-fold Cross Validation โดยจะทำการสร้างโมเดลและทดสอบโมเดลทั้งหมด k ครั้ง โดยการสุ่มข้อมูล ในการทดสอบโมเดลจะใช้การสุ่มข้อมูลที่ไม่ซ้ำกันจำนวน k ครั้ง ดังนั้นข้อมูลทุกข้อมุลจะถูกนำมาทดสอบโมเดล

3.4 การวัดประสิทธิภาพ

การวัดประสิทธิภาพ (Performance Measurement) [17] ได้นำข้อมูลทดสอบมาทดสอบกับแต่ละโมเดลเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำนายผลผู้ป่วยโรคเบาหวานโดยใช้ตาราง Confusion Matrix ดังตารางที่ 1 และวัดค่าประสิทธิภาพ ดังต่อไปนี้ การวัดค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความละลึก (Recall) และค่าความถูกต้อง (Accuracy) และดังสมการที่ 3.2 - 3.6

ตารางที่ 1: Confution Matrix

	Actually 1	Accually 0
Predicted 1	A	B
Predicted 0	C	D

A คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกต้องว่าเป็นคลาส 1
B คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดว่าเป็นคลาส 1 แต่ค่าความจริงคือคลาส 0
C คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดว่าเป็นคลาส 0 แต่ค่าความจริงคือคลาส 1
D คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกต้องว่าเป็นคลาส 0

3.4.1 ค่าความแม่นยำ เป็นการวัดความแม่นยำของโมเดล แยกทีละคลาส

ดังสมการที่ 3.2 - 3.3

$$Precision_1 = \frac{A}{A+B} \tag{3.2}$$

$$Precision_0 = \frac{D}{D+C} \tag{3.3}$$

3.4.2 ค่าความละลึก เป็นการวัดความถูกต้องของโมเดล แยกทีละคลาส

ดังสมการที่ 3.4 - 3.5

$$Recall_1 = \frac{A}{A+C} \tag{3.4}$$

$$Recall_0 = \frac{D}{D+B} \tag{3.5}$$

3.4.3 ค่าความถูกต้อง เป็นการวัดค่าความถูกต้องของโมเดล รวมทุกคลาส

ดังสมการที่ 3.6

$$Accuracy = \frac{A+D}{A+D+B+C} \tag{3.6}$$

4 สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองการจำแนกผู้ป่วยโรคเบาหวานโดยใช้ชุดข้อมูล Pima Indians Diabetes Database ซึ่งมีการปรับช่วงข้อมูล การคัดเลือกคุณลักษณะ และเปรียบเทียบตัวจำแนก 4 เทคนิควิธี ได้แก่ เทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ เทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เทคนิควิธีนาอีฟเบย์ และเทคนิควิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียง ซึ่งได้แบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง ดังนี้ 1) ข้อมูลเดิมและคัดเลือกคุณลักษณะ 2) ปรับช่วงข้อมูลและคัดเลือกคุณลักษณะ 3) ข้อมูลเดิมร่วมกับข้อมูลที่ปรับช่วงข้อมูลและคัดเลือกคุณลักษณะ โดยมีผลการทดลองดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2: ผลการทดลองที่ 1 ข้อมูลเดิมและคัดเลือกคุณลักษณะ

Classifiers	$Precision_1$		$Precision_0$		$Recall_1$		$Recall_0$		$Accuracy$	
	5-f	10-f	5-f	10-f	5-f	10-f	5-f	10-f	5-f	10-f
Decision Tree	63.75%	64.00%	72.70%	72.17%	38.06 %	35.82%	88.40%	89.20%	70.83%	70.57 %
K-Nearest Neighbors	59.92%	60.23%	77.33%	78.00%	56.34%	58.21%	79.80%	79.40%	71.61%	72.01%
Support Vector Machine	72.68%	71.57%	78.86%	78.37%	55.60%	54.48%	88.80%	88.40%	**77.21%**	76.56%
Naïve Bayes	66.67%	66.95%	79.28%	79.32%	58.96%	58.96%	84.20%	84.40%	75.39%	75.52%

จากตารางที่ 2 ผลการทดลองที่ 1 โดยใช้ข้อมูลเดิมร่วมกับการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยเทคนิควิธีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 ประชากร พบว่า การแบ่งข้อมูลแบบ 5-fold เทคนิควิธีการจำแนกซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดร้อยละ 77.21 ลำดับที่ 2 คือ เทคนิควิธีนาอีฟเบย์ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 75.39 ลำดับที่ 3 คือเทคนิควิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียง มีค่าความถูกต้องร้อยละ 71.61 และลำดับที่ 4 คือเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 70.83 ในการแบ่งข้อมูลแบบ 10-fold พบว่า เทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดร้อยละ 76.56 ลำดับที่ 2 คือเทคนิควิธีนาอีฟเบย์ คือค่าความถูกต้องร้อยละ 75.51 ลำดับที่ 3 คือเทคนิควิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียง มีค่าความถูกต้องร้อยละ 72.01 และลำดับที่ 4 คือเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 70.57

ตารางที่ 3: ผลการทดลองที่ 2 ปรับช่วงข้อมูลและคัดเลือกคุณลักษณะ

Classifiers	$Precision_0$		$Precision_0$		$Recall_1$		$Recall_0$		$Accuracy$	
	5-f	10-f	5-f	10-f	5-f	10-f	5-f	10-f	5-f	10-f
Decision Tree	63.75%	64.00%	72.70%	72.17%	38.06%	35.82%	88.40%	89.20%	70.83%	70.57%
K-Nearest Neighbors	62.23%	76.28%	77.01%	75.65%	54.10%	44.40%	82.40%	92.60%	72.53%	75.78%
Support Vector Machine	73.27%	72.00%	78.80%	78.17%	55.22%	53.73%	89.20%	88.80%	**77.34%**	76.56%
Naïve Bayes	66.67%	66.95%	79.28%	79.32%	58.96%	58.96%	84.20%	84.40%	75.39%	75.51%

จากตารางที่ 3 พบว่า การแบ่งข้อมูลแบบ 5-fold เทคนิควิธีการจำแนกซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดร้อยละ 77.34 ลำดับที่ 2 คือเทคนิควิธีนาอีฟเบย์ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 75.39 ลำดับที่ 3 คือเทคนิควิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียง มีค่าความถูกต้องร้อยละ 72.53 และลำดับที่ 4 คือคือเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 70.83 ในการแบ่งข้อมูลแบบ 10-fold พบว่า เทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดร้อยละ 76.56 ลำดับที่ 2 คือเทคนิควิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียง มีค่าความถูกต้องร้อยละ 75.78 ลำดับที่ 3 คือเทคนิควิธีนาอีฟเบย์ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 75.51 และลำดับที่ 4 คือเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 70.57

ตารางที่ 4: ผลการทดลองที่ 3 ข้อมูลเดิมร่วมกับข้อมูลที่ปรับช่วงข้อมูลและคัดเลือกคุณลักษณะ

Classifiers	$Precision_1$		$Precision_0$		$Recall_1$		$Recall_0$		*Accuracy*	
	5-f	10-f	5-f	10-f	5-f	10-f	5-f	10-f	5-f	10-f
Decision Tree	80.43%	79.31%	71.30%	70.78%	27.61%	25.75%	96.40%	96.40%	72.40%	71.74%
K-Nearest Neighbors	59.92%	60.30%	77.33%	78.64%	56.34%	60.07%	79.80%	78.80%	71.62%	72.27%
Support Vector Machine	72.12%	71.08%	78.93%	78.19%	55.97%	54.10%	88.40%	88.20%	**77.08%**	76.30%
Naïve Bayes	65.00%	65.50%	80.51%	80.59%	63.06%	63.06%	81.80%	82.20%	75.26%	75.52%

จากตารางที่ 4 ผลการทดลองที่ 3 โดยใช้ข้อมูลเดิมร่วมกับข้อมูลที่ปรับช่วงและทำการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยเทคนิควิธีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 ประชากร พบว่า การแบ่งข้อมูลแบบ 5-fold เทคนิควิธีการจำแนกซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดร้อยละ 77.08 และลำดับที่ 2 คือเทคนิควิธีนาอีฟเบย์ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 75.26 ลำดับที่ 3 คือเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 72.40 และลำดับที่ 4 คือเทคนิคเพื่อนบ้านใกล้เคียง มีค่าความถูกต้องร้อยละ 71.62 ในการแบ่งข้อมูลแบบ 10-fold พบว่าเทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มีค่าความถูกต้องร้อยละ 76.30 ลำดับที่ 2 คือเทคนิควิธีนาอีฟเบย์ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 75.52 ลำดับที่ 3 คือเทคนิคเพื่อนบ้านใกล้เคียง มีค่าความถูกต้องร้อยละ 72.27 และลำดับที่ 4 คือเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 71.74

การทดลองการจำแนกผู้ป่วยโรคเบาหวานจากผลการทดลองที่ 2 ปรับช่วงข้อมูลและคัดเลือกคุณลักษณะ แบ่งข้อมูลในการทดลองแบบ 5-fold Cross Validation เทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มีค่าความถูกต้องสูงสุด คือ ร้อยละ 77.34

5 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณาจารย์สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เป็นอย่างยิ่งที่ให้ความรู้ และอำนวยความสะดวกในสถานปฏิบัติงานวิจัย

หนังสืออ้างอิง

[1] อัจฉรา สุวรรณนาคินทร์, คู่มือ การ พยาบาล การ ดูแล เท้า เพื่อ ป้องกัน การ เกิด แผล ใน ผู้ เป็น เบาหวาน:คณะ แพทย์ศาสตร์ศิริราช พยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล. (2559). สืบค้น จาก https://www2.si.mahidol.ac.th/division/nursing

[2] กรม ความ คุม โรค. (2564). สำนัก สื่อสาร ความ เสี่ยง และ พัฒนา พฤติกรรม สุขภาพ. สืบค้น จาก https://ddc.moph.go.th/brc/news.php?news=21692&deptcode=brc

[3] รุ่งโรจน์ บุญมา และ นิเวศ จิระวิชิตชัย, การจำแนกประเภทผู้ป่วยโรคเบาหวานโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลและการเลือกคุณลักษณะจากความสัมพันธ์ของข้อมูล, วารสารชายน์เทค มรภ. ภูเก็ต, 11-19 (2019).

[4] D. Sisodia and D. sing Sisodia, Prediction of Diabetes using Classification Algorithms, International Conference on Computational Intelligence and Data Science India, 1578–1585 (2018).

[5] วิชญ์วิสิฐ เกษรสิทธิ์ จิราวัลย์ จิตรถเวช และ วิชิต หล่อจีระชุณห์กุล, การลดจำนวนกลุ่มในการจำแนกแบบหลายกลุ่มเป็นสองกลุ่มสำหรับการจำแนกการกลับมารักษาซ้ำในโรงพยาบาลของผู้ป่วยโรคเบาหวาน, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 41-51 (2563).

[6] UCI Machine Learning. (2017). Pima Indians Diabetes Database. สืบค้นจาก https://www.kaggle.com/datasets/uciml/pima-indians-diabetes-database

[7] นพมาศ ปักเข็ม ชนิดา จันมณีย์ และ ศิวกร อุยสุย, การจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทยแบบอัตโนมัติโดยวิธีการทางเหมืองข้อมูล, วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 300 – 307 (2560).

[8] กิตติพงศ์ ชมบุญ, หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (2555).

การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน

2D animated cartoons of ants and pupa for hearing-impaired students

อชิรญา คำลือ[1*] โสภิดา เชื้อคำจันทร์[2] สุธิรา จันทร์ปุ่ม[3] และพิเชนทร์ จันทร์ปุ่ม[4]

Achiraya Khamlue[1*] Sopida Chuekhamjan[2] Suthira Junpoom[3] Pichain Junpoom[4]

สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

Achiraya.lu61@snru.ac.th*, Sopida.ch61@snru.ac.th, suthira@snru.ac.th, pichain@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน 2) ประเมินคุณภาพของการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน และ 3) ประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่มีต่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จำนวน 20 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน แบบประเมินคุณภาพของการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ และแบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่มีต่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ

ผลการวิจัยพบว่า 1) การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน ที่พัฒนาประกอบด้วย ตัวการ์ตูน ภาพพื้นหลัง เสียงบรรยาย ข้อความ และวิดีโอล่ามภาษามือ 2) ผลการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า คุณภาพของการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ โดยรวม อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.22, S.D. = 0.31) และ 3) ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่มีต่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ พบว่า นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินมีความพึงพอใจ โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.67, S.D. = 0.64)

คำสำคัญ: การ์ตูนแอนิเมชัน, 2 มิติ, นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน

ABSTRACT

The purposes of the research were to 1) developed 2D animated cartoons of ants and pupa for hearing-impaired students, to 2) assess the quality of 2D animated cartoons of ant and pupa for hearing-impaired students, and to 3) assess the satisfaction of the hearing-impaired students towards the 2D animated cartoons of ant and pupa The target group was hearing-impaired students Sakon Nakhon Rajabhat University: 20 persons. The instruments were 2D animated of ants and pupa for hearing-impaired students, an assessment form for 2D animation, and an assessment form for satisfaction with 2D Animation. The statistics used in the study were mean and standard deviation

The research findings showed that the 1) 2D animated cartoons of ants and pupa for hearing-impaired students consist: Cartoon characters, background images, audio commentary, text and sign language videos, 2) The results of an expert evaluation showed that the quality of 2D animations was at a high level, and 3) The results of the assessment of the satisfaction of hearing-impaired students on 2D animations was the highest level ($\bar{x}$ = 4.67, S.D. = 0.64)

Keywords: animated cartoons, 2D, hearing-impaired students

บทนำ

ปัจจุบันคนไทยส่วนใหญ่ยังไม่มีความเข้าใจโลกของผู้บกพร่องทางการได้ยินมากนัก ผู้ที่มีการได้ยินที่สามารถใช้ภาษามือหรือผู้ที่เข้าใจวัฒนธรรมของผู้บกพร่องทางการได้ยินมีอยู่อย่างจำกัด โดยมากมักเป็นผู้ที่มีส่วนใกล้ชิดกับผู้บกพร่องทางการได้ยิน เป็นเพื่อนหรือเป็นผู้ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาของผู้บกพร่องทางการได้ยินเท่านั้นที่จะเข้าใจปัญหาและอยากเรียนรู้ภาษามือ เพื่อใช้ในการสื่อสารกับผู้บกพร่องทางการได้ยิน สำหรับสถานะของผู้บกพร่องทางการได้ยินในประเทศไทย นอกจากจะมีสถานะเหมือนชนกลุ่มน้อยแล้ว ยังมีสถานะเป็นกลุ่มคนพิการ (Disabled Group) ในทางสังคมไทยคุณภาพชีวิตของผู้บกพร่องทางการได้ยินยังอยู่ในขั้นการพัฒนา มุมมองและทัศนคติที่มีต่อผู้บกพร่องทางการได้ยินในสังคมไทย ยังไม่เป็นที่ยอมรับหรือได้รับความเสมอภาค เท่าเทียมโดยเฉพาะในด้านการศึกษาที่ตัวเลือก และโอกาสสำหรับผู้บกพร่องทางการได้ยินยังมีอยู่อย่างจำกัด (ศศิวิมล คงสุวรรณ และเบญจมาภรณ์ ฤาไชย, 2563)

การพัฒนาสื่อการเรียนสำหรับผู้บกพร่องทางการได้ยิน จะต้องพิจารณาพฤติกรรม และปัญหาของผู้บกพร่องทางการได้ยิน โดยผู้บกพร่องการได้ยินมีปัญหาด้านการสื่อสารและภาษา ไม่ว่าจะเป็น ปัญหาการปฏิบัติตามคำสั่ง ปัญหาทักษะการพูดและการใช้ภาษา และปัญหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (วรเดช มีแสงรุทรกุล พระมหาสุพร รกฺขิตธมฺโม และเบญจมาศ สุวรรณวงศ์, 2564) การนำเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์มาใช้ในการพัฒนาสื่อการเรียนรู้สำหรับผู้บกพร่องทางการได้ยิน โดยการประยุกต์เอาความสามารถของคอมพิวเตอร์มาช่วยในการผลิตสื่อโดยใช้ซอฟต์แวร์กราฟกทำภาพการ์ตูนให้เป็นภาพเคลื่อนไหว โดยการใชเทคนิคภาพที่เรียกวา“แอนิเมชัน” (Animation) การนำสื่อแอนิเมชันมาใชในการจัดการเรียนการสอน จำเป็นตอการเรียนรูของผู้เรียนอย่างยิ่ง เพราะการใช้สื่อแอนิเมชันในจัดการเรียนการสอนนั้นจะเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้รับประสบการณอย่างกว้างขวางและเพิ่มศักยภาพในการเรียนรูของผู้เรียนที่ได้เรียนรู้จากคำบอกเล่าของผู้สอนเพียงอย่างเดียว ทำให้ผู้เรียนไม่เกิดความเบื่อหน่ายตอการเรียน ผู้สอนต้องพัฒนาสื่อแอนิเมชันการเรียนรูให้มีความนาสนใจและทันสมัยมากยิ่งขึ้น (ธนกร สายปัญญา ณัฐพงศ แสงเมือง และสุภาพร กุศล, 2563)

จากเหตุผลที่กล่าวมา ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน โดยเลือกนิทานอีสป เรื่อง มดกับดักแด้ เพราะมีคติสอนใจว่า “ไม่ควรตัดสินคุณค่าของผู้อื่นจากรูปลักษณ์ภายนอก” ช่วยส่งเสริมแนวคิดเรื่องการมองคนให้กับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน เป็นวิธีการสอน เพื่อสื่อสารกับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน ผ่านการเล่านิทานที่นำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยทำให้นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน มีความรู้เข้าใจเนื้อเรื่องจากวิดีโอล่ามภาษามือ และได้รับความสนุกสนานจากการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ ที่พัฒนา

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน
2. เพื่อประเมินคุณภาพของการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่มีต่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุนทรี ศรีสะอาด สราวุธ แผลงศร และอนุชาติ บุญมาก (2562) ทำการวิจัยเรื่อง การใช้ซอฟต์แวร์ประยุกต์สร้างการ์ตูนร่วมกับเรื่องเล่าดิจิทัลเพื่อพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์สำหรับนักเรียนโสตศึกษา

ผลการวิจัยพบว่านักเรียนสามารถใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่บันทึกขั้นตอนการสร้างการ์ตูนสำหรับบอกเล่าเรื่องการสร้างการ์ตูนอย่างละเอียด นักเรียนสมรรถนะทางการสื่อสารของนักเรียนโสตศึกษา หลังการใช้ซอฟต์แวร์ประยุกต์สูงกว่าก่อนใช้ และ นักเรียนมีพึงพอใจการใช้โปรแกรมประยุกต์ อยู่ในระดับมากที่สุด

กฤชกร ศรีศาลา และปิยศักดิ์ ถีอาสนา (2563) ได้ศึกษาเรื่อง การพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง วาฬ 52 Hz

ผลการศึกษาพบว่า สื่อการ์ตูนประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.36, S.D. = 0.58) และกลุ่มเป้าหมายมีความพึงพอใจ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.41, S.D. = 0.54)

สหรัฐ ศรีคราม และอภิดา รุณวาทย์ (2564) ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง Unknown

ผลการศึกษาพบว่า ผลการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.20, S.D. = 0.81) 2) ความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมายอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.46, S.D. = 0.71)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน เนื้อหานิทาน เรื่อง มดกับดักแด้ และวิธีการใช้เครื่องมือ ซอฟต์แวร์ที่จะใช้ในการพัฒนาแอนิเมชัน

1.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในขั้นที่ 1 โดยวิเคราะห์ เนื้อหานิทาน เรื่อง มดกับดักแด้

1.3 ออกแบบองค์ประกอบของการ์ตูนแอนิเมชัน ได้แก่ ตัวการ์ตูน มด ดักแด้ ผีเสื้อ ฉาก และออกแบบ storyboard

1.4 พัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ โดยเริ่มจาก สร้างตัวการ์ตูน สร้างฉาก สร้างแอนิเมชัน บันทึกเสียง บันทึกวิดีโอล่ามภาษามือ นำไปตัดต่อแล้วจัดทำแอนิเมชัน นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพ แล้วปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

1.5 เก็บรวบรวมข้อมูล สรุป วิเคราะห์ และจัดทำคู่มือการใช้งาน

2. เครื่องมือการวิจัย

2.1 การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน

2.2 แบบประเมินคุณภาพการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน

2.3 แบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่มีต่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้

3. กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย คือ นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จำนวน 20 คน

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (อัญญปารย ศิลปนิลมาลย, 2558, น.105) ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 – 5.00	หมายความว่า	ระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.50 – 4.49	หมายความว่า	ระดับมาก
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.50 – 3.49	หมายความว่า	ระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.50 – 2.49	หมายความว่า	ระดับน้อย
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.49	หมายความว่า	ระดับน้อยที่สุด

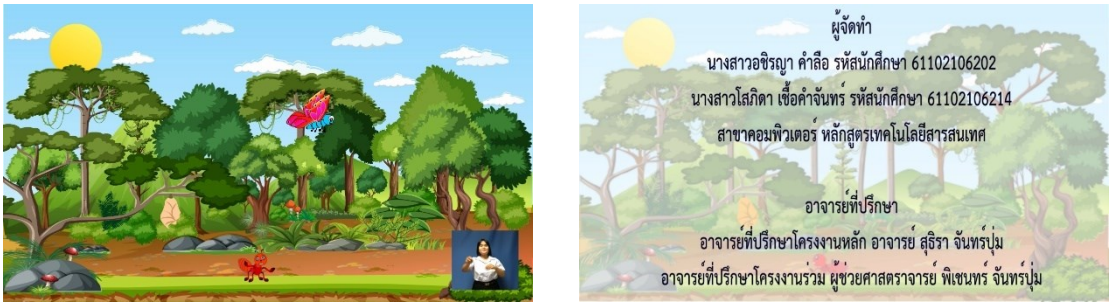
ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน ตามขั้นตอนการวิจัยในระยะที่ 1 โดยนำข้อมูลจากการศึกษา และวิเคราะห์ มาจัดทำการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน แสดงดังภาพที่ 1-2

ภาพที่ 1 ตัวการ์ตูนในเรื่อง มดกับดักแด้

จากภาพที่ 1 แสดงภาพของตัวการ์ตูนในเรื่อง มดกับดักแด้ ซึ่งมี 3 ภาพ คือ มด ดักแด้ และผีเสื้อ



ภาพที่ 2 การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน

จากภาพที่ 2 แสดงภาพ การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน ที่สร้างขึ้น ที่แสดงให้ให้องค์ประกอบต่างๆ ประกอบด้วย ตัวการ์ตูน ภาพพื้นหลัง ข้อความ และวิดีโอล่ามภาษามือ

2. ผลการประเมินคุณภาพการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน

ผู้วิจัยดำเนินการนำการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน ที่พัฒนาขึ้นมาให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ทำการประเมินหาคุณภาพของการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ จากนั้นนำผลการประเมินคุณภาพมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ด้านเนื้อหา	4.25	0.29	ระดับมาก
2. ด้านภาพและวิดีโอล่ามภาษามือ	4.00	0.19	ระดับมาก
3. ด้านเทคนิคของแอนิเมชัน	4.39	0.39	ระดับมาก
โดยรวม	**4.21**	**0.29**	**ระดับมาก**

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นต่อคุณภาพของการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ ที่พัฒนาขึ้น โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.21, S.D. = 0.29) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน ด้านเทคนิคของแอนิเมชัน มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 4.39 รองลงมา คือ ด้านเนื้อหา มีค่าเฉลี่ย 4.25 และด้านภาพและวิดีโอล่ามภาษามือ มีค่าเฉลี่ย 4.00 ตามลำดับ

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่มีต่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้

ผู้วิจัยดำเนินการ นำการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติที่ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ มาให้นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินรับชม หลังจากที่ได้ชมการ์ตูนจบแล้ว ได้ทำการแจกแบบสอบถามความพึงพอใจ จากนั้นนำผลการสอบถามมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่มีต่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. เนื้อเรื่องมีความน่าสนใจ ชวนให้ติดตาม	4.75	0.54	ระดับมากที่สุด
2. การดำเนินเรื่องเข้าใจง่าย	4.55	0.80	ระดับมากที่สุด
3. ตัวละครและฉากมีความเหมาะสม	4.70	0.56	ระดับมากที่สุด
4. ความเหมาะสมในการจัดวางฉาก	4.70	0.71	ระดับมากที่สุด
5. ความเหมาะสมของสีที่ใช้	4.65	0.65	ระดับมากที่สุด
6. การลำดับภาพมีความเหมาะสม	4.75	0.43	ระดับมากที่สุด
7. การเคลื่อนไหวของตัวละครมีความต่อเนื่อง	4.70	0.56	ระดับมากที่สุด
8. ความเหมาะสมของวิดีโอล่ามภาษามือ	4.65	0.65	ระดับมากที่สุด
9. ระยะเวลามีความเหมาะสม	4.65	0.65	ระดับมากที่สุด
10. ได้รับความบันเทิงจากการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้	4.60	0.80	ระดับมากที่สุด
โดยรวม	**4.67**	**0.64**	**ระดับมากที่สุด**

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่มีต่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ พบว่า นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.67, S.D. = 0.64) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินมีความพึงพอใจสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.75 ได้แก่ เนื้อเรื่องมีความน่าสนใจ ชวนให้ติดตาม และการลำดับภาพมีความเหมาะสม รองลงมา ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.70 ได้แก่ ตัวละครและฉากมีความเหมาะสม ความเหมาะสมในการจัดวางฉาก การเคลื่อนไหวของตัวละครมีความต่อเนื่อง และข้ออื่นๆ ตามลำดับ

อภิปรายผลการวิจัย

1. การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน ประกอบด้วยองค์ประกอบดังนี้ ตัวการ์ตูน ภาพพื้นหลัง ข้อความ และวิดีโอล่ามภาษามือ ทั้งนี้เนื่องจากการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ มีองค์ประกอบของตัวการ์ตูน ภาพ วิดีโอล่ามภาษามือ ส่งผลให้นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อเรื่อง สอดคล้องกับ สุนทรี ศรีสะอาด สราวุธ แผลงศร และอนุชาติ บุญมาก (2562) ได้วิจัยเรื่อง การใช้ซอฟต์แวร์ประยุกต์สร้างการ์ตูนร่วมกับเรื่องเล่าดิจิทัลเพื่อพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์สำหรับนักเรียนโสตศึกษา พบว่า 1) การใช้ซอฟต์แวร์ประยุกต์สร้างการ์ตูนร่วมกับเรื่องเล่าดิจิทัลเพื่อพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนโสตศึกษา พบว่านักเรียนสามารถใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่บันทึกขั้นตอนการสร้างการ์ตูนสำหรับบอกเล่าเรื่องการสร้างการ์ตูนอย่างละเอียด ตั้งแต่เริ่มต้นจนได้ตัวการ์ตูนตามที่ออกแบบไว้ในสตอรีบอร์ด 2) สมรรถนะทางการสื่อสารของนักเรียนโสตศึกษา หลังการใช้ซอฟต์แวร์ประยุกต์สร้างการ์ตูนร่วมกับเรื่องเล่าดิจิทัลของนักเรียนสูงกว่าก่อนใช้ 3) ผลการประเมินความพึงพอใจการใช้โปรแกรมประยุกต์สร้างการ์ตูนร่วมกับเรื่องเล่าดิจิทัลเพื่อพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน พบว่ามีค่าสถิติ เท่ากับ 4.57 และ S.D. เท่ากับ 0.65 อยู่ในระดับมากที่สุด

2. ผลการประเมินคุณภาพการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน พบว่า ผู้เชี่ยวชาญ มีความคิดเห็นต่อคุณภาพของประเมินคุณภาพการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน โดยรวมอยู่ในระดับมาก สอดคล้องกับ กฤชกร ศรีศาลา และปิยศักดิ์ ถีอาสนา (2563) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง วาฬ 52 Hz พบว่า สื่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง วาฬ 52 Hz ที่พัฒนาขึ้น มีความยาว 3.26 นาที ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นต่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ มีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.36, S.D. = 0.58)

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่มีต่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง มดกับดักแด้ พบว่า นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินมีความพึงพอใจ โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด สอดคล้องกับ สหรัฐ ศรีคราม และอภิดา รุณวาทย์ (2564) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง Unknown พบว่า ความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมายที่มีต่อแอนิเมชัน 2 มิติ ที่พัฒนาขึ้นโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.46, S.D. = 0.71)

ข้อเสนอแนะ

1.ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการศึกษาไปใช้

- นำการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่องมดกับดักแด้ ไปให้กับโรงเรียนโสตศึกษา หรือโรงเรียนที่มีผู้บกพร่องทางการได้ยิน
- ควรนำการ์ตูนแอนิเมชันที่พัฒนาเสร็จแล้วไปเผยแพรผานทางเว็บไซตที่ไดรับความนิยม เชน ยูทูป

2.ข้อเสนอแนะในการทำพัฒนาครั้งต่อไป

ควรมีการศึกษารูปแบบการนำเสนออื่นๆ หรือเทคนิคอื่นๆ ของงานแอนิเมชัน เพื่อให้มีความสมจริง กระตุ้นความสนใจ และความเหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย

เอกสารอ้างอิง

กฤชกร ศรีศาลา และปิยศักดิ์ ถีอาสนา. (2563). การพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง วาฬ 52 Hz. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ การจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่* 6, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.

ธนกร สายปัญญา ณัฐพงศ แสงเมือง และสุภาพร กุศล. (2563). สื่อแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง ข้อมูลและการรับรู้ข้อมูล. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ การจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม* ครั้งที่ 6, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.

วรเดช มีแสงรุทรกุล พระมหาสุพร รกฺขิตธมฺโม และเบญจมาศ สุวรรณวงศ์. (2564). การพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมคุณธรรมและจริยธรรมผ่านชาดก สำหรับผู้พิการทางการได้ยิน ณ ศูนย์การศึกษาพิเศษของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. *Journal of Modern Learning Development,* 6(2), 158-168.

ศศิวิมล คงสุวรรณ และเบญจมาภรณ์ ฤาไชย. (2563). การเรียนการสอนสำหรับคนหูหนวกในประเทศไทย : สภาพปัญหา รูปแบบ และกระบวนการสอนแบบสองภาษา. *วารสารมังรายสาร สถาบันภาษาและวัฒนธรรมนานาชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย,* 8(1), 1-14.

สหรัฐ ศรีคราม และอภิดา รุณวาทย์. (2564). การพัฒนาแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง Unknown. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ การจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่* 7, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.

สุนทรี ศรีสะอาด สราวุธ แผลงศร และอนุชาติ บุญมาก. (2562). การใช้ซอฟต์แวร์ประยุกต์สร้างการ์ตูนร่วมกับเรื่องเล่าดิจิทัลเพื่อพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์สำหรับนักเรียนโสตศึกษา. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ การจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่* 5, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.

อัญญปารย์ ศิลปะนิลมาลย์. (2558). *การพัฒนาซอฟต์แวร์ทางการศึกษาตามรูปแบบ ADDIE.* ขอนแก่น: โรงพิมพ์แอนนาออฟเซต

แอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน

Application on planets in the solar system for hearing-impaired students

ศิริชัย จันทรักษ์[1*] กาญจนศิริ หอมไกรลาศ[2] พิเชนทร์ จันทร์ปุ่ม[3] และสุธิรา จันทร์ปุ่ม[4]

Sirichai Chantharak[1*] Kanchanasiri Homkrailat[2] Pichain Junpoom[3] Suthira Junpoom[4]

สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

Sirichai.ch61@snru.ac.th*, Kanjanasiri.ho61@snru.ac.th, pichain@snru.ac.th, suthira@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน 2) ศึกษาความเหมาะสมของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น และ 3) ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่มีต่อแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จำนวน 20 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ 1) แอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน 2) แบบประเมินความเหมาะสมของแอปพลิเคชัน และ 3) แบบประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชัน สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า 1) แอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน ที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย หน้าแรก หน้าเมนูหลัก หน้าเมนูดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ หน้าเนื้อหา หน้าอ้างอิง และหน้าข้อมูลผู้พัฒนาแอปพลิเคชัน 2) ศึกษาความเหมาะสมของแอปพลิเคชัน พบว่า ความเหมาะสมโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$= 4.04, S.D. = 0.57) และ 3) ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่มีต่อแอปพลิเคชัน พบว่า ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$= 4.43, S.D. = 0.67)

คำสำคัญ: แอปพลิเคชัน, ภาษามือ, บกพร่องทางการได้ยิน

ABSTRACT

The purposes of the research were to develop an application on planets in the solar system for hearing-impaired students, to 2) study the suitability of developed applications, and to 3) study the satisfaction of hearing-impaired students on the application planets in the solar system. The target group was hearing-impaired students Sakon Nakhon Rajabhat University: 20 persons. The research instruments were 1) applications on planets in the solar system for hearing-impaired students, 2) application suitability assessment form, and 3) application satisfaction assessment. The statistics used in the research include average, percentage, and standard deviation.

The research findings showed that the 1) application on planets in the solar system for hearing-impaired students developed includes the homepage, main menu page, planet menu page in the solar system, content page, reference page, and application developer information page, 2) study of application suitability found that overall suitability is very high ($\bar{x}$= 4.04, S.D. = 0.57) and 3) results of hearing-impaired student satisfaction on applications It found that overall satisfaction was very high ($\bar{x}$= 4.43, S.D. = 0.67)

Keywords: application, sign language, hearing-impaired

บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน ทำให้การเรียนการสอนมีการนำเอาเทคโนโลยีเข้ามาเกี่ยวข้องในรูปแบบของสื่อต่าง ๆ ทั้งวิดีทัศน์ คอมพิวเตอร์ช่วยสอน รวมไปถึงแอปพลิเคชัน สื่อการเรียนรู้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ด้วยเทคนิคทางด้านการพัฒนาสื่อการสอน กลายมาเป็นแอปพลิเคชันที่สามารถดาวน์โหลดมาใช้งาน และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ งานในการจัดการเรียนการสอน หรือเป็นสื่อเสริมการเรียนรู้ได้ โดยการใช้สื่อให้เหมาะสมกับผู้เรียนจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นอีกช่องทางที่ทำให้การเรียนรู้ไม่จำกัดอยู่แต่ภายในห้องเรียน อีกทั้งยังสะดวกสามารถทบทวนบทเรียนได้ทุกที่ตามต้องการ (ชินวัจน์ งามวรรณากร, 2562)

คนที่มีความบกพร่องทางการได้ยินนั้นจะไม่ได้ยินเสียงพูดเหมือนคนปกติ จึงไม่สามารถพูดได้ แต่คนเหล่านี้มีสายตาที่ปกติ จึงสามารถมองเห็นกิริยาอาการ ท่าทางการเคลื่อนไหวต่าง ๆ ได้เหมือนคนปกติ โดยภาพต่าง ๆ ที่คนที่มีความบกพร่องทางการได้ยินมองเห็นนั้นจะเป็นสื่อกลางที่ทำให้พวก เขาเรียนรู้ความหมาย ซึ่งแม้จะเข้าใจความหมายได้ไม่มากหรือไม่ลึกซึ้งนัก ภาพต่าง ๆ ที่พวกเขาได้เรียนรู้นั้นมีอิทธิพลในการผลักดันให้พวกเขาพยายามใช้ท่าทาง ร่างกาย และสีหน้า เพื่อแสดงความรู้สึกภายใน ให้ผู้อื่นเข้าใจความต้องการของพวกเขา โดยท่าทางที่คนที่มีความบกพร่องทางการได้ยินแสดงออกมานั้นจะสังเกตได้ว่าเป็น ท่าทางที่เลียนแบบธรรมชาติมากที่สุด และจากท่าทางธรรมชาติเหล่านี้ได้มีการพัฒนาเป็นการใช้มือทำท่าทางต่าง ๆ เพื่อใช้แทนความหมายในคำพูดของคนปกติ เราเรียกภาษาท่าทางที่มีการพัฒนานั้นว่า “ภาษามือ” (ปานรวี ชุ่มฉิม และปราลี มณีรัตน์, 2563)

ผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดในการพัฒนาแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน ขึ้น เพื่อให้นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน มีสื่อเสริมการเรียนรู้ ที่สามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง สะดวก ทุกที่ ทุกเวลา

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน
2. เพื่อศึกษาความเหมาะสมของแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน ที่มีต่อแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิรายุทธ กมลเรือง และ อัญญปารย์ ศิลปะนิลมาลย์ (2564) ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการเรียนรู้ เรื่อง เทคโนโลยีอวกาศ สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ด้วยการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL

ผลการวิจัยพบว่า-ความเหมาะสมของแอปพลิเคชันเพื่อการเรียนรู้ โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.25, S.D. = 0.70) ประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันเพื่อการเรียนรู้มีประสิทธิภาพเท่ากับ 88.50/91.75 -ดัชนีประสิทธิผลของแอปพลิเคชันเพื่อการเรียนรู้ส่งผลต่อความก้าวหน้าในการเรียนรู้ของนักเรียน สูงมาก0.86 คิดเป็นร้อยละ 86.63 และ 5. นักเรียนมีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชัน โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.67, S.D. = 0.57)

อลงกรณ์ อัมพุช และวิจิตรา โพธิสาร (2561) ได้พัฒนาสื่อการเรียนการสอน สำหรับผู้พิการทางการได้ยิน

ผลการวิจัยพบว่า ความก้าวหน้าทางการเรียนรู้เท่ากับร้อยละ 16.30 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

ชินวัจน์ งามวรรณากร (2562) ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาแอปพลิเคชันสื่อการเรียนรู้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่อง ภาษาอังกฤษสำหรับนักสารสนเทศ

ผลการวิจัยพบว่า คุณภาพทางเทคนิคและเนื้อหาของแอปพลิเคชัน โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.14) 2) ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันสื่อการเรียนรู้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่อง ภาษาอังกฤษสำหรับนักสารสนเทศ โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.19)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ แอปพลิเคชัน ภาษามือ และดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ

1.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในขั้นที่ 1 โดยวิเคราะห์เนื้อหาดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ

1.3 ออกแบบแอปพลิเคชัน โดยทำการออกแบบ UI Sequence Diagram Activity Diagram และออกแบบ แบบประเมินความเหมาะสม แบบประเมินความพึงพอใจ

1.4 พัฒนาแอปพลิเคชัน แล้วนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสม

1.5 เก็บรวบรวมข้อมูล สรุป วิเคราะห์ และจัดทำคู่มือการใช้งานแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน

2. เครื่องมือการวิจัย

2.1 แอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน

2.2 แบบประเมินความเหมาะสมของแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน

2.3 แบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่มีต่อแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ

3. กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย คือ นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ และสาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จำนวน 20 คน

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2560) ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 – 5.00 หมายความว่า ระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.50 – 4.49 หมายความว่า ระดับมาก
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.50 – 3.49 หมายความว่า ระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.50 – 2.49 หมายความว่า ระดับน้อย
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.49 หมายความว่า ระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน ตามขั้นตอนการวิจัยในระยะที่ 1 โดยนำข้อมูลจากการศึกษา และวิเคราะห์ มาจัดทำแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน ได้แอปพลิเคชัน แสดงดังภาพที่ 1-6

ภาพที่ 1-6 แอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ

จากภาพที่ 1-6 แอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน ประกอบด้วย หน้าแรก หน้าเมนูหลัก หน้าเมนูดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ หน้าเนื้อหา และหน้าอ้างอิง โดยแอปพลิเคชันที่พัฒนามีการนำเสนอเนื้อหาในรูปแบบของข้อความ ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว และวิดีโอล่ามภาษามือ

2. ผลการศึกษาความเหมาะสมของแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน

ผู้วิจัยดำเนินการนำแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่พัฒนาขึ้น ไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ทำการประเมินความเหมาะสมของแอปพลิเคชัน จากนั้นนำผลมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความเหมาะสมของแอปพลิเคชัน

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ด้านเนื้อหา	4.44	0.25	มาก
2. ด้านการออกแบบกราฟิค	4.55	0.50	มากที่สุด
3. ด้านวิดีโอล่ามภาษามือ	3.77	0.96	มาก
4. ด้านเทคนิคของแอปพลิเคชัน	3.40	0.56	มาก
โดยรวม	**4.43**	**0.57**	**มาก**

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความเหมาะสมของแอปพลิเคชัน พบว่า ความเหมาะสมโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$= 4.04, S.D. = 0.57) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน ด้านการออกแบบกราฟิค มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.55 รองลงมา คือ ด้านเนื้อหา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.44 ด้านการนำเสนอวิดีโอล่ามภาษามือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.77 และด้านเทคนิคของแอปพลิเคชัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.40 ตามลำดับ

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่มีต่อแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ

ผู้วิจัยดำเนินการสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จำนวน 20 คน จากนั้นนำผลการสอบถามมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ด้านเนื้อหา	4.37	0.81	มาก
2. ด้านการออกแบบกราฟิค	4.41	0.65	มาก
3. ด้านวิดีโอล่ามภาษามือ	4.43	0.74	มาก
4. ด้านการใช้งานแอปพลิเคชัน	4.50	0.48	มากที่สุด
โดยรวม	**4.43**	**0.67**	**มาก**

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน พบว่า ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$= 4.43, S.D. = 0.67) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน ด้านการใช้งานแอปพลิเคชัน มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.50 รองลงมา คือ ด้านวิดีโอล่ามภาษามือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 ด้านการออกแบบกราฟิค มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.41 และด้านเนื้อหา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 ตามลำดับ

อภิปรายผลการวิจัย

1. แอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ 1) เนื้อหา 2) ภาพประกอบ และ 3) วิดีโอล่ามภาษามือ ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อความเหมาะสมของระบบโดยรวมอยู่ในระดับมาก ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีองค์ประกอบ ข้อความ ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว และวิดีโอล่ามภาษามือ จึงส่งผลให้ สอดคล้องกับ อลงกรณ์อัมพุช และวิจิตรา โพธิสาร (2561, บทคัดย่อ) ได้วิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาสื่อประสม เรื่อง ประชาคมอาเซียน ของผู้เรียนที่มีความบกพร่องทางการได้ยิน พบว่า การจัดการเรียนการสอนสำหรับผู้พิการทางการได้ยินจำเป็นที่จะต้องออกแบบและพัฒนาสื่อการสอนเพื่อให้ตอบสนองต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันมีการประยุกต์สื่อการเรียนการสอนมาใช้บนระบบเครือข่ายในลักษณะของสื่อประสมโดยมีการนำเสนอเนื้อหาในรูปแบบของข้อความ ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว เสียง และวีดิทัศน์ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการจัดการเรียนการสอน ผู้วิจัยจึงนำองค์ประกอบของสื่อประสมมาพัฒนาสื่อการเรียนการสอนสำหรับผู้พิการทางการได้ยิน

2. ผลการศึกษาความเหมาะสมของแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ สำหรับนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน พบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นต่อความเหมาะสมของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$= 4.04, S.D. = 0.57) ทั้งนี้เนื่องจากแอปพลิเคชันที่พัฒนา มีการออกแบบภาพกราฟิก และองค์ประกอบต่างๆ เหมาะสมกับนักศึกษาผู้บกพร่องทางการได้ยิน สอดคล้องกับ จิรายุทธ กมลเรือง และ อัญญปารย์ ศิลปะนิลมาลย์ (2564, บทคัดย่อ) ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการเรียนรู้ เรื่อง เทคโนโลยีอวกาศ สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ด้วยการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL) พบว่า ความเหมาะสมของแอปพลิเคชันเพื่อการเรียนรู้ โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$= 4.25, S.D. = 0.70)

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินที่มีต่อแอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ พบว่า นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$= 4.43, S.D. = 0.67) สอดคล้องกับ ชินวัจน์ งามวรรณากร (2562, บทคัดย่อ) ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาแอปพลิเคชันสื่อการเรียนรู้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่อง ภาษาอังกฤษสำหรับนักสารสนเทศ พบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันสื่อการเรียนรู้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่อง ภาษาอังกฤษสำหรับนักสารสนเทศ โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.19)

ข้อเสนอแนะ

1. ขอเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช

นักศึกษาบกพร่องทางการได้ยิน สามารถศึกษา แอปพลิเคชัน เรื่อง ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะจักรวาล ได้ทุกที่ทุกเวลาตามความตองการของ

2. ขอเสนอแนะเพื่อการศึกษาครั้งตอไป

ควรมีการผลิตแอปพลิเคชันในรูปแบบ 3D (3 Dimension) หรือรูปแบบอื่นๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายในการเรียนรู้ของนักศึกษาบกพร่องทางการได้ยินใหมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2560). *หลักสถิติ.* (พิมพ์ครั้งที่ 15). กรุงเทพฯ : สามลดา.

จิรายุทธ กมลเรือง และ อัญญูปารย์ ศิลปะนิลมาลย์. (2564). การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการเรียนรู้ เรื่อง เทคโนโลยีอวกาศ สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ด้วยการเรียนรู้แบบสร้างสรรค์เป็นฐาน (CBL). ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ การจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 7*, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.

ชินวัจน์ งามวรรณากร. (2562). *การพัฒนาแอปพลิเคชันสื่อการเรียนรู้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่อง ภาษาอังกฤษสำหรับนักสารสนเทศ.* รายงานวิจัย. คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา, ยะลา.

ปานรวี ชุ่มฉิม และ ปราลี มณีรัตน์. (2563). การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบการแปลภาษามือให้กับผู้พิการทางการได้ยิน. *วารสารวิชาการซายน์เทค มรภ.ภูเก็ต*, 4(1), 22-32.

อลงกรณ์ อัมพุช และวิจิตรา โพธิสาร. (2561) การออกแบบและพัฒนาสื่อประสม เรื่อง ประชาคมอาเซียน ของผู้เรียนที่มีความบกพร่องทางการได้ยิน. *วารสารวิชาการศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร,* 9(2), 60-66.

การพัฒนาแอปพลิเคชันการแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง

The Developing an Application Notifying the Expiration of Food and Cosmetics

อดิศร นามเกตุ* ชายแดน มิ่งเมือง
สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
adisorn.na61@snru.ac.th*, chaidan@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง 2) ประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง และ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง ทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอ (Android Studio) ฐานข้อมูลเก็บข้อมูลอาหารและเครื่องสำอางและรูปภาพ ใช้ไฟร์เบส (Firebase) กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในงานวิจัย คือ ผู้ใช้สมาร์ทโฟนแอนดรอยด์จำนวน 30 คน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและความพึงพอใจ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า 1) ได้แอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง สามารถแบ่งส่วนเมนูหลักออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ (1) หน้าแรกของแอปพลิเคชันโดยประกอบไปด้วยเมนู เข้าสู่ระบบ สมัครสมาชิก คู่มือการใช้งาน (2) หน้าจอหลักของแอปพลิเคชันโดยประกอบไปด้วยเมนู หน้าหลัก การค้นหา เพิ่มข้อมูลอาหารและเครื่องสำอาง และการจัดการข้อมูลผู้ใช้ การแจ้งเตือนของแอปพลิเคชันจะมีการแจ้งเตือน 2 ครั้ง ได้แก่ การแจ้งเตือนตามกำหนดและแจ้งเตือนวันหมดอายุ ในการแจ้งเตือนจะแสดงข้อความแจ้งเตือน ประกอบด้วยชื่อของอาหารหรือเครื่องสำอางที่หมดอายุและสถานะการแจ้งเตือน 2) ผลการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน พบว่า ประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอางอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.67, S.D. = 0.19) และ 3) ความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชัน พบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอางอยู่ในระดับสูง ($\bar{X}$ = 4.40, S.D. = 0.51)

คำสำคัญ: แอปพลิเคชัน, การแจ้งเตือนวันหมดอายุ, อาหารและเครื่องสำอาง

ABSTRACT

The purposes of the research were 1) to develop an application to notify the expiration date of food and cosmetics 2) to assess the effectiveness of food and cosmetic expiration notification applications and 3) to assess user satisfaction, the application notifies the expiration date of food and cosmetics. The researcher has developed an application to notify the expiration date of food and cosmetics. Running on the Android operating system (Android). It was developed with the program Android Studio (Android Studio) and using Firebase (Firebase)as a database that stores food and cosmetics and images. The target audience is 30 Android Smartphone users. The statistics used in the analysis for efficiency and satisfaction were mean and standard deviation.

The research findings showed that the 1) Get an application to notify the expiration date of food and cosmetics The main menu can be divided into 2 parts as follows: 1. home page of the application, which consists of the menu, login, register, user manual; 2. the main screen of the application, which consists of menus, home, search, add food and cosmetics information. and user information management. 2) Application performance evaluation results by 5 experts, application to notify the expiration date of food and cosmetics performance assessment was at a very good level ($\bar{x}$ = 4.67, S.D. = 0.19) and 3) the satisfaction of the users of the application was found that users are satisfied with develop an application to notify the expiration date of food and cosmetics high level ($\bar{x}$ = 4.40, S.D. = 0.51)

Keyword: Application, Expiration Notification, Food and Cosmetics

บทนำ

สภาพแวดล้อมทางสังคมทำให้ ผู้บริโภคเกิดการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการเลือกบริโภคอาหาร เพื่อตอบสนองความรวดเร็วและสะดวกสบาย กระแสในการบริโภคอาหารสำเร็จรูปได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น (ณัจฉรียา คำยัง, กุหลาบ รัตนสัจธรรม, อนามัย เทศกะทึก และสุนิศา แสงจันทร์, 2560) เนื่องจากสภาพสังคมที่เร่งรีบ จึงเป็นเรื่องปกติที่อาจหลงลืมวันหมดอายุของอาหาร รวมไปถึงสินค้าอุปโภคบริโภคอื่นๆ โดยมนุษย์เก็บความทรงจำประเภทต่าง ๆ สำหรับช่วงเวลาซึ่งแตกต่างกันไป ความทรงจำระยะสั้นคงอยู่ได้เพียงไม่กี่วินาทีจนถึงชั่วโมง ขณะที่ความทรงจำระยะยาวอยู่กับเราไปนานหลายปี (กุลธิดา ปัญญาเชษฐานนท์, 2559)

ในปัจจุบันการใช้สมาร์ทโฟนซึ่งเป็นโทรศัพท์มือถือเคลื่อนที่ ที่มีความสามารถเพิ่มขึ้น เหนือจากโทรศัพท์มือถือทั่วไป โดยรวมเอาความสามารถหลักของโทรศัพท์มือเข้ากับแอปพลิเคชัน ผู้ใช้สามารถติดตั้งโปรแกรมสำหรับเพิ่มความสามารถเพื่อให้มีฟังก์ชันในการทำงานที่หลากหลาย โดยที่รูปแบบนั้นจะขึ้นอยู่กับแพลตฟอร์มและระบบปฏิบัติการ-ระบบปฏิบัติการที่เป็นที่นิยมคือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และถือว่าเป็นแพลตฟอร์มที่นักพัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือนิยมใช้กันมาก และมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ (สุริยา พระหันธงชัย, 2562)

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอางบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ มุ่งเน้นเสริมสร้างประโยชน์แก่บุคคลที่ความจำไม่ค่อยดี โดยแอปพลิเคชันนี้สามารถแจ้งเตือนอาหาร หรือเครื่องสำอาง ที่มีวันหมดอายุแก่ผู้ใช้ได้

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง
3. เพื่อศึกษาผลความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. โมเดลการพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ

สไปรอลโมเดล (Spiral Model) โดย ศรีนวล ฟองมณี (2560) กล่าวว่า เป็นวิธีการพัฒนาแบบค่อยเป็นค่อยไปทีละรอบเมื่อจบการทำงาน ในแต่ละรอบ จะได้ระบบงานที่ สามารถใช้งานได้ เรียกเป็นเวอร์ชั่น และในแต่ละรอบจะมี

การวิเคราะห์ความเสี่ยง เพื่อประเมินและวางแผนการทำงานในรอบถัดไป วงจรการทำงานของ สไปรอลโมเดล แบ่งออกเป็น 4 ส่วน

1) การวางแผน (Planning) เป็นการกำหนดจุดมุ่งหมายของโครงการ กำหนดเงื่อนไขในการดำเนินงาน ระบุข้อกำหนดของระบบงานที่ต้องการ ระบุข้อจำกัดในด้านต่าง ๆ เช่นทีมงานในการดำเนินงาน สภาพแวดล้อมของการพัฒนาระบบและศึกษาหาแนวทางต่าง ๆ ที่นำมาใช้แก้ไขปัญหา รวมถึงการพิจารณาถึงต้นทุนที่ใช้ ผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการใช้ระบบสารสนเทศที่พัฒนาเรียบร้อยแล้ว

2) การวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk Analysis) เป็นการนำแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ มาประเมินหาความเสี่ยงจากนั้นคัดเลือกแนวทางที่ดีที่สุดและมีความเป็นไปได้สูงสุดมาใช้ในการพัฒนาระบบ เพื่อจัดการความเสี่ยงหรือหลีกเลี่ยงความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น เช่น ความเสี่ยงของ โครงการจะล้มเหลว ความเสี่ยงของคุณภาพระบบที่ พัฒนาแล้วเสร็จ ความเสี่ยงทางธุรกิจที่เกิดจาก การใช้งานระบบที่พัฒนาเรียบร้อยแล้ว ความเสี่ยงต่าง ๆ นี้ สามารถแก้ปัญหาได้ด้วยการพัฒนาต้นแบบ (Prototype) หรือการจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์หาความเสี่ยง

3) การพัฒนาและทดสอบระบบ (Engineering) เป็นการพัฒนาตัวต้นแบบตาม ข้อกำหนด ที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการวางแผน และในขั้นตอนนี้จะเป็นการพัฒนาระบบต่อยอดจากของเดิมที่เคยพัฒนาในรอบก่อนหน้า ระบบที่พัฒนาจะมีความสามารถเพิ่มเติมจากระบบเดิม ระบบงานที่ได้แต่ละรอบจะเรียกเป็นเวอร์ชั่น จากนั้นทำการทดสอบการทำงานของระบบให้ตรงตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการวางแผน

4) การประเมิน (Evaluation) เป็นการทบทวนผลลัพธ์ของการทำงานในขั้นตอนที่ผ่านมาร่วมกับเจ้าของระบบแล้วทำการวางแผนเพื่อเตรียมดำเนินการในรอบถัดไปโดยระบบที่ได้จะมี เวอร์ชั่นที่มีความก้าวหน้าและสมบูรณ์มากขึ้นเรื่อย ๆ จนได้ระบบที่สมบูรณ์ในที่สุด

2. การออกแบบระบบโดยใช้ยูเอ็มแอล

ยูนิไฟด์โมเดลลิ่งแลงเกวจหรือยูเอ็มแอล (Unified Modelling Language : UML) ซึ่งหมายถึงการรวบรวมสัญลักษณ์ที่ใช้ในการทำโมเดลที่เกิดจากแนวคิดของศาตราจารย์ 3 ท่านคือ Jame Rumbaugh, Grady Booch และ Ivar Jacobson ซึ่งเป็นผู้ที่ใช้วิธีการบรรยายโมเดลของซอฟต์แวร์ด้วยรูปภาพ ก่อนที่จะมาเป็นยูเอ็มแอลทั้ง 3 ท่านนี้ได้มีรูปภาพที่ใช้สำหรับบรรยายองค์ประกอบในซอฟต์แวร์ที่เป็นของแต่ละท่านเองอยู่แล้ว แต่เนื่องจากวิธีการของทั้ง 3 ท่านนี้ได้ตีพิมพ์เผยแพร่จนกระทั่งเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายในเวลาต่อมา และสัญลักษณ์ที่ใช้ก็ปรากฏออกมาเป็นรูปร่างที่ต่างกัน ทำให้เอกสารที่เขียนขึ้นด้วยสัญลักษณ์แบบหนึ่งไม่สามารถถ่ายทอดความเข้าใจไปสู่นักพัฒนาระบบที่เรียนรู้สัญลักษณ์มาจากวิธีการอีกแบบหนึ่งได้ จนกระทั่งประมาณปี ค.ศ. 1997 ศาสตราจารย์ทั้ง 3 ท่านได้ริเริ่มแนวคิดที่เป็นมาตรฐานโดยรวบรวมเอาสัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับบรรยายองค์ประกอบซอฟต์แวร์ในวิธีการต่าง ๆ มาปรับปรุงรวบรวมและจัดกลุ่มให้เกิดขึ้นเป็นสัญลักษณ์มาตรฐานที่จะสามารถนำไปถ่ายทอดสื่อสารกันระหว่างนักพัฒนาซอฟต์แวร์ทั่วโลก จนกระทั่งเกิดเป็น ยูเอ็มแอล และปัจจุบัน ยูเอ็มแอล ก็ได้รับการยอมรับให้เป็นมาตรฐานหนึ่งของ ไอเอสโอ (ISO) ทางซอฟต์แวร์ ซึ่งนอกจากจะใช้บรรยายองค์ประกอบของซอฟต์แวร์แล้ว ในอนาคตยูเอ็มแอล (สรพงษ์ เรือนมณี, 2560)

3. ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

จาวา (Java) หรือ ภาษาโปรแกรมจาวา (Java Programming Language) คือภาษาโปรแกรมเชิงวัตถุพัฒนาโดย เจมส์ กอสลิง และวิศวกรคนอื่น ๆ ที่บริษัท ซัน ไมโครซิสเต็มส์ ภาษานี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้แทนภาษาซีพลัสพลัส (C++) โดยรูปแบบที่เพิ่มเติมขึ้นคล้ายกับภาษาอ็อบเจกต์ทีฟซี (Objective-C) แต่เดิมภาษานี้เรียกว่า ภาษาโอ๊ก (Oak) ซึ่งตั้งชื่อตามต้นโอ๊กใกล้ที่ทำงานของ เจมส์ กอสลิง แล้วภายหลังจึงเปลี่ยนไปใช้ชื่อจาวา ซึ่งเป็นชื่อกาแฟแทน จุดเด่นของภาษาจาวา อยู่ที่ผู้เขียนโปรแกรมสามารถใช้หลักการของการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming) มาพัฒนาโปรแกรมด้วยจาวาได้ ภาษาจาวา เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมที่สนับสนุนการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (OOP : Object-

Oriented Programming) โปรแกรมที่เขียนขึ้นถูกสร้างภายในคลาส ดังนั้นคลาสคือที่เก็บเมทอด (Method) หรือพฤติกรรม (Behavior) ซึ่งมีสถานะ (State) และรูปพรรณ (Identity) ประจำพฤติกรรม (Behavior) (สุริยา พระหันธงชัย, 2562)

4. ฐานข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

ไฟร์เบส (Firebase) คือบริการหนึ่งของกูเกิ้ล (Google) เป็นการบริการข้อมูลแบบออนไลน์ในรูปแบบเรียลไทม์ดาต้าเบส (Real Time Database) สำหรับแอปพลิเคชัน (Application) และเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) ซึ่งผลพลอยได้ในด้านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งหรือไอโอที (Internet of Things : IoT) คือตัวไฟร์เบส สามารถนำมาเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกัน เช่น โหมดเอ็มซียู (NodeMCU), อีเอสพีแปดสองหกหก (ESP8266) ส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชั่นบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android)

ไฟร์เบส คือฐานข้อมูลแบบโนเอสคิวแอล (NoSQL) โดยจะไม่ใช้ภาษาเอสคิวแอล (SQL) ในการจัดการข้อมูล แต่ออกแบบให้มีความยืดหยุ่นและเน้นความเร็วในการใช้งาน โดยโนเอสคิวแอล (NoSQL) ที่นิยมใช้งานมากที่สุดในปัจจุบันคือแมงโก้ดีบี (MongoDB) ซึ่งมีการเก็บข้อมูลแบบเจสัน (JSON) โดยที่มีตารางเหมือนกับเอสคิวแอล (SQL) แต่ไม่มีคอลัมน์ ในหนึ่งแถวสามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งข้อความ (String) ตัวเลข (Number) และอื่นๆ (เทพshop, 2563)

5. โปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

แอนดรอยด์สตูดิโอ (Android Studio) ซึ่งเป็น ไอดีอีทูล (IDE Tool) จากกูเกิ้ล (Google) ไว้พัฒนาแอนดรอยด์ สำหรับแอนดรอยด์สตูดิโอ เป็นไอดีอีทูลล่าสุดจากกูเกิ้ล ไว้พัฒนาโปรแกรมแอนดรอยด์โดยเฉพาะ โดยพัฒนาจากแนวคิดพื้นฐานมาจากอินเทลไอยูไอดีอีเอ (InteliU IDEA) คล้าย ๆ กับการทำงานของอีคลิปส์ (Eclipse) และแอนดรอยด์-เอ (Android A) โดยวัตถุประสงค์ของแอนดรอยด์สตูดิโอ คือต้องการพัฒนาเครื่องมือไอดีอี (IDE) ที่สามารถพัฒนา แอปพลิเคชัน (Application) บนแอนดรอยด์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งด้านการออกแบบจียูไอ (GUI) ที่ช่วยให้สามารถ พรีวิว (Preview) ต่อแอปพลิเคชัน (Application) มุมมองที่แตกต่างกันบนสมาร์ทโฟน (Smart Phone) แต่ละรุ่นสามารถแสดงผลบางอย่างได้ทันทีโดนไม่ต้องทำการรันแอปพลิเคชัน (Application) บนอีมูเลเตอร์ (Emulator) รวมทั้งยังแก้ไขปรับปรุงในเรื่องของความเร็วของอีมูเลเตอร์ (Emulator) ที่ยังเจอปัญหากันอยู่ในปัจจุบัน (thaicreate, 2556)

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชลิต สุกิจรัตนาภรณ์ และศิริพร พูลสุวรรณ (2562) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันเตือนการดื่มน้ำสำหรับผู้สูงอายุ พบว่าผู้สูงอายุ จำนวน 55 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 81.82 และเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 18.18 ช่วงอายุของผู้สูงอายุส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 60 – 69 ปีคิดเป็นร้อยละ 56.36 รองลงมาอยู่ในช่วงอายุ 70 – 79 ปี คิดเป็น ร้อยละ 34.55 และน้อยที่สุดอยู่ในช่วงอายุ 80 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 9.09 การเปรียบเทียบความรู้ของผู้สูงอายุก่อนและหลังการใช้แอปพลิเคชันเตือนการดื่มน้ำสำหรับผู้สูงอายุ ผลการวิจัยพบว่า มีค่าเฉลี่ยคะแนนก่อนเรียน เท่ากับ 5.31 คะแนน ค่าเฉลี่ยคะแนนหลังเรียน เท่ากับ 8.34 คะแนน เมื่อเปรียบเทียบด้วยค่า sig เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าความรู้ของผู้สูงอายุก่อนและหลังการใช้แอปพลิเคชันเตือนการดื่มน้ำสำหรับผู้สูงอายุ มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

กรพงษ์ รัตนโยธิน และวชิรศักดิ์ วานิชชา (2560) ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองมักจะพบปัญหาในเรื่องของการรับประทานยา ซึ่งเกิดจาก การหลงลืม จำนวนยาที่มากทำให้สับสนในการรับประทาน หรือแม้แต่อาการข้างเคียงที่เกิดขึ้นทำให้ผู้ป่วยไม่ยอมที่จะรับประทานยาเอง จึงทำให้การรักษาไม่มีประสิทธิผล ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศในรูปแบบแอนดรอยด์แอปพลิเคชัน เพื่อให้ความรู้และแจ้งเตือนการรับประทานยาสำหรับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง โดยการพัฒนาระบบต้นแบบที่เรียกว่า ดีซีเม็ด และผลการวิจัยพบว่า ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองซึ่งอยู่ในกลุ่มทดลองที่มีการใช้ระบบ ดีซีเม็ด มีความสนใจและให้ความร่วมมือในการรับประทานยามากขึ้นร้อยละ 42.86 และสามารถรับประทานยาได้ตรงตามเวลามากกว่าผู้ป่วยที่อยู่ในกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ใช้ระบบอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

อัมฤทธิ์ จิระพันธ์วัฒนา (2562) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันแจ้งเตือนการเลือกคลาสฟิตเนสผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ สามารถเข้าถึงช่องทางประชาสัมพันธ์แนะนำคลาสฟิตเนส อีกทั้งภายในแอปพลิเคชันยังประกอบไปด้วยข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับคลาสฟินเนส ซึ่งสามารถเข้าดูข้อมูลคลาสฟินเนสในแต่ละวันได้ ผลการประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันแจ้งเตือนการเลือกคลาสฟิตเนสผ่านระบบปฏิบัติการ แอนดรอยด์ มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.63, S.D. = 0.63) และผลการประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชันแจ้งเตือนการเลือกคลาสฟิตเนสผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ มีความพึงพอใจแอปพลิเคชันอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.71, S.D. = 0.48)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

1.2 การพัฒนาระบบตามกระบวนการของ Spiral Model

1) การวางแผน (Planning)

1.1) กำหนดระยะเวลาในการพัฒนา

1.2) กำหนดขอบเขตของระบบ

1.3) ออกแบบการทำงานของระบบ

1.4) ออกแบบฐานข้อมูล

1.5) ออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้

2) การวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk Analysis)

พัฒนาต้นแบบ (Prototype) เพื่อวิเคราะห์หาความเสี่ยง

3) การพัฒนาและทดสอบระบบ (Engineering)

1.1) พัฒนาแอปพลิเคชัน

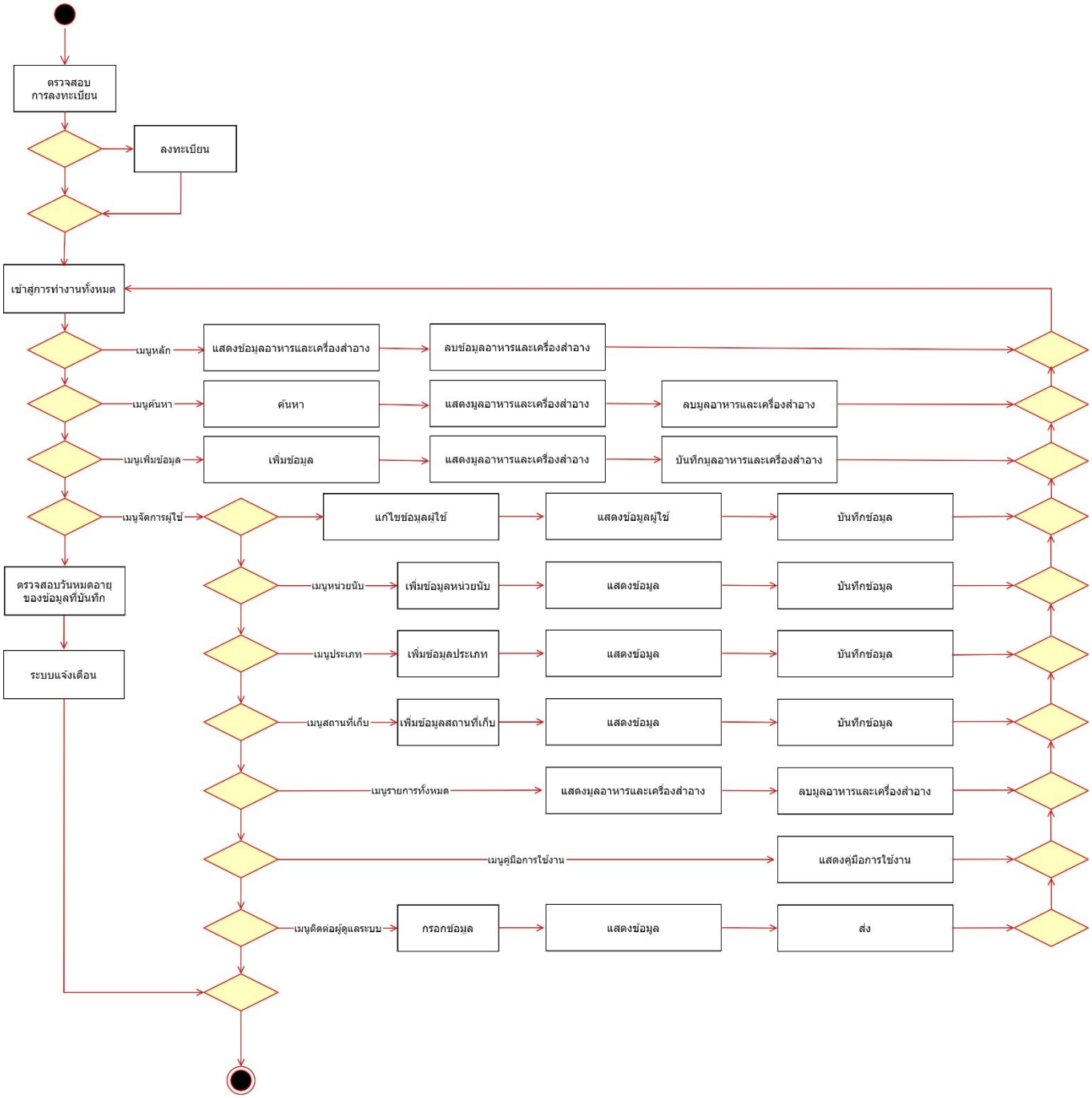
1.2) ประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์

ด้านการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน

4) การประเมิน (Evaluation) หาประสิทธิภาพในการทำงานจากผู้ใช้

ประเมินความพึงพอใจการใช้ระบบผู้ใช้สมาร์ทโฟนแอนดรอยด์ เลือกโดยการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 30 คน

1.3 สรุป วิเคราะห์ และจัดทำคู่มือการใช้งานระบบ



ภาพที่ 1 แผนภาพแอคติวิตี้ไดอะแกรม (Activity Diagram)

2. เครื่องมือการวิจัย

2.1 แอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง

2.2 แบบประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง

2.3 แบบสอบถามความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง

3. กลุ่มเป้าหมาย

3.1 ผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ จำนวน 5 คน

3.2 ผู้ใช้สมาร์ทโฟนแอนดรอยด์ เลือกโดยการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 30 คน

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าสถิติ (Dependent t-test) การประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (ไพโรจน์ ตีรณธนากุล, 2546) ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.50 - 5.00 หมายถึง มีประสิทธิภาพในระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.50 - 4.49 หมายถึง มีประสิทธิภาพในระดับมาก
ค่าเฉลี่ย 2.50 - 3.49 หมายถึง มีประสิทธิภาพในระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.50 - 2.49 หมายถึง มีประสิทธิภาพในระดับน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.49 หมายถึง มีประสิทธิภาพในระดับน้อยที่สุด

การประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชัน การวัดความพึงพอใจนั้น โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (ภณิดา ชัยปัญญา, 2541) ดังนี้

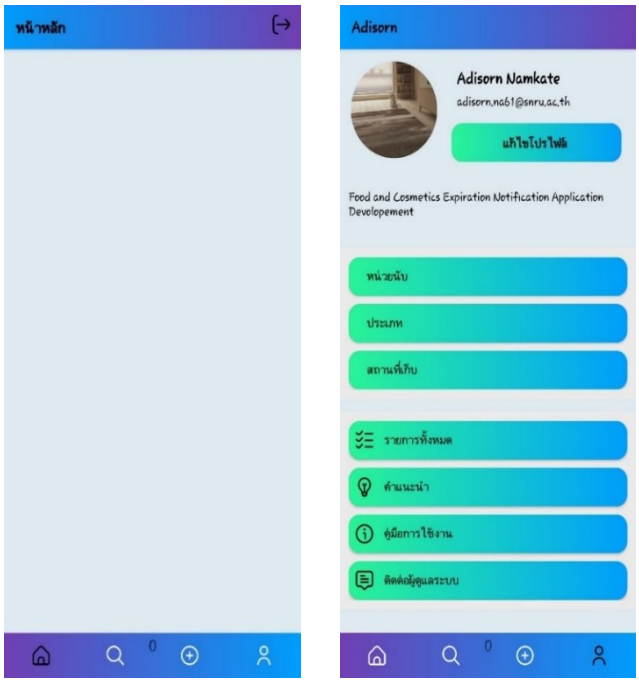
ค่าเฉลี่ย 4.51 - 5.00 หมายถึง มีควความพึงพอใจในระดับสูงที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.51 - 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับสูง
ค่าเฉลี่ย 2.51 - 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.51 - 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง ผลการดำเนินตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3

ภาพที่ 2 หน้าแรกของแอปพลิเคชัน



ภาพที่ 3 หน้าหลักของแอปพลิเคชัน

จากภาพที่ 2 เมื่อเข้าใช้งานแอปพลิเคชัน ผู้ใช้จะต้องลงทะเบียนเข้าใช้งาน โดยจะมีเมนู เข้าสู่ระบบ ลงทะเบียน และคู่มือการใช้ เมื่อลงทะเบียนและเข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้ว จะเข้าสู่หน้าหลักใน ภาพที่ 3

จากภาพที่ 3 หน้าหลักจะเป็นหน้าที่แสดงข้อมูลอาหารและเครื่องสำอางที่เพิ่มไว้โดยจะแสดงได้สูงสุด 4 รายการ เมนูค้นหา สามารถค้นหาอาหารและเครื่องสำอางจากชื่อที่ตั้งไว้ เมนูเพิ่มข้อมูล เพิ่มข้อมูลอาหารเครื่องสำอาง เมนูจัดการข้อมูลผู้ใช้ ผู้ใช้สามารถแก้ไขข้อมูลส่วนตัวได้ สามารถดูและเพิ่ม หน่วยนับ ประเภท และสถานที่เก็บ

การแจ้งเตือนของแอปพลิเคชันจะมีการแจ้งเตือน 2 ครั้ง ได้แก่ การแจ้งเตือนตามกำหนดและแจ้งเตือนวันหมดอายุ ในการแจ้งเตือนจะแสดงข้อความแจ้งเตือน ประกอบด้วยชื่อของอาหารหรือเครื่องสำอางที่หมดอายุและสถานการณ์แจ้งเตือน เวลาของการแจ้งเตือนการแจ้งเตือนตามกำหนดและแจ้งเตือนวันหมดอายุจะเป็นเวลาเดียวกัน ซึ่งจะถูกกำหนดโดยผู้ใช้

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง

ผู้วิจัยดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง ที่พัฒนาขึ้น จากผู้เชี่ยวชาญทางด้านคอมพิวเตอร์จำนวน 5 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลรวมการเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ด้านความสามารถในการทำงานของแอปพลิเคชัน	4.68	0.30	ดีมาก
ด้านความถูกต้องของการทำงานของแอปพลิเคชัน	4.64	0.36	ดีมาก
ด้านการใช้งานของแอปพลิเคชัน	4.29	0.36	ดี
ด้านความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน	4.80	0.27	ดีมาก
ด้านความปลอดภัยของแอปพลิเคชัน	4.96	0.09	ดีมาก
โดยรวม	4.67	0.19	ดีมาก

จากตารางที่ 1 ผลรวมการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน พบว่า มีผลรวมประสิทธิภาพอยู่ระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.67) และเมื่อจำแนกตามรายด้าน พบว่า ด้านความสามารถในการทำงานของแอปพลิเคชัน ด้านความถูกต้องของการทำงานของแอปพลิเคชัน ด้านความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ด้านความปลอดภัยของแอปพลิเคชันอยู่ระดับดีมาก ยกเว้นด้านการใช้งานของแอปพลิเคชันอยู่ระดับดี

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง

ผู้วิจัยดำเนินการสอบถามความพึงพอใจของแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง ที่พัฒนาขึ้น จากผู้ใช้งานสมาร์ทโฟนแอนดรอยด์จำนวน 30 คน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลรวมการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ด้านความสะดวกสบายของการใช้งาน	4.40	0.52	สูง
ด้านความรวดเร็วในการประมวลผลของแอปพลิเคชัน	4.43	0.55	สูง
ด้านความปลอดภัยของแอปพลิเคชัน	4.34	0.53	สูง
ด้านประโยชน์ที่ได้รับ	4.43	0.58	สูง
โดยรวม	4.40	0.51	สูง

จากตารางที่ 2 ผลรวมการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ พบว่า มีผลรวมความพึงพอใจอยู่ระดับสูง ($\bar{x}$ = 4.40) และเมื่อจำแนกตามรายด้าน พบว่า ด้านความสะดวกสบายของการใช้งาน ด้านความรวดเร็วในการประมวลผลของแอปพลิเคชัน ด้านความปลอดภัยของแอปพลิเคชัน ด้านประโยชน์ที่ได้รับอยู่ระดับสูงเช่นเดียวกัน

อภิปรายผลการวิจัย

1. การพัฒนาแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง ประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ดังนี้ 1) หน้าแรกของแอปพลิเคชันโดยประกอบไปด้วยเมนู เข้าสู่ระบบ สมัครสมาชิก คู่มือการใช้งาน 2) หน้าจอหลักของแอปพลิเคชันโดยประกอบไปด้วยเมนู หน้าหลัก การค้นหา เพิ่มข้อมูลอาหาร และเครื่องสำอาง จัดการข้อมูลผู้ใช้ โดยแอปพลิเคชันสามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ การพัฒนาแอปพลิเคชันใช้โปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอ (Android Studio) โดยใช้ภาษาจาวา (Java) และใช้ไฟร์เบส (Firebase) เป็นฐานข้อมูลในการจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ และรูปภาพ

2. ผลการการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง พบว่า ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อความเหมาะสมของแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ในระดับผลรวมประสิทธิภาพอยู่ระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.67, S.D. = 0.19) จึงส่งผลให้แอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง สอดคล้องกับ ชลิต สุกิจรัตนาภรณ์ และศิริพร พูลสุวรรณ (2562) ในประเด็นภาพรวม แต่เมื่อพิจารณารายด้านแล้ว กลับพบว่า แอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง ในด้านการใช้งานของแอปพลิเคชันอยู่ระดับดี และสอดคล้องกับ อัมฤทธิ์ จิระพันธ์วัฒนา (2562) ในประเด็นภาพรวม แต่เมื่อพิจารณารายด้านแล้ว กลับพบว่า แอปพลิเคชันแจ้งเตือนการเลือกคลาสฟิตเนสผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ในด้านการทำงานของระบบอยู่ระดับมาก

3. ผลการทดลองใช้แอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอาง พบว่า มีความพึงใจต่อแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ระดับสูง ($\bar{x}$ = 4.40, S.D. = 0.51) ทั้งนี้เนื่องจากจากผลการประเมินความพึงพอใจพบว่าการใช้งานระบบเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและง่ายต่อการใช้งาน สอดคล้องกับ ชลิต สุกิจรัตนาภรณ์ และศิริพร พูลสุวรรณ (2562) และจักรพงษ์ รัตนโยธิน และวชิรศักดิ์ วานิชชา (2560) แต่ไม่สอดคล้องกับ อัมฤทธิ์ จิระพันธ์วัฒนา (2562) ซึ่งมีความพึงใจต่อแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด สามารถอภิปรายเพิ่มเติมได้ว่า เนื่องจากแอปพลิเคชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอางเป็นแอปพลิเคชันที่ออกแบบสำหรับบันทึกและแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอางโดยเฉพาะ อีกทั้งเนื้อหาภายในแอปพลิเคชันเป็นเป็นเรื่องเกี่ยวกับอาหารและเครื่องสำอาง จึงได้รับความพึงพอใจอยู่ระดับสูง

ข้อเสนอแนะ

แอปพลิชันแจ้งเตือนวันหมดอายุอาหารและเครื่องสำอางถูกพัฒนาขึ้นให้ทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เท่านั้น ในการเพิ่มข้อมูลอาหารและเครื่องสำอางผู้ใช้จะต้องกรอกข้อมูลเองทั้งหมด ควรพัฒนาให้แอปพลิเคชันสามารถใช้งานได้ในระบบปฏิบัติการอื่น ๆ ควรมีการปรับปรุงรูปแบบการแจ้งเตือนให้สามารถแจ้งเตือนซ้ำได้ และให้มีการเปลี่ยนสีของสถานะ เมื่ออาหารหรือเครื่องสำอางนั้นหมดอายุแล้ว

เอกสารอ้างอิง

กุลธิดา ปัญญาเชษฐานนท์. (2559). *ความจำของมนุษย์ : คนเราสร้างความทรงจำบางครากลับหวนคิดแต่บางทีกลับลืมเลือนได้อย่างไร?.* [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://ngthai.com/science/19208/human-memory/

กรพงษ์ รัตนโยธิน และวชิรศักดิ วานิชชา. (2560). การออกแบบและพัฒนาแอนดรอยด์แอปพลิเคชันการแจ้งเตือนรับประทานยาเพื่อเพิ่มคุณภาพการรักษาผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง. *วารสารวิชาการปทุมวัน, 7*(20), 29-44

ชลิต สุกิจรัตนาภรณ์ และศิริพร พูลสุวรรณ. (2562). *การพัฒนาแอปพลิเคชันเตือนการดื่มน้ำสำหรับผู้สูงอายุ (การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติของนักศึกษาด้านมนุษย์ศาสตร์และสังคมศาสตร์*

ครั้งที่ 2 วันที่ 19 มกราคม 2562). อุดรธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ณัจฉรียา คำยัง, กุหลาบ รัตนสัจธรรม, อนามัย เทศกะทึก และสุนิศา แสงจันทร์. (2560). สถานการณ์และการจัดการอาหารที่มีฉลากระบุวันหมดอายุภายในวัดพุทธ. *วารสารบัณฑิตศึกษาปริทรรศน์,* 13(2), 84-96

เทพshop. (2563). *Firebase คืออะไร.* [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://www.arduino-makerzone.com/article/54/firebase

ไพโรจน์ ตีรณธนากุล. (2546). *การออกแบบและการผลิตบทเรียนคอมพิวเตอร์การสอน.* กรุงเทพ: ศูนย์ส่งเสริมคุณภาพ

ภณิดา ชัยปัญญา. (2541). ความพึงพอใจของเกษตรกรต่อกิจกรรมไร่นาสวนผสมภายใต้โครงการปรับโครงสร้างและระบบการผลิตการเกษตรของจังหวัดเชียงราย. *(สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต).* เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศรีนวล ฟองมณี. (2560). *วิศวกรรมซอฟต์แวร์และโมเดลการพัฒนาซอฟต์แวร์.* [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://srinuan.crru.ac.th/CIT2501/04SoftwareEngineering.pdf

สุริยา พระหันธงชัย. (2562). แอปพลิเคชันวันสำคัญน่ารู้ของไทย บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์. *(สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต).* สกลนคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

สรพงษ์ เรือนมณี. (2560). *การออกแบบระบบโดยใช้ UML.* [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://sorapongbasa.blogspot.com

อัมฤทธิ์ จิระพันธ์วัฒนา. (2562). พัฒนาแอปพลิเคชันแจ้งเตือนการเลือกคลาสฟิตเนสผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์. *(การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติของนักศึกษาด้านมนุษย์ศาสตร์และสังคมศาสตร์ครั้งที่ 2 วันที่ 19 มกราคม 2562).* อุดรธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Thaicreate. (2556). *รู้จักกับ Android Studio.* [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://www.thaicreate.com/mobile/android-studio-ide.html

การพัฒนาเกม 3D เรื่อง กล่องปริศนาหากุญแจ

3D Game Development a Puzzle Box Find Keys

ก่อเกียรติ นาตสูง[1*] , ปิยวรรณ โถปาสอน[2]
สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร[1, 2]
Korkiat.na61@snru.ac.th [*], piyawan@snru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาเกม 3D เรื่องกล่องปริศนาหากุญแจ 2) ประเมินประสิทธิภาพของเกม 3D เรื่องกล่องปริศนาหากุญแจ 3) ประเมินความพึงพอใจของเกม 3D เรื่องกล่องปริศนาหากุญแจ กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ บุคคลทั่วไป จำนวน 30 คน โดยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ โปรแกรมที่ใช้พัฒนาประกอบด้วย Unreal Engine4, Bridge, Adobe Photoshop CS6, Adobe Fuse เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานประกอบด้วย เกมกล่องปริศนาหากุญแจ แบบประเมินประสิทธิภาพ และแบบประเมินความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการดำเนินงานพบว่า เกมกล่องปริศนาหากุญแจเป็นเกมผจญภัย โดยสามารถเล่นได้บนระบบปฏิบัติการวินโดว์ โดยใช้คีย์บอดหรือจอยสติ๊กควบคุมการเล่น เป็นเกมแบบออฟไลน์ มีจำนวน 5 ด่าน แต่ละด่านมีความแตกต่างกัน ผลการประเมินประสิทธิภาพของเกม พบว่า ประสิทธิภาพของเกมโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.64 ผลการประเมินความพึงพอใจโดยกลุ่มเป้าหมาย พบว่า ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.44

คำสำคัญ: การพัฒนาเกม 3มิติ, เกมผจญภัย, เกมปริศนา

ABSTRACT

The purposes of the research were to develop a 3d game the puzzle box find the keys 2) evaluate the performance of a 3d game the puzzle box find the keys 3) evaluate the satisfaction of a 3d game the puzzle box find the keys with the target group is 30 general people using selecting the purposive sampling, Programs used for development include unreal engine4, bridge, adobe photoshop CS6 and adobe fuse. The research tools were 3d game the puzzle box find the keys, an efficiency assessment form, and a satisfaction assessment form, the statistics used in the research were mean and standard deviation.

The results of the research showed that 3d game the puzzle box find the keys is an adventure game, it can be played on the windows operating system with the keyboard or joystick to play, It's an offline adventure game, there are 2 characters in the game that can play and have 5 levels, each level has a different environment also there is a time limit. The evaluation results of the game performance found that overall game performance was excellent, the mean was 4.64 the results of the satisfaction assessment by the target group found that the overall satisfaction was great, the mean was 4.44.

Keyword: 3D Game Development, Adventure Game, Puzzle Game

บทนำ

ปัจจุบันเกมได้เข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเราไม่ว่าจะอยู่ในรูปแบบการนำเสนอเรื่องราวของเกม วิธีการใช้งานเกมร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การติดต่อสื่อสาร ด้านการศึกษาและด้านการประกอบธุรกิจ และการเข้าถึงเกมสามารถเข้าถึงได้ง่าย ทำให้มีผู้เล่นเกมเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะกลุ่มนักเรียน นักศึกษา และกลุ่มคนทำงานที่จะพักผ่อน โดยการเล่นเกม (อภินันท์ ภิรมย์, ภาคย์ สธนเสาวภาคย์ และภัทราวัลย์ คำปลิว, 2559)

เกม เป็นลักษณะของกิจกรรมของมนุษย์เพื่อประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น เพื่อความสนุกสนานบันเทิง เพื่อฝึกทักษะ และเพื่อการเรียนรู้ เป็นต้น และในบางครั้งอาจใช้เพื่อประโยชน์ทางการศึกษาได้ (MacGregor Historic Games, 2006) เกมสามมิติเป็นสื่อมัลติมีเดียที่ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้บนเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิคส์ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องเล่นเกมสำเร็จรูป สมาร์ทโฟน ผู้เล่นเกมสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวละครอย่างเป็นอิสระเสมือนเป็นตัวผู้เล่นเอง ซึ่งเกมสามมิติจะมีความสมจริงในเรื่องของรูปที่นำเสนอต่อสายตาผู้ใช้งานจึงทำให้เป็นที่นิยมสำหรับผู้ที่เล่นเกม

ดังนั้นผู้จัดทำได้พัฒนาเกมกล่องปริศนาหากุญแจ เป็นเกมแนวผจญภัยปริศนาหาทางออก สำหรับเกมที่ผู้จัดทำได้พัฒนาขึ้นนั้น ผู้เล่นจะต้องตามหากุญแจที่อยู่ในกล่องปริศนาให้เจอ ต้องแข่งกับเวลาที่นับถอยหลัง รวมไปถึงการหลบหลีกอุปสรรคที่อยู่ตรงหน้า ผู้จัดทำได้มีแนวคิดพัฒนาเกมเพื่อให้ผู้เล่นได้เอาตัวรอดในด่านต่างๆ ผู้เล่นจะได้ประโยชน์จากการเล่นเกมคือ ทักษะการเอาตัวรอด การจดจำ และได้รับความเพลิดเพลินในการเล่นเกมหลังจากเกมจบลง

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเกมกล่องปริศนาหากุญแจ
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเกมกล่องปริศนาหากุญแจ
3. เพื่อประเมินหาความพึงพอใจของผู้เล่นที่มีต่อเกมกล่องปริศนาหากุญแจ

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนะโชติ บุญนันท์ (2564) เกมคำนวณทะลุมิติงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาเกมคำนวณทะลุมิติ 2) ประเมินประสิทธิภาพของเกมโดยผู้เชี่ยวชาญ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้เล่นเกมคำนวณทะลุมิติ กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนจากโรงเรียนวิถีธรรมแห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1–3 จำนวน 30 คน โดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยเกมคำนวณทะลุมิติ แบบประเมินประสิทธิภาพ และแบบสอบถามความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานผลการวิจัยพบว่า 1) เกมคำนวณ ทะลุมิติ มีตัวละครให้เลือก 2 ตัวและผู้เล่นสามารถเล่นได้ 3 ระดับคือ ง่าย ปานกลาง และยาก แต่ละ ระดับมีความท้าทายแตกต่างกันทำให้ผู้เล่นมีความสนุกในการคิดคำนวณให้ผ่านแต่ละด่าน 2) ผลการ ประเมินประสิทธิภาพของเกมคำนวณทะลุมิติโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่าประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับ ดีมากค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 และ 3) ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมาย พบว่ามีความพึง พอใจโดยรวมอยู่ในระดับดีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.4

จากงานวิจัยเกมคำนวณทะลุมิติมีความเกี่ยวข้องกับเกมกล่องปริศนาหากุญแจคือ เป็นเกมรูปแบบ 3D เหมือนกันและมีความคล้ายกันภายในเกม เช่น มีความท้าทายและความตื่นเต้นภายในเกม และ ความแตกต่างของเกมคือ โปรแกรมที่ใช้พัฒนาเกมคำนวณทะลุมิติใช้โปรแกรมในการพัฒนาคือ Unity ส่วนเกมไขปริศนาหาทางออกใช้โปรแกรมในการพัฒนาคือ Unreal engine

อภินันท์ ภิรมย์, ภาคย์ สธนเสาวภาคย์ และภัทราวัลย์ คำปลิว (2559) จากการพัฒนาเกมสามมิติ เรื่อง เกมทางออกอยู่ไหน ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Unity 3D ในการพัฒนาเกม และ สร้างแผนที่เกม และใช้โปรแกรม Max 3ds ผู้วิจัยได้สร้างเกาะในเกมจำนวน 3 เกาะ โดยแต่ละเกาะจะมีมอนสเตอร์และ ความยากแตกต่างกันออกไป โดยเกาะที่ 1 จะง่ายที่สุด และมีมอนสเตอร์คือ ซอมบี้สำหรับมุมมองในเกมจะเป็นมุมมองของ บุคคลที่หนึ่ง ผู้วิจัยได้นำมอนสเตอร์จำนวน 4 ชนิดที่มาจากใน Unity 3D คือ มอนสเตอร์เอเลี่ยน มอนสเตอร์กบกลายพันธุ์ ซอมบี้ และก๊อบบิน เป็นกระบวนการโดยใช้วิธีการออกแบบ โมเดลสามมิติสอดคล้องกับแนวคิดของ Waterfall Model ที่ ออกแบบการทำงานเริ่มต้นจากการค้นหาความต้องการแล้วเริ่มออกแบบเริ่มการดำเนินการ จากนั้นทำการตรวจสอบ และ ขั้นตอนสุดท้าย คือ การปรับปรุงแก้ไขงาน และหลักการของ Waterfall Model สามารถกลับไปแก้ไข้งานได้เสมอ ส่งผลให้ นักศึกษาสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และสาขาเครือข่ายคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มีความพึงพอใจเกมสามมิติเรื่อง เกมทางออกอยู่ไหน โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.28 , SD. = 0.78)

จากงานวิจัยเกมทางออกอยู่ไหน มีความเกี่ยวข้องกับเกมกล่องปริศนาหากุญแจคือ เป็นเกมรูปแบบ 3D เหมือนกัน และมีความคล้ายกันภายในเกม เช่น การหาทางออกในเวลาที่กำหนด มีอุปสรรค และความยากท้าทายในแต่ละด่าน และความแตกต่างของเกมคือ โปรแกรมที่ใช้พัฒนาเกมทางออกอยู่ไหนใช้โปรแกรมในการพัฒนาคือ Unity ส่วนเกมกล่องปริศนาหากุญแจใช้โปรแกรมในการพัฒนาคือ Unreal engine4

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 ขั้นตอนการเตรียมการพัฒนา (Pre Production)

1) ศึกษาการพัฒนาเกมและลักษณะของเกม

2) การออกแบบโพลว์ชาร์ต (Flowchart Diagram)

3) เขียนสตอรี่บอร์ดของเกม

4) ออกแบบโมเดลตัวละคร ออกแบบฉาก เตรียม ภาพ เสียงประกอบ

1.2 ขั้นตอนการพัฒนา (Production)

1) นำตัวอักษร ภาพ เสียง แอนิเมชัน ฉาก ไอเทม โมเดลมาประกอบรวมกันตามสตอรี่บอร์ด

1.3 ขั้นตอนหลังการผลิต (Post Production)

1) ทดสอบเกม

2) ตรวจสอบความผิดพลาดของเกม

3) ประเมินประสิทธิภาพของเกม

4) ประเมินความพึงพอใจกลุ่มเป้าหมาย

5) จัดทำรูปเล่ม

2. เครื่องมือการวิจัย

2.1 เกมกล่องปริศนาหากุญแจ

2.2 แบบประเมินประสิทธิภาพ

2.3 แบบประเมินความพึงพอใจ

3. กลุ่มเป้าหมาย

3.1 กลุ่มเป้าหมาย บุคคลทั่วไป จำนวน 30 คน โดยวิธีการเลือกแบบบังเอิญ

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (บุญชม ศรีสะอาด ,2553) ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 – 5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 – 4.50 หมายถึง ระดับมาก
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 – 3.50 หมายถึง ระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 – 2.50 หมายถึง ระดับน้อย
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.50 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาเกม 3D เรื่องกล่องปริศนาหากุญแจ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาเกม 3D เรื่องกล่องปริศนาหากุญแจ ตามขั้นตอนการดำเนินการที่กำหนด และทำได้ครบเสร็จสมบูรณ์ตามขอบเขตที่กำหนด ดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 เกม 3D กล่องปริศนาหากุญแจ

จากภาพที่ 1 เกม 3D กล่องปริศนาหากุญแจประกอบด้วยตัวละคร 2 ตัว ผู้เล่นสามารถเลือกตัวละครเพื่อเล่นได้ มีด่านทั้งหมด 5 ด่าน แต่ละด่านมีความแตกต่างกัน และมีเวลากำหนด มีเสียงดนตรีประกอบ ตัวเกมจะมีฟังก์ชัน เก็บกุญแจ เปิดประตู กระโดด และหยุดเกม

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของเกม 3D เรื่องกล่องปริศนาหากุญแจ

ผู้วิจัยดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของเกม 3D เรื่องกล่องปริศนาหากุญแจที่พัฒนาขึ้น โดยการให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินประสิทธิภาพของเกมผ่านแบบสอบถาม จากนั้นนำผลการประเมินมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพเกมกล่องปริศนาหากุญแจ

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ด้านเนื้อหา	4.520	0.363	มากที่สุด
ด้านกราฟิก ตัวอักษร สี และเสียง	4.644	0.371	มากที่สุด
ด้านเทคนิคและการควบคุม	4.766	0.091	มากที่สุด
โดยรวม	**4.643**	**0.263**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพเกมกล่องปริศนาหากุญแจ พบว่า มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุดทุกรายการ

3. ผลการประเมินความพึงพอใจเกมกล่องปริศนาหากุญแจ

ผู้วิจัยดำเนินการสอบถามความพึงพอใจของนักเรียน นักศึกษาที่มีต่อเกมกล่องปริศนาหากุญแจ หลังจากที่ได้ทดลองเล่นเกมเสร็จแล้ว จากนั้นนำผลการสอบถามมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจเกมกล่องปริศนาหากุญแจ

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ด้านตัวเกม	4.366	0.571	มาก
ด้านกราฟิก	4.544	0.535	มากที่สุด
ด้านประโยชน์ที่ได้รับ	4.422	0.654	มาก
โดยรวม	**4.444**	**0.491**	**มาก**

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจเกมกล่องปริศนาหากุญแจ พบว่า กลุ่มเป้าหมายมีความพึงพอใจต่อเกมโดยรวมอยู่ในระดับมาก โดยพอใจด้านกราฟิกมากที่สุด เนื่องจากนักเรียนชอบการออกแบบฉากแต่ละด่าน ตัวละคร

อภิปรายผลการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้ผู้จัดทำได้ศึกษาและพัฒนาเกมกล่องปริศนาหากุญแจ เพื่อให้ผู้เล่นได้รับ ทักษะในการคิด ทักษะในการแก้ปัญหา ทักษะในการจำ ทักษะการเอาตัวรอด โดยผู้วิจัยได้ศึกษาขั้นตอนการพัฒนาเกมตามทฤษฎี 3P ศึกษาเครื่องมือที่ใช้พัฒนา และนำมาวิเคราะห์ออกแบบเนื้อหาของเกมให้มีความเหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย หลังจากนั้นได้ทำการพัฒนาเกม หาประสิทธิภาพของเกมโดยผู้เชี่ยวชาญ และประเมินความพึงพอใจของผู้เล่นที่มีต่อเกม ผลการพัฒนาเกมพบว่า เกมกล่องปริศนาหากุญแจ ผู้เล่นสามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของตัวละครในเกมและตามหากุญแจในแต่ละด่าน มีเสียงดนตรี

เพลิดเพลินแต่ละฉากมีความสมจริง มีอุปสรรคในเกม สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธนะโชติ บุญนันท์ (2564) เกมคำนวณทะลุมิติ ซึ่งมีรูปแบบแนวเกมที่ใช้ทักษะการคิดการคำนวณผ่านประตูทำให้ผู้เล่นมีความสนุกสนาน

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของเกม พบว่า เกมกล่องปริศนาหากุญแจ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 4.643 ผลรวมประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด มีความสอดคล้องกับ ธนะโชติ บุญนันท์ (2564) เกมคำนวณทะลุมิติ ที่มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 4.37 ที่มีผลรวมการประเมินประสิทธิภาพในระดับมากที่สุด เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื้องจาก เกมกล่องปริศนาหากุญแจมีด้านเนื้อหาของ ด้านกราฟิก ตัวอักษร สี และเสียง และด้านเทคนิคและการควบคุมอยู่ในระดับมากที่สุดเหมือนกัน เมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละด้านของเกมคำนวณทะลุมิติ

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของเกม พบว่า เกมกล่องปริศนาหากุญแจมีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 4.444 ผลรวมการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก สอดคล้องกับ ธนะโชติ บุญนันท์ (2564) เกมคำนวณทะลุมิติ ที่มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 4.49 ที่มีผลรวมการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื้องจาก เกมกล่องปริศนาหากุญแจมีด้านตัวเกม ด้านกราฟิก และด้านประโยชน์ที่ได้รับอยู่ในระดับมากเหมือนกัน เมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละด้านของเกมคำนวณทะลุมิติ และไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ อภินันท์ ภิรมย์ ภาคย์ สธนเสาวภาคย์ และภัทราวัลย์ คำปลิว (2559) เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้พัฒนาเกมทางออกอยู่ไหนใช้โปรแกรมในการพัฒนาคือ Unity ส่วนเกมกล่องปริศนาหากุญแจใช้โปรแกรมในการพัฒนาคือ Unreal Engine 4

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ดำเนินงานการพัฒนาเกมควรใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะขั้นสูง สามารถเล่นบนสมาร์ทโฟนได้ ควรพัฒนาเกมให้เล่นแบบออนไลน์ได้ และควรมีความตื่นเต้นและน่าสนใจมากกว่านี้

เอกสารอ้างอิง

ธนะโชติ บุญนันท์ ปิยวรรณ โถปาสอน. (2564). เกมคำนวณทะลุมิติ. ในการประชุมวิชาการระดับชาติการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 7 (NCTIM 2021: The 7th National Conference on Technology and Innovation Management). คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม, 4 มีนาคม 2564, หน้า 1721-1727.

บุญชม ศรีสะอาด. (2553). สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล. สืบค้นเมื่อ 11 มีนาคม 2564.จาก http://etheses.psru.ac.th/libirpsru/sites/default/files_5.pdf

อภินันท์ ภิรมย์, ภาคย์ สธนเสาวภาคย์ และภัทราวัลย์ คำปลิว. (2559). การพัฒนาเกมสามมิติ เรื่องเกมทางออกอยู่ไหน. สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2564. จาก http://it.rmu.ac.th/projectjournal/assets/uploads/formid/6/Y02.pdf

การพัฒนาเกม 3 มิติ เรื่อง ฮีโร่รัน

3D Game Development of the Hero Run

เอกรินทร์ เงินพลับพลา[1*] , ปิยวรรณ โถปาสอน[2]
สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร[1, 2]
Eakrin.ng61@snru.ac.th [*], piyawan@snru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาเกม 3 มิติ เรื่องฮีโร่รัน 2) ประเมินประสิทธิภาพของเกม 3 มิติ เรื่องฮีโร่รัน และ 3) ประเมินความพึงพอใจของเกม 3 มิติ เรื่องฮีโร่รัน กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ นักเรียน และนักศึกษา โดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง โปรแกรมที่ใช้พัฒนาประกอบด้วย Unreal Engine4, Audacity, Adobe Photoshop CS6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย เกม 3D เรื่องฮีโร่รัน แบบประเมินประสิทธิภาพ และแบบประเมินความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า เกมฮีโร่รัน สามารถเล่นได้บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ โดยใช้คีย์บอร์ดหรือจอยสติ๊กในการเล่น เป็นเกมแบบออฟไลน์ เป็นเกมอาเขต มีตัวละครให้เลือก 5 ตัว และมีทั้งหมด 5 ฉาก แต่ละฉากมีความแตกต่างกันและมีอุปสรรคต่างๆ มีเสียงดนตรีประกอบและมีเสียงบรรยาย ผลการประเมินประสิทธิภาพของเกมโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน พบว่า ประสิทธิภาพของเกมโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.645 ผลการประเมินความพึงพอใจโดยนักเรียนและนักศึกษา จำนวน 30 คน พบว่า ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.438

คำสำคัญ: การพัฒนาเกม 3 มิติ, เกมวิ่งไม่มีสิ้นสุด, ฮีโร่รัน

ABSTRACT

The purposes of the research were to 1) develop a 3D game Hero Run 2) to assess efficiency of the 3D game Hero Run and 3) to assess user satisfaction towards the 3D game Hero Run. There are the sample group by purposive sampling were school students and university students. Programs used for development include Unreal Engine4, Audacity, Adobe Photoshop CS6. The research tools were included Hero Run Game, an efficiency assessment form, and a satisfaction assessment form, the statistics used in the research were mean and standard deviation.

The results of the research showed that the Hero Run game can be played on the Windows operating system using a keyboard or joystick to play, it's an offline arcade game. there are 5 characters in the game that are able to play and have 5 stages, each stage has a different environment and obstacle also there is a music background, audio narration. The evaluation results of the game performance by 5 experts found that the overall game performance was excellent, the mean was 4.645. The satisfaction assessment results by 30 students showed that the overall satisfaction was great, the mean is 4.438.

Keyword: 3D game Development, Endless Running, Hero Run

บทนำ

ปัจจุบันเกมคอมพิวเตอร์เข้ามามีอิทธิพลกับวิถีชีวิตของเด็กและเยาวชนทั้งนี้เพื่อความผ่อนคลาย สร้างความสนุกและการเรียนรู้ ซึ่งเกมคอมพิวเตอร์เป็นสื่อมัลติมีเดีย ที่สามารถเล่นได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์โดยเกมคอมพิวเตอร์มีหลายประเภท เช่น เกมแอคชัน (Action) เกมผู้เล่นตามบทบาท (Role-Playings Game : RPG) เกมผจญภัย (Adventure Game : AG) เป็นต้น การเล่นเกมช่วยพัฒนาทักษะในด้านต่าง ๆ เช่น ทักษะความคิดสร้างสรรค์ทักษะการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า ทักษะการสร้างความสามัคคี และทักษะการทำงานเป็นทีม เป็นต้นทำให้เล็งเห็นถึงความสามารถของโปรแกรม อันเรียลเอนจิน (Unreal Engine) ที่สามารถสร้างเกมสามมิติที่สมจริง เปิดให้ใช้พัฒนาได้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายและมีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งเป็นที่ได้รับความนิยมสูงในวงการ นักพัฒนาเกม ที่ช่วยสร้างเกมสามมิติ ซึ่งสามารถทำงานได้บน 2 แพลตฟอร์ม คือ Windows และ OSX ซึ่งรูปแบบการพัฒนาเกมสามมิติที่มีในปัจจุบัน มีการออกแบบสถานที่สภาพแวดล้อมและรูปแบบการเล่นเกมสามมิติ (มิตรภาพ พงษานิช, 2562)

เกม เป็นลักษณะของกิจกรรมของมนุษย์เพื่อประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น เพื่อความสนุกสนาน ฝึกทักษะ และการเรียนรู้ เป็นต้น และในบางครั้งอาจใช้เพื่อประโยชน์ทางการศึกษาได้ (MacGregor, 2006) เกมสามมิติเป็นสื่อมัลติมีเดียที่ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้บนเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิคส์ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องเล่นเกมสำเร็จรูป สมาร์ทโฟน ผู้เล่นเกมสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวละครอย่างเป็นอิสระ เสมือนเป็นตัวผู้เล่นเอง ซึ่งเกมสามมิติจะมีความสมจริงในเรื่องของรูปที่นำเสนอต่อสายตาผู้ใช้งานจึงทำให้เป็นที่นิยม สำหรับผู้ที่เล่นเกม (อภินันท์ ภิรมย์, ภาคย์ สธนเสาวภาคย์ และภัทราวัลย์ คำปลิว, 2559)

จากข้อมูลข้างต้นผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเกมแบบ 3 มิติ ซึ่งเป็นเกมแนววิ่งไม่มีสิ้นสุดเก็บคะแนนและหลบหลีกอุปสรรคต่างๆ เพื่อเพิ่มทักษะทางด้านการฝึกสมาธิและความสามารถทางด้านการตอบสนอง จากการมองเห็นและการคิดโดยมีตัวละครฮีโร่ต่างๆ ให้เลือกเล่น ช่วยให้ผู้เล่นได้ฝึกสมาธิ และได้รับความสนุกสนานเพลิดเพลิน

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

1.เพื่อพัฒนาเกม 3 มิติ เรื่องเกมฮีโร่รัน

2.เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเกมฮีโร่รัน

3.เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เล่นเกมฮีโร่รัน

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อมรเทพ ตาลหอม (2563) จากงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเกมแว้นไป ติ๊กวิจัย ม.อุบล (Ride to UBU Research Building) โดยนำเสนอใน รูปแบบสามมิติ แนวชิมูเลชั่นเพื่อจำลองสภาพการจราจร บนเส้นทาง ประตูหนึ่ง ประตูสอง ประตูสาม ไปยังคณะ วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี บนระบบปฏิบัติการ วินโดวส์พัฒนาด้วยโรแกรม Unity 5 ใช้ภาษาซีชาร์ป (C#) มีด่านทั้งหมด 3 ด่าน ในแต่ละด่านมีสภาพสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันไป ผู้เล่นสามารถใช้รถในแต่ละด่านที่มีความ แตกต่างกันเพื่อให้ผู้เล่นได้ใช้ไหวพริบในการแก้ปัญหา ซึ่งทำให้ได้เกมที่สนุกสนานและมีกราฟิกที่สวยงาม สมจริงวิจัยวิทยาศาสตร์ พบว่าความพึงพอใจรวมในการ ใช้งาน 30 คนมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.13 และส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ (Standard Deviation: S.D.) 0.71 ซึ่งมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก และพบว่าผล การประเมินที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ “ความถูกต้องในการบังคับ” มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 และส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานเท่ากับ 0.66 ซึ่งมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

จากงานวิจัยเกมแว้นไป มีความเกี่ยวข้องกับเกมฮีโร่รัน คือ เป็นเกมที่ใช้ไหวพริบในการแก้ปัญหา และยังมีการออกแบบสภาพแวดล้อมภายในเกมแบบสามมิติและใช้โปรแกรม Unreal Engine ในการพัฒนาเพื่อให้สิ่งแวดล้อมภายในเกมสมจริง

วุฒิชัย มาตราช (2561) เกมสามมิติผาแดงนางไอ่หนีพญานาค การจัดทำโครงงานครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพัฒนาเกมสามมิติ ผาแดงนางไอ่หนีพญานาค 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเกม 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของเกม โดยมีขั้นตอน ในการพัฒนาดังนี้ ออกแบบรูปแบบของเกม, ออกแบบรูปแบบการเล่น, สร้างโมเดล, นำโมเดลเข้ามา ประกอบเป็นฉากในยูนิตี้, ตกแต่งเสียง, ทำการเขียนโค้ด, ทดสอบและแก้ไข เครื่องมือที่ใช้ในการ พัฒนา ประกอบด้วย Unity, Blander, VScode ผลการดำเนินการคือ ได้เกมสามมิติผาแดงนางไอ่หนีพญานาค ที่สามารถเล่นบน โทรศัพท์มือถือเป็นระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ได้ โดยผลการประเมินประสิทธิภาพของเกมโดย ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.89 อยู่ในเกณฑ์ระดับมาก และผลการประเมินความพึง พอใจโดยบุคคลทั่วไปจำนวน 30 คน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 อยู่ในเกณฑ์ระดับมาก

จากงานวิจัยเกมสามมิติ ผาแดงหนีนางไอ่หนีพญานาค มีความเกี่ยวข้องตัวเกมฮีโร่รันมีความคล้ายกันแต่การใช้โปรแกรมพัฒนาไม่เหมือนกัน ซึ่งโปรแกรมที่ใช้พัฒนาคือโปรแกรมอัลเรียลเอนจิน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 ขั้นตอนการเตรียมการพัฒนา (Pre Production)

1) ศึกษาการพัฒนาเกมและลักษณะของเกม

2) การออกแบบโพลว์ชาร์ต (Flowchart Diagram)

3) เขียนสตอรี่บอร์ดของเกม

4) ออกแบบโมเดลตัวละคร ออกแบบฉาก เตรียม ภาพ เสียงประกอบ

1.2 ขั้นตอนการพัฒนา (Production)

1) นำตัวอักษร ภาพ เสียง แอนิเมชัน ฉาก ไอเทม โมเดลมาประกอบรวมกันตามสตอรี่บอร์ด

2) พัฒนาเครื่องมือประกอบการวิจัย

1.3 ขั้นตอนหลังการผลิต (Post Production)

1) ทดสอบเกม

2) ตรวจสอบความผิดพลาดของเกม

3) ประเมินประสิทธิภาพของเกม

4) ประเมินความพึงพอใจกลุ่มเป้าหมาย

5) จัดทำรูปเล่ม

2. เครื่องมือการวิจัย

2.1 เกมเกมฮีโร่รัน 3 มิติ

2.2 แบบประเมินประสิทธิภาพ

2.3 แบบประเมินความพึงพอใจ

3. กลุ่มเป้าหมาย

3.1 กลุ่มเป้าหมาย บุคคลทั่วไป จำนวน 30 คน โดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง

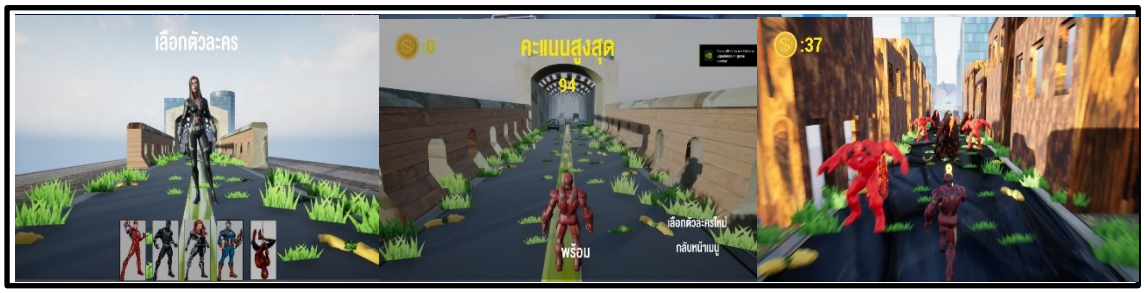
4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (บุญชม ศรีสะอาด ,2553) ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 – 5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 – 4.50 หมายถึง ระดับมาก
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 – 3.50 หมายถึง ระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 – 2.50 หมายถึง ระดับน้อย
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.50 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาเกม 3D เรื่องฮีโร่รัน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาเกม 3D เรื่องฮีโร่รัน ตามขั้นตอนการดำเนินการที่กำหนด และทำได้ครบเสร็จสมบูรณ์ตามขอบเขตที่กำหนด ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เกม 3D ฮีโร่รัน

จากภาพที่ 1 เกม 3D เรื่องฮีโร่รัน ประกอบด้วยตัวละคร 5 ตัวละคร ผู้เล่นสามารถเลือกตัวละครเพื่อเล่นได้ มีด่านทั้งหมด 5 ฉาก แต่ละฉากจะมีความแตกต่างกัน มีเสียงดนตรีประกอบ ตัวเกมจะมีฟังก์ชัน เก็บเหรียญ ชนสิ่งกีดขวาง กระโดด และระบบเก็บคะแนนสูงสุดของผู้ดล่นปัจจุบัญ

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของเกม 3D เรื่องฮีโร่รัน

ผู้วิจัยดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของเกม 3D เรื่องฮีโร่รัน ที่พัฒนาขึ้น โดยการให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ จำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินประสิทธิภาพของเกมผ่านแบบสอบถาม จากนั้นนำผลการประเมินมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพเกมฮีโร่รัน

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ด้านเนื้อหา	4.560	0.384	มากที่สุด
ด้านกราฟิก ตัวอักษร สี และเสียง	4.644	0.493	มากที่สุด
ด้านเทคนิคและการควบคุม	4.733	0.418	มากที่สุด
ภาพรวม	**4.645**	**0.415**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพเกมฮีโร่รันในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด หากจำแนกตามรายด้านจากมากไปน้อยพบว่า ลำดับที่หนึ่งด้านเทคนิคและการควบคุม ลำดับที่สองด้านกราฟิก ตัวอักษร สี และ ลำดับที่สามคือด้านเนื้อหา

3. ผลการประเมินความพึงพอใจเกมฮีโร่รัน

ผู้วิจัยดำเนินการสอบถามความพึงพอใจของนักเรียน นักศึกษาที่มีต่อเกมฮีโร่รัน หลังจากที่ได้ทดลองเล่นเกมเสร็จแล้ว จากนั้นนำผลการสอบถามมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจเกมฮีโร่รัน

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ด้านตัวเกม	4.358	0.540	มาก
ด้านกราฟิก	4.444	0.541	มาก
ด้านประโยชน์ที่ได้รับ	4.511	0.460	มากที่สุด
โดยรวม	**4.438**	**0.491**	**มาก**

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจเกมฮีโร่รันในภาพรวมอยู่ในระดับมากหากจำแนกตามรายด้านจากมากไปน้อยพบว่า ลำดับที่หนึ่งด้านประโยชน์ที่ได้รับ ลำดับที่สอง ด้านกราฟิก และ ลำดับที่สามด้านตัวเกม

อภิปรายผลการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้ผู้จัดทำโครงงานได้ศึกษาและพัฒนาเกมฮีโร่รัน เพื่อให้ผู้เล่นได้รับ ทักษะในการคิด ทักษะไหวพริบปฏิภาณในการแก้ปัญหา โดยผู้จัดทำโครงงานได้ศึกษาขั้นตอนการพัฒนาเกมตามทฤษฎี 3P ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาและนำมาวิเคราะห์ออกแบบเนื้อหาของเกมให้มีความเหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมาย หลังจากนั้นได้ทำการพัฒนาเกม หาประสิทธิภาพของเกมฮีโร่รันโดยผู้เชี่ยวชาญ และประเมินความพึงพอใจของผู้เล่นที่มีต่อเกม ผลการพัฒนาเกมพบว่า เกมฮีโร่รันผู้เล่นสามารถควบคุมตัวละครเคลื่อนไหวและมีระบบเกมมีการเก็บแต้มและฉากมีความสมจริงกับตัวละครในเกม สอดคล้องกับงานวิจัยของ วุฒิชัย มาตราช (2561) เกมสามมิติผาแดงนางไอ่หนีพญานาคมีซึ่งมีรูปแบบแนวเกมที่ใช้ทักษะฝึกสมาธิหลบสิ่งกีดขวางทำให้ผู้เล่นสนุกสนาน

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของเกม พบว่า เกมฮีโร่รันมีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 4.645 ผลรวมประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ไม่มีความสอดคล้องกับ วุฒิชัย มาตราช (2561) เกมสามมิติผาแดงนางไอ่หนีพญานาคที่มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 3.89 ที่มีผลรวมการประเมินประสิทธิภาพในระดับมาก เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เกมฮีโร่รันมีด้านเนื้อหาของ ด้านกราฟิก ตัวอักษร สี และเสียง และด้านเทคนิคและการควบคุมอยู่ในระดับมากที่สุด ต่างจากแต่ละด้านของเกมสามมิติผาแดงนางไอ่หนีพญานาค

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของเกม พบว่า เกมฮีโร่รันมีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 4.438 ผลรวมการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก สอดคล้องกับ วุฒิชัย มาตราช (2561) เกมสามมิติผาแดงนางไอ่หนีพญานาค ที่มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 4.270 ที่มีผลรวมการประเมินความพึงพอใจในระดับมาก เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เกมมีการใช้ทักษะและการเล่นที่คล้ายกัน

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ดำเนินงานการพัฒนาเกมควรใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะขั้นสูง สามารถเล่นบนสมาร์ทโฟนได้ ควรพัฒนาเกมให้เล่นแบบออนไลน์ได้ ควรมีระบบเก็บแต้มปัจจุบัน และควรมีความตื่นเต้นและน่าสนใจมากกว่านี้

เอกสารอ้างอิง

วุฒิชัย มาตราช. (2561). เกมสามมิติผาแดงนางไอ่หนีพญานาค. โครงงานคอมพิวเตอร์. สาขาวิชาคอมพิวเตอร์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

มิตรภาพ พงษานิช. (2562). การพัฒนาเกมสามมิติการ. สืบค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2564. จาก https://research.kpru.ac.th

บุญชม ศรีสะอาด. (2553). สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล. สืบค้นเมื่อ 11 มีนาคม 2564.จาก http://etheses.psru.ac.th/libirpsru/sites/default/files_5.pdf

อมรเทพ ตาลหอม. (2563). เกมแว้นไป ตึกวิจัย ม.อุบล. สืบค้นเมื่อ 24 กุมภาพันธ์ 2564. จาก https://li01.tci-thaijo.org/20File-831111-2-10-20200428%20(3).pdf

อภินันท์ ภิรมย์, ภาคย์ สธนเสาวภาคย์ และภัทราวัลย์ คำปลิว. (2559). การพัฒนาเกมสามมิติ เรื่องเกมทางออกอยู่ไหน. สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2564. จาก http://it.rmu.ac.th/projectjournal/assets/uploads/formid/6/Y02.pdf

การพัฒนาเกม 3 มิติ เรื่อง ไขปริศนาหาทางออก

3D Game Development the Puzzles to Find a Way Out

พรภวิษย์ สมอุดม[1*] , ปิยวรรณ โถปาสอน[2]
สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร[1, 2]
perspoompers@gmail.com [*], piyawan@snru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาเกม 3 มิติ เรื่องไขปริศนาหาทางออก 2) ประเมินประสิทธิภาพของเกม 3 มิติ เรื่องไขปริศนาหาทางออก และ 3) ประเมินความพึงพอใจของเกม 3 มิติ เรื่องไขปริศนาหาทางออก กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ นักเรียน และนักศึกษา โดยวิธีการเลือกแบบบังเอิญ โปรแกรมที่ใช้พัฒนาประกอบด้วย Unreal Engine4, Bridge, Adobe Photoshop CS6, Adobe Fuse เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย เกมไขปริศนาหาทางออก แบบประเมินประสิทธิภาพ และแบบประเมินความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการพัฒนาเกมพบว่า เกมไขปริศนาหาทางออก สามารถเล่นได้บนระบบปฏิบัติการวินโดว์โดยใช้คีย์บอดหรือจอยสติ๊กในการเล่น เป็นเกมแบบออฟไลน์ เป็นเกมผจญภัย มีตัวละครให้เลือก 2 ตัว มีด่านทั้งหมด 5 ด่าน แต่ละด่านมีความแตกต่างกัน มีเวลากำหนด มีเสียงดนตรีประกอบและมีเสียงบรรยาย ผลการประเมินประสิทธิภาพของเกมโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 คน พบว่า ประสิทธิภาพของเกมโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ผลรวม $\overline{X}$ = 4.644, SD = 0.377 ผลการประเมินความพึงพอใจโดยนักเรียนและนักศึกษา จำนวน 30 คน พบว่า ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ผลรวม $\overline{X}$ = 4.445, SD = 0.419

คำสำคัญ: เกมไขปริศนา, การพัฒนาเกม 3มิติ, เกมผจญภัย

ABSTRACT

The purposes of the research were to develop 3D game about solving puzzles and finding a way out, to assess efficiency of the developed 3D game, and to assess user satisfaction towards the 3D game. There are the sample group by accidental selection were school students and university students. Programs used for development include Unreal Engine4, Bridge, Adobe Photoshop CS6, Adobe Fuse. The research tools were the 3D game about solving puzzles and finding a way out, an efficiency assessment form, and a satisfaction assessment form, the statistics used in the research were mean and standard deviation.

The results of the research showed that a 3D game about solving puzzles and finding a way out can be played on Windows using a keyboard or joystick to play. It's an offline adventure game, there are 2 characters in the game that can play and have 5 levels, each level has a different environment also there is a time limit, music background, audio commentary for each level. the evaluation results of the game performance by 7 experts found that the overall game performance was excellent. The mean was 4.644. The satisfaction assessment results by school students and university students 30 people showed that the overall satisfaction was great, the mean is 4.445.

Keyword: Puzzle Game, 3D Game Development, Adventure Game

บทนำ

เกมเป็นลักษณะของกิจกรรมของมนุษย์เพื่อประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น เพื่อความสนุกสนานบันเทิง เพื่อฝึกทักษะ และเพื่อการเรียนรู้ เป็นต้น และในบางครั้งอาจใช้เพื่อประโยชน์ทางการศึกษาได้ (MacGregor Historic Games. 2006) เกมสามมิติเป็นสื่อมัลติมีเดียที่ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้บนเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิคส์ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องเล่นเกมสำเร็จรูป สมาร์ทโฟน ผู้เล่นเกมสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวละครอย่างเป็นอิสระเสมือนเป็นตัวผู้เล่นเอง ซึ่งเกม 3 มิติ จะมีความสมจริงในเรื่องของรูปที่นำเสนอต่อสายตาผู้ใช้งานจึงทำให้เป็นที่นิยมสำหรับผู้ที่เล่นเกม (อภินันท์ ภิรมย์, ภาคย์ สธนเสาวภาคย์ และภัทราวัลย์ คำปลิว, 2559)

เกมผจญภัย (Advanture Game) เป็นเกมประเภทหนึ่ง ที่ผู้เล่นจะสวมบทบาทเป็นตัวละครตัวหนึ่งและต้องกระทำเป้าหมายในเกมให้สำเร็จลุล่วงไปได้ โดยเน้นไปที่การแก้ปริศนา โดยส่วนมากปริศนาในเกมจะเน้นใช้ตรรกะแก้ปัญหาและใช้สิ่งของที่ผู้เล่นเก็บมาระหว่างผจญภัย นอกจากนั้นผู้เล่นยังคงต้องพูดคุยกับตัวละครตัวอื่นๆ อีกด้วย โดยส่วนมากเกมผจญภัยมักจะถูกสร้างมาให้สำหรับเล่นคนเดียว เพราะเนื้อเรื่องและการลำดับเหตุการณ์เหมาะสำหรับเล่นคนคนเดียวเท่านั้น อย่างไรก็ดีคำว่า เกมผจญภัยนั้นเป็นคำจำกัดความที่กว้าง หลาย ๆ ครั้งที่ผู้คนมักจะเข้าใจผิดและเรียกเกมที่มีส่วนผสมของเกมผจญภัยว่าเป็นเกมผจญภัย เช่น ไบโอแฮซเซิด (Bio Hazard), เดอะเลจเจินออฟเซลด้า (The Legend of Zelda) (วิกิพีเดีย, 2564) พัฒนาการเด็กอายุ 6-12 ปี พัฒนาการทางสติปัญญา เด็กวัยนี้สามารถคิด วิเคราะห์ และแก้ปัญหาได้ชัดเจนมากขึ้น รู้จักให้เหตุผลในการแก้ปัญหา รับผิดชอบและตัดสินใจได้ด้วยตนเองรับฟังคนอื่นมากขึ้น กระตือรือร้นในการแสวงหาความรู้ ชอบสร้างสรรค์สิ่งใหม่ๆ เด็กวัยนี้จะสนใจในเรื่องของธรรมชาติ การท่องเที่ยวสถานที่ต่างๆ โดยทั่วไปเด็กผู้ชายจะสนใจเรื่องการพิสูจน์ ทดลอง ส่วนเด็กผู้หญิงจะสนใจเรื่องการทำอาหาร เย็บปักถักร้อย การอ่านหนังสือต่างๆ (สุชา จันทน์เอม, 2536) ซึ่งเกมที่จะจัดทำขึ้นมามีลักษณะเป็นเกมผจญภัยที่เน้นไขปริศนา (Puzzle Advanture) ที่ใช้รูปภาพหรือตัวคนจริงๆ มาแสดงในหน้าจอของผู้เล่น เกมไขปริศนาสามารถสอนให้ผู้เล่นได้เรียนรู้สิ่งต่างๆ ที่แฝงไว้ในเกม เช่น ทักษะในการคิด ทักษะในการแก้ปัญหา ทักษะในการจำ ซึ่งทักษะที่กล่าวมาเหมาะกับการพัฒนาเด็กที่มีอายุ 6-12 ปี

จากข้อมูลข้างต้นผู้จัดทำโครงงานจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเกมแบบ 3 มิติ ขึ้นมา ที่เล่นบนคอมพิวเตอร์ พัฒนาโดยการใช้โปรแกรม อันเรียลเอนจิน (Unreal Engine) เนื้อหาของเกมจะให้ผู้เล่นทำการแก้ไขปริศนาในระดับต่างๆ เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมาย ซึ่งเป็นเกมผจญภัยที่ให้ผู้เล่นค้นหาทางออกในเวลาที่กำหนด โดยต้องคิดวิธีหาทางออกที่ใกล้ที่สุดและเร็วที่สุด จะเป็นเกมในรูปแบบกราฟิก 3 มิติ สมจริงทำให้ผู้เล่นไม่น่าเบื่อ มีความสนุกสนานในการเล่นให้มีความตื่นเต้นในการเล่น ผู้เล่นจะต้องหาทางออกในเวลาที่กำหนดและแก้ปัญหาในการเล่นในระดับต่างๆ ซึ่งผู้เล่นจะได้ประโยชน์จากการเล่นเกม คือ ทักษะในการคิด ทักษะในการแก้ปัญหา ทักษะในการจำ และได้รับความสนุกสนานเพลิดเพลินในการเล่นเกม

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเกม 3 มิติ เรื่องไขปริศนาหาทางออก
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเกม 3 มิติ เรื่องไขปริศนาหาทางออก
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของเกม 3 มิติ เรื่องไขปริศนาหาทางออก

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อภินันท์ ภิรมย์ ภาคย์ สธนเสาวภาคย์ และภัทราวัลย์ คำปลิว (2559) จากการพัฒนาเกมสามมิติ เรื่อง เกมทางออกอยู่ไหน ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม ยูนิตี้สามมิติ (Unity 3D) ในการพัฒนาเกม และ สร้างแผนที่เกม และใช้โปรแกรม เม็คสามดี (Max 3d) ผู้วิจัยได้สร้างเกาะในเกมจำนวน 3 เกาะ โดยแต่ละเกาะจะมีมอนสเตอร์และ ความยากแตกต่างกันออกไป โดยเกาะที่ 1 จะง่ายที่สุด และมีมอนสเตอร์คือ ซอมบี้สำหรับมุมมองในเกมจะเป็นมุมมองของ บุคคลที่หนึ่ง ผู้วิจัยได้นำมอนสเตอร์จำนวน 4 ชนิดที่มาจากใน ยูนิตี้ คือ มอนสเตอร์เอเลี่ยน มอนสเตอร์กบกลายพันธุ์ ซอมบี้ และก๊อบบิน เป็นกระบวนการโดยใช้วิธีการออกแบบ โมเดลสามมิติสอดคล้องกับแนวคิดของ วอเตอร์ฟอลโมเดล (Waterfall Model) ที่ ออกแบบการทำงานเริ่มต้นจากการค้นหาความต้องการแล้วเริ่มออกแบบ เริ่มการดำเนินการ จากนั้นทำการตรวจสอบ และ ขั้นตอนสุดท้าย คือ การปรับปรุงแก้ไขงาน และหลักการของ วอเตอร์ฟอลโมเดล สามารถกลับไปแก้ไข้งานได้เสมอ ส่งผลให้ นักศึกษาสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และสาขาเครือข่ายคอมพิวเตอร์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏ มหาสารคามมีความพึงพอใจเกมสามมิติ เรื่อง เกมทางออกอยู่ไหน โดยรวมอยู่ใน ระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.28, SD. = 0.78)

จากงานวิจัยเกมทางออกอยู่ไหน มีความเกี่ยวข้องกับเกมไขปริศนาหาทางออกคือ เป็นเกมรูปแบบ 3 มิติ เหมือนกันและมีความคล้ายกันภายในเกม เช่น การหาทางออกในเวลาที่กำหนด มีมอนเตอร์ มีอุปสรรค และสภาพอากาศในแต่ละด่านและความแตกต่างของเกมคือ โปรแกรมที่ใช้พัฒนาเกมทางออกอยู่ไหนใช้โปรแกรมในการพัฒนาคือ ยูนิตี้ ส่วนเกมไขปริศนาหาทางออกใช้โปรแกรมในการพัฒนาคือ อันเรียลเอนจิน

ธนะโชติ บุญนันท์ (2564) เกมคำนวณทะลุมิติ งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาเกมคำนวณทะลุมิติ 2) ประเมินประสิทธิภาพของเกมโดยผู้เชี่ยวชาญ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้เล่นเกมคำนวณทะลุมิติ กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนจากโรงเรียนวิถีธรรมแห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 – 3 จำนวน 30 คน โดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยเกมคำนวณทะลุมิติ แบบประเมินประสิทธิภาพ และแบบสอบถามความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานผลการวิจัยพบว่า 1) เกมคำนวณทะลุมิติ มีตัวละครให้เลือก 2 ตัวและผู้เล่นสามารถเล่นได้ 3 ระดับ คือ ง่าย ปานกลาง และยาก แต่ละระดับมีความท้าทายแตกต่างกันทำให้ผู้เล่นมีความสนุกในการคิดคำนวณให้ผ่านแต่ละด่าน 2) ผลการประเมินประสิทธิภาพของเกมคำนวณทะลุมิติโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่า ประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมากค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.373 และ 3) ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมายพบว่า มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับดีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.490

จากงานวิจัยเกมทางออกอยู่ไหน มีความเกี่ยวข้องกับเกมคำนวณทะลุมิติ คือ เป็นเกมรูปแบบ 3 มิติ เหมือนกันและมีความคล้ายกันภายในเกม เช่น มีการตอบปัญหาภายในเกม มีมอนเตอร์วิ่งไล่ และความแตกต่างของเกมคือ โปรแกรมที่ใช้พัฒนาเกมคำนวณทะลุมิติใช้โปรแกรมในการพัฒนาคือ ยูนิตี้ ส่วนเกมไขปริศนาหาทางออกใช้โปรแกรมในการพัฒนาคือ อันเรียลเอนจิน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 ขั้นตอนการเตรียมการพัฒนา (Pre Production)

1) ศึกษาการพัฒนาเกมและลักษณะของเกม

2) การออกแบบโพลว์ชาร์ต (Flowchart Diagram)

3) เขียนสตอรี่บอร์ดของเกม

4) ออกแบบโมเดลตัวละคร ออกแบบฉาก เตรียม ภาพ เสียงประกอบ

1.2 ขั้นตอนการพัฒนา (Production)

1) ประกอบโมเดลตัวละคร ฉาก ตัวอักษร ภาพ เสียง แอนิเมชัน ตามการออกแบบ

1.3 ขั้นตอนหลังการผลิต (Post Production)

1) ทดสอบเกม

2) ตรวจสอบความผิดพลาดของเกม

3) ประเมินประสิทธิภาพของเกม

4) ประเมินความพึงพอใจกลุ่มเป้าหมาย

5) จัดทำรูปเล่ม

2. เครื่องมือการวิจัย

2.1 เกมไขปริศนาหาทางออก

2.2 แบบประเมินประสิทธิภาพ

2.3 แบบประเมินความพึงพอใจ

3. กลุ่มเป้าหมาย

3.1 กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ นักเรียน และนักศึกษา จำนวน 30 คน โดยวิธีการเลือกแบบบังเอิญ

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (บุญชม ศรีสะอาด ,2553) ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 – 5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 – 4.50 หมายถึง ระดับมาก

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 – 3.50 หมายถึง ระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 – 2.50 หมายถึง ระดับน้อย

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.50 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาเกม 3 มิติ เรื่องไขปริศนาหาทางออก

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาพัฒนาเกม 3 มิติ เรื่องไขปริศนาหาทางออก ตามขั้นตอนการดำเนินการที่กำหนด และทำได้ครบเสร็จสมบูรณ์ตามขอบเขตที่กำหนด ดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 เกม 3 มิติไขปริศนาหาทางออก

จากภาพที่ 1 เกม 3 มิติไขปริศนาหาทางออกประกอบด้วยตัวละคร 2 ตัว ผู้เล่นสามารถเลือกตัวละครเพื่อเล่นได้ มีด่านทั้งหมด 5 ด่าน แต่ละด่านมีความแตกต่างกัน และมีเวลากำหนด มีเสียงดนตรีประกอบ แต่ละด่านมีเสียงบรรยายเพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับผู้เล่นวัยเด็ก ตัวเกมจะมีฟังก์ชัน เปิดประตู ตอบคำถาม หยุดเกม และสลับมุมมองในการเล่นได้

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของเกม 3 มิติ เรื่องไขปริศนาหาทางออก

ผู้วิจัยดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของเกม 3 มิติ เรื่องไขปริศนาหาทางออกที่พัฒนาขึ้น โดยการให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน ทำการประเมินประสิทธิภาพของเกมผ่านแบบสอบถาม จากนั้นนำผลการประเมินมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพเกมไขปริศนาหาทางออก

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ด้านเนื้อหา	4.657	0.340	มากที่สุด
ด้านกราฟิก ตัวอักษร สี และเสียง	4.657	0.442	มากที่สุด
ด้านเทคนิคและการควบคุม	4.619	0.405	มากที่สุด
โดยรวม	**4.644**	**0.377**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพเกมไขปริศนาหาทางออก พบว่า มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุดทุกรายการ

3. ผลการประเมินความพึงพอใจเกมไขปริศนาหาทางออก

ผู้วิจัยดำเนินการสอบถามความพึงพอใจของนักเรียน นักศึกษาที่มีต่อเกมไขปริศนาหาทางออก หลังจากที่ได้ทดลองเล่นเกมเสร็จแล้ว จากนั้นนำผลการสอบถามมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจเกมไขปริศนาหาทางออก

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ด้านตัวเกม	4.358	0.467	มาก
ด้านกราฟิก	4.511	0.444	มากที่สุด
ด้านประโยชน์ที่ได้รับ	4.466	0.451	มาก
โดยรวม	**4.445**	**0.419**	**มาก**

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจเกมไขปริศนาหาทางออก พบว่า กลุ่มเป้าหมายมีความพึงพอใจต่อเกมโดยรวมอยู่ในระดับมาก โดยพอใจด้านกราฟิกมากที่สุด เนื่องจากนักเรียนชอบการออกแบบฉากแต่ละด่าน ตัวละคร ภาพ ข้อความ และเสียงประกอบ

อภิปรายผลการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาและพัฒนาเกมไขปริศนาหาทางออก เพื่อให้ผู้เล่นได้รับ ทักษะในการคิด ทักษะในการแก้ปัญหา ทักษะในการจำ โดยผู้วิจัยได้ศึกษาขั้นตอนการพัฒนาเกมตามทฤษฎี 3P ศึกษาเครื่องมือที่ใช้พัฒนา และนำมาวิเคราะห์ออกแบบเนื้อหาของเกมให้มีความเหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย หลังจากนั้นได้ทำการพัฒนาเกม หาประสิทธิภาพของเกมโดยผู้เชี่ยวชาญ และประเมินความพึงพอใจของผู้เล่นที่มีต่อเกม ผลการพัฒนาเกมพบว่า เกมไขปริศนาหาทางออก ผู้เล่นสามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของตัวละครในเกมและมีการไขปริศนาในแต่ละด่าน มีเสียงบรรยายแต่ละฉากมีความสมจริง มีอุปสรรคในเกม สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธนะโชติ บุญนันท์ (2564) เกมคำนวณทะลุมิติ ซึ่งมีรูปแบบแนวเกมที่ใช้ ทักษะการคิดการคำนวณผ่านประตูทำให้ผู้เล่นมีความสนุกสนาน

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของเกม พบว่า เกมไขปริศนาหาทางออกมีผลรวม $\overline{X}$ = 4.644, SD = 0.377 ผลรวมประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด มีความสอดคล้องกับ ธนะโชติ บุญนันท์ (2564) เกมคำนวณทะลุมิติ ที่มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 4.373 ที่มีผลรวมการประเมินประสิทธิภาพในระดับมากที่สุด เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เกมไขปริศนาหาทางออกมีด้านเนื้อหาของ ด้านกราฟิก ตัวอักษร สี และเสียง และด้านเทคนิคและการควบคุมอยู่ในระดับมากที่สุดเหมือนกัน เมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละด้านของเกมคำนวณทะลุมิติ

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของเกม พบว่า เกมไขปริศนาหาทางออกมีผลรวม $\overline{X}$ = 4.445, SD = 0.419 ผลรวมการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก สอดคล้องกับ ธนะโชติ บุญนันท์ (2564) เกมคำนวณทะลุมิติ ที่มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 4.490 ที่มีผลรวมการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เกมไขปริศนาหาทางออกมีด้านตัวเกม ด้านกราฟิก และด้านประโยชน์ที่ได้รับอยู่ในระดับมากเหมือนกัน เมื่อเปรียบเทียบกันแต่ละด้านของเกมคำนวณทะลุมิติ และไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ อภินันท์ ภิรมย์, ภาคย์ สธนเสาวภาคย์ และภัทราวัลย์ คำปลิว (2559) เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้พัฒนาเกมทางออกอยู่ไหนใช้โปรแกรมในการพัฒนาคือ Unity ส่วนเกมไขปริศนาหาทางออกใช้โปรแกรมในการพัฒนาคือ Unreal Engine 4

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ดำเนินงานการพัฒนาเกมควรใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะขั้นสูง สามารถเล่นบนสมาร์ทโฟนได้ ควรพัฒนาเกมให้เล่นแบบออนไลน์ได้ และควรมีคำถามในเกมที่หลากหลาย

เอกสารอ้างอิง

ธนะโชติ บุญนันท์ ปิยวรรณ โถปาสอน. (2564). เกมคำนวณทะลุมิติ. ในการประชุมวิชาการระดับชาติการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 7 (NCTIM 2021: The 7th National Conference on Technology and Innovation Management). คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม, 4 มีนาคม 2564, หน้า 1721-1727.

นิภัทร์ ปัญญาวานันท์. (2562). การออกแบบโมเดลตัวละคร และการสร้างสรรค์ งานแอนิเมชัน 3มิติ. สืบค้นเมื่อ 24 กุมภาพันธ์ 2564. จาก https://so01.tci-thaijo.org

บุญชม ศรีสะอาด. (2553). สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล. สืบค้นเมื่อ 11 มีนาคม 2564.จาก http://etheses.psru.ac.th/libirpsru/sites/default/files_5.pdf

อภินันท์ ภิรมย์, ภาคย์ สธนเสาวภาคย์ และภัทราวัลย์ คำปลิว. (2559). การพัฒนาเกมสามมิติ เรื่องเกมทางออกอยู่ไหน. สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2564. จาก http://it.rmu.ac.th/projectjournal/assets/uploads/formid/6/Y02.pdf

วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY
ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 (2021) : กรกฎาคม – ธันวาคม 2564

ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ กรณีศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

Material and Equipment Management System: A Case Study of the Department of Health Science of Sakon Nakhon Rajabhat University

ศิริวงศ์ รักษาสร้อย[1] นิภาพร ชนะมาร[2*]

Siriwong Raksasroy[1] Nipaporn Chanamarn[2*]

[1,2]สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

[1,2]Department of Computer, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon Province, 47000

Corresponding author Email: nipaporn@snru.ac.th[*]

Received 7 October 2021, Accepted 21 December 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สำหรับลงทะเบียน การตรวจสอบ และการยืมคืน จากการศึกษาวิธีการดำเนินงานจากเดิมพบว่าในหน่วยงานยังมีการลงทะเบียนวัสดุครุภัณฑ์ด้วยการบันทึกข้อมูลลงในโปรแกรม Microsoft Excel ในขณะที่การยืมคืน มีการบันทึกลงในกระดาษและจัดเก็บในแฟ้มเอกสาร จากระบบเดิมดังกล่าวเกิดปัญหาการตรวจนับข้อมูลผิดพลาด ใช้เวลาในการค้นหาข้อมูล และการสรุปข้อมูล เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ พัฒนาในรูปแบบของระบบเว็บแอปพลิชัน ด้วยภาษา PHP โดยเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินเป็นแบบสอบถามประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน และประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานระบบจำนวน 30 คน คัดเลือกด้วยวิธีการเจาะจงกลุ่มเป้าหมาย สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก คาเฉลี่ย และสวนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษาพบว่า ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สามารถใช้งานได้จริงตามวัตถุประสงค์ โดยช่วยลดปัญหาการจัดเก็บข้อมูล การรายงานสรุปข้อมูล และการติดตามสถานะข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพได้ ซึ่งประเมินจากผลการประเมินประสิทธิภาพระบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$=4.12, S.D.=0.48) และความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$=4.34, S.D.=0.69)

คำสำคัญ : ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์, การพัฒนาซอฟต์แวร์, การประเมินประสิทธิภาพระบบ, ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ABSTRACT

This research aimed to develop “Material and Equipment Management System” of the Department of Health Science Program of Sakon Nakhon Rajabhat University. This system utilized for registration, check, and borrow and return material and equipment. According to review the existing practices, the department applied Microsoft Excel as a program for record the list of available materials and equipment. Meanwhile, a paper-based record was used for borrow and return with gathering in binders. These existing, traditional system had been reported a counting error, time-consuming when searching and summarizing data. To minimize its problems, the researchers developed the “Material and Equipment Management System” of the Department of Health Science Program using Web application and PHP language. The assessment tool was a questionnaire for a system performance evaluation by 5 experts. Moreover, the satisfaction of 30 system’s users were assessed accordingly. Users were selected by purposive sampling. Descriptive statistics was utilized for data analysis including mean and standard deviation.

The results revealed that “Material and Equipment Management System” of the Department of Health Science Program of Sakon Nakhon Rajabhat University is able to use as its purposes. The system reduces the problems of the data storage, the summary report and the checking process of the current status of materials and equipment of the Department of Health Science Program. Meanwhile, the system performance evaluation is at high level ($\bar{X}$=4.12, S.D.=0.48), and the user satisfaction is at high level ($\bar{X}$=4.34, S.D.=0.69).

Keywords : Material and Equipment Management System, Software Development, System Performance Evaluation, User Satisfaction

บทนำ

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เป็นสาขาที่พัฒนาบัณฑิตด้านสาธารณสุขศาสตร์ ดังนั้นเพื่อสนับสนุนการจัดการเรียนการสอนของหลักสูตรสาธารณสุข จึงได้มีอุปกรณ์สิ่งสนับสนุนอำนวยความสะดวกมากมายในการส่งเสริมการจัดการเรียนการสอน ทั้งคอมพิวเตอร์ ห้องปฏิบัติการกายวิภาค วัสดุครุภัณฑ์ ทางสาธารณสุขชุมชน ทั้งนี้ระบบบริหารจัดการทั้งการจัดเก็บข้อมูล การตรวจสอบวัสดุครุภัณฑ์ การติดตามสถานะการยืมคืน การรายงานผลข้อมูลประจำปี การตรวจสอบการชำรุดของครุภัณฑ์ การตรวจสอบสต๊อกวัสดุ ยังมีการจัดการด้วย Spreadsheet ของโปรแกรม Microsoft Excel ในบางส่วน และจัดการด้วยการใช้กระดาษในการจัดเก็บข้อมูลและแฟ้มเอกสาร ซึ่งทำให้การบริหารจัดการต่างๆ ทำได้ลำบากและยุ่งยาก ใช้เวลานานในการรายงานข้อมูล ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าวสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มีความต้องการที่จะแก้ปัญหาโดยการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้งาน

ปัจจุบันเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ กลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิตประจำวันของมนุษย์ โดยเฉพราะอย่างยิ่งในกระบวนการบริหารจัดการของแต่ละองค์กร ที่ได้มีการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาใช้ในการพัฒนางานด้านต่าง ๆ เช่น การบริหารงานบุคล การจัดซื้อจัดจ้าง งานพัสดุครุภัณฑ์ งานการวางแผน การเก็บข้อมูลและประมวลผล หรือแม้กระทั่งการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้กับระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ ที่จะช่วยในการเก็บข้อมูลให้มีประสิทธิภาพ

และลดเวลาในการทำงาน ซึ่งมีนักวิจัยได้นำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้หลายแขนง เช่น [1] ได้พัฒนาระบบตรวจสอบครุภัณฑ์ด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด ได้ผลการประเมินความพึงพอใจเรียงลำดับจากค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย คือ ด้านความง่ายต่อการใช้งานของระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 ด้านการตรงความต้องการของผู้ใช้ระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 สรุปโดยรวม ระบบตรวจสอบครุภัณฑ์ด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี QR Code มีความพึงพอใจในระดับดี และ [2] ได้พัฒนาระบบระบบจัดการครุภัณฑ์โดยใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดเป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการ และตรวจสอบข้อมูลครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี โดยพัฒนาระบบเป็นแอปพลิเคชันบนแอนดรอยด์ด้วยภาษาจาวาและใช้มายเอสคิวแอลเป็นระบบจัดการฐานข้อมูล และนำเทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดมาใช้ในการพัฒนาระบบจัดการครุภัณฑ์ผ่านทางเว็บไซต์ และ สแกนข้อมูลผ่านทางโปรแกรมประยุกต์บนมือถือได้ เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบครุภัณฑ์ และ [4] ได้พัฒนาระบบสารสนเทศจัดการฐานข้อมูล โดยใช้สถิติ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่า รายการประเมิน 3 รายการ ให้ความพึงพอใจระดับมากที่สุด ได้แก่ ความสามารถในการใช้งานง่าย มีความสม่ำเสมอบนหน้าเว็บไซต์และความความสมบูรณ์ของการแสดงผล และรายการประเมิน 2 รายการ ผู้ประเมินให้ความพึงพอใจในระดับมาก ได้แก่ ความสามารถในการสืบค้นและความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล

จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของเทคโนโลยีในปัจจุบัน จึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เพื่อความสะดวกในการบริหารจัดการข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ มีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ และลดเวลาในการทำงานได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

วิธีการวิจัย

การศึกษาการพัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการวิจัยดังนี้

1. การวิเคราะห์ความต้องการ ผู้วิจัยได้ดำเนินการทำการสัมภาษณ์ข้อมูลจากเจ้าหน้าที่วัสดุของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ เพื่อทราบถึงปัญหาและความต้องการของระบบงาน ดังนี้

1.1 ผู้ดูแลระบบ สามารถจัดการข้อมูลผู้ดูแลระบบ ข้อมูลบุคลากรในสาขา ข้อมูลผู้บริหาร ข้อมูลสมาชิกและข้อมูลเจ้าหน้าที่วัสดุ

1.2 เจ้าหน้าที่วัสดุของสาขา สามารถดูข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ เบิกวัสดุหรือยืมครุภัณฑ์ ข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ จัดการสถานะวัสดุและครุภัณฑ์ อนุมัติการยืม-คืน ยืนยันการคืน และดูรายงานสถานะการอนุมัติให้ยืม

1.3 ผู้บริหาร สามารถอนุมัติการยืม ดูข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ เบิกวัสดุหรือยืมครุภัณฑ์ และดูรายงานข้อมูลการขอยืม

1.4 บุคลากรในสาขา สามารถดูข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ แจ้งขอยืมวัสดุหรือครุภัณฑ์ และดูรายงานสถานะการอนุมัติให้ยืม

1.5 สมาชิก สามารถ ดูข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ แจ้งขอยืมวัสดุหรือครุภัณฑ์ และดูรายงานสถานะการอนุมัติให้ยืมของตัวเองได้

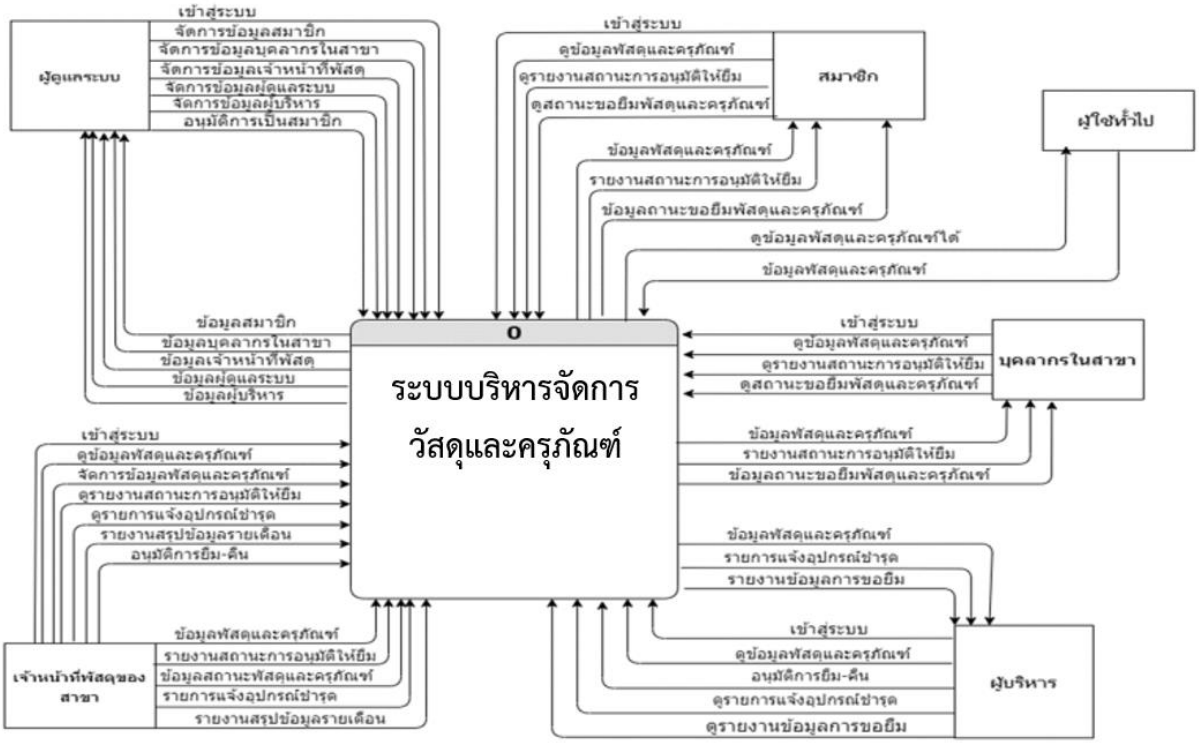
1.6 ผู้ใช้ทั่วไป สามารถดูข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ได้

2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

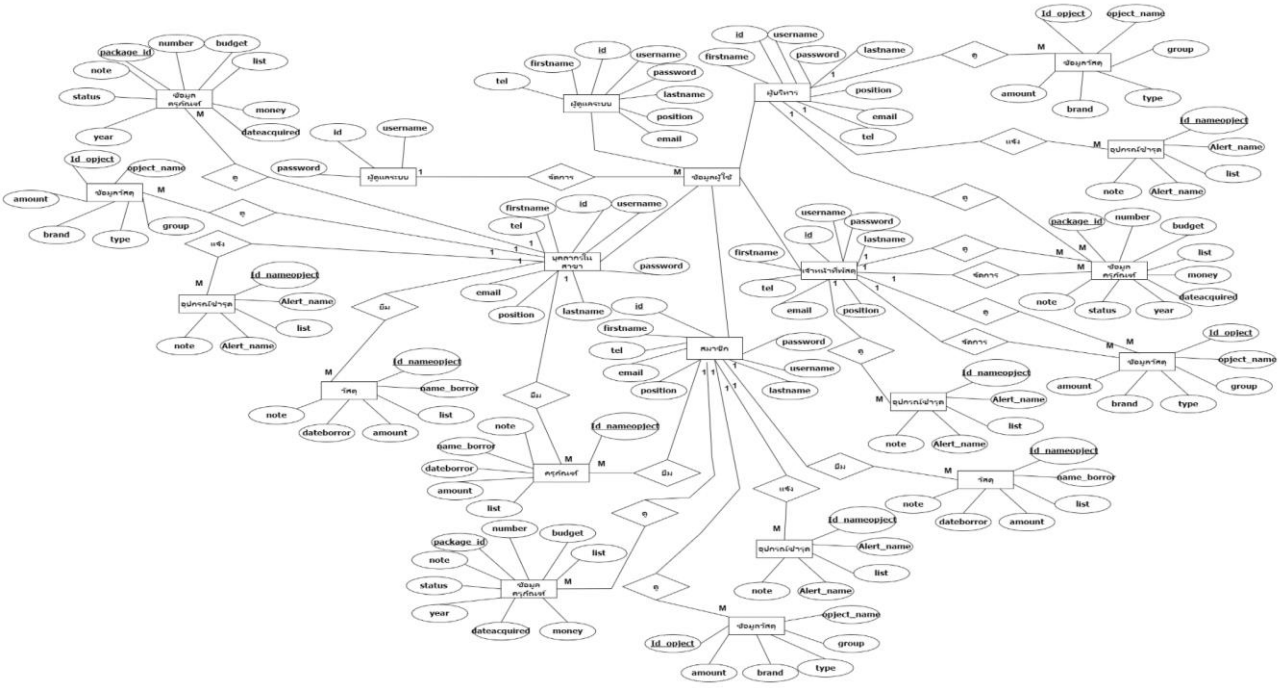
2.1 วางแผนการดำเนินงาน เป็นการกำหนดตารางการดำเนินงานเพื่อให้สามารถทำงานวิจัยได้ตามแผนการดำเนินงาน

2.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล ทำการรวบรวมข้อมูลโดยการสอบถามเก็บรวบรวมข้อมูลจากสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เพื่อให้ทราบระบบงานเดิมของการยืมคืนวัสดุและครุภัณฑ์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูล

2.3 วิเคราะห์และออกแบบความต้องการของระบบ ผู้วิจัยได้ศึกษาสภาพปัญหาทั่วไปจากการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูลกระบวนการทำงานเดิมที่ใช้อยู่พบว่า การยืมคืนวัสดุและครุภัณฑ์ ระบบงานเดิมยังมีการเก็บรักษาข้อมูลยังไม่เป็นระบบ ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ระบบใหม่สำหรับการพัฒนาระบบ แสดงดังภาพ 1 และการออบแบบฐานข้อมูลด้วยแผนภาพ ER-diagram ดังภาพ 2



ภาพที่ 1 แสดงแผนภาพกระแสการทำงานภาพรวมของระบบ



ภาพที่ 2 แสดงแบบจำลองโครงสร้างและความสัมพันธ์ของฐานข้อมูล

2.4 พัฒนาระบบโดยทำการ Implement ระบบตามที่ออกแบบไว้ด้วยเครื่องมือในการพัฒนาระบบ ใช้ภาษา PHP สำหรับพัฒนาประมวลผลที่ฝั่ง Web Server และใช้ภาษา Java Script ในการเพิ่มความสามารถการจัดการที่ฝั่งผู้ใช้งานระบบ และใช้โปรแกรม AppServ เพื่อจำลองเครื่องเป็น Web Server ใช้โปรแกรม MySQL ในการจัดการระบบฐานข้อมูล

2.5 ทดสอบและปรับปรุง เมื่อได้ระบบที่พัฒนาขึ้นแล้วทำการทดสอบระบบโดยการทดลองใช้งานจริงกับบุคลากรของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพและทำตามการปรับปรุงให้ได้ผลตามความต้องการของผู้ใช้งาน

2.6 ประเมินประสิทธิภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ได้ข้อเสนอแนะจากการใช้งานระบบว่าเป็นระบบที่สามารถใช้งานได้จริง และทำการปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

2.7 ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน เมื่อได้ระบบที่สามารถใช้งานได้จริงแล้ว นำระบบที่ได้ไปให้ผู้ใช้งานจริงทำการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ

2.8 จัดทำเอกสารประกอบ เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการทำเอกสารสรุป การวิจัย และเผยแพร่ผลงานวิจัย

3. เครื่องมือการวิจัย

3.1 ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

3.2 แบบประเมินประสิทธิภาพระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

3.3 แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

4. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

4.1 ประชากร คือ บุคลากรและนักศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ จำนวน 250 คน

4.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ บุคลากรของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ และนักศึกษาของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จำนวน 30 คน โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง

5. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 – 5.00 หมายความว่า ระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.50 – 4.49 หมายความว่า ระดับมาก

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.50 – 3.49 หมายความว่า ระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.50 – 2.49 หมายความว่า ระดับน้อย

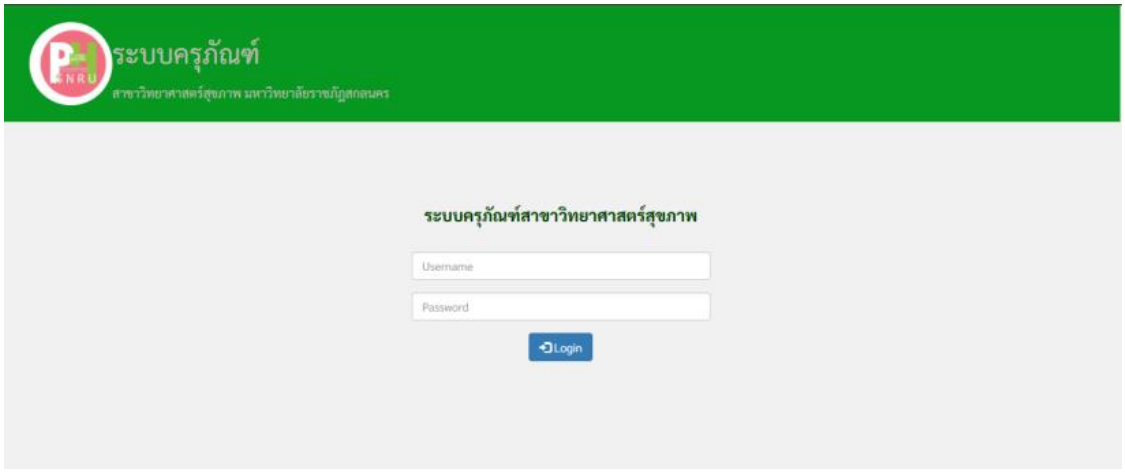
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.49 หมายความว่า ระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

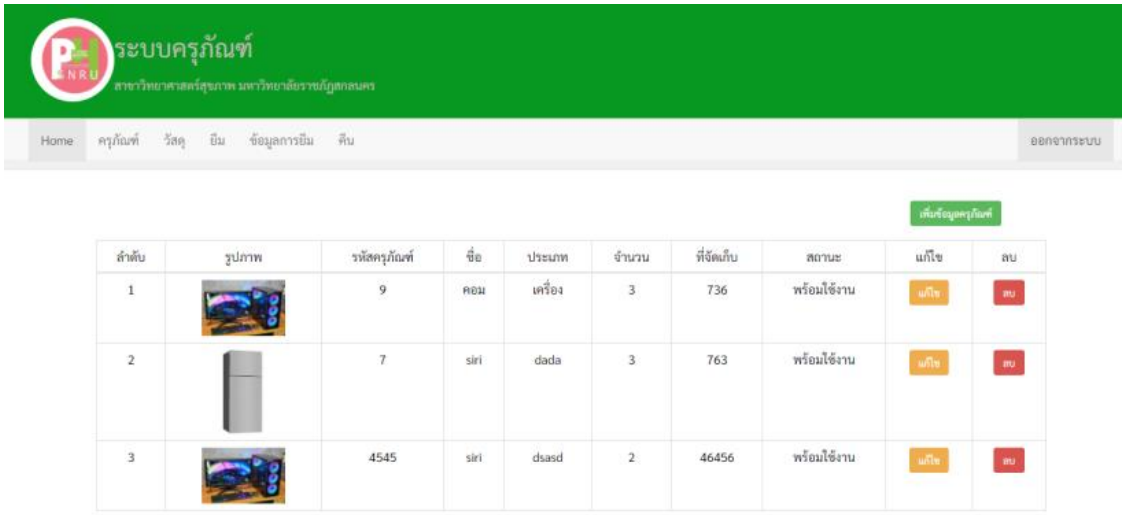
ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สามารถสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. ผลการพัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

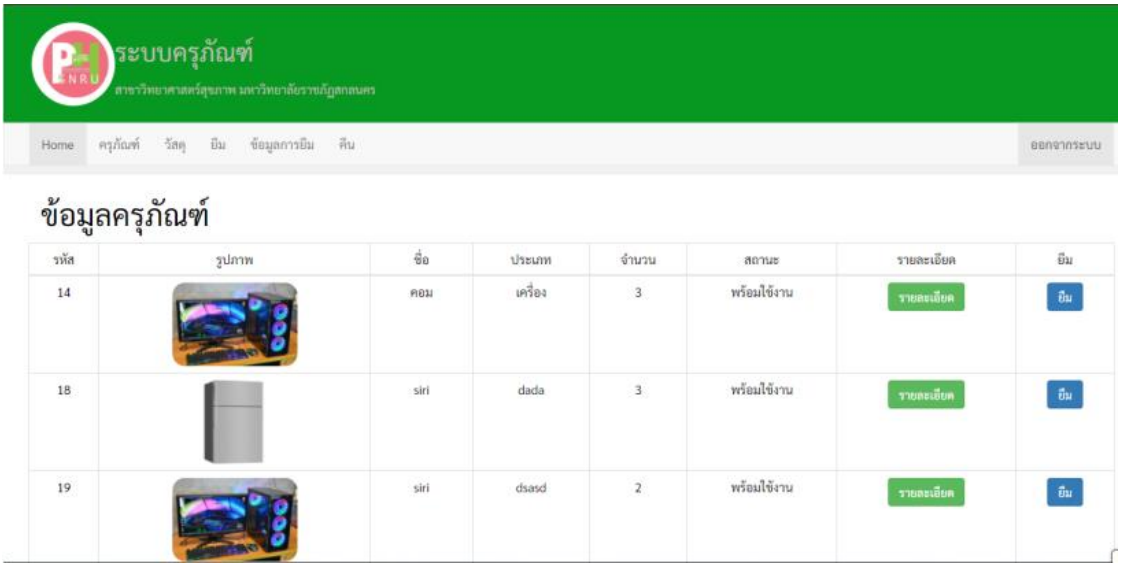
จากการศึกษาและเก็บข้อมูลการยืมคืนวัสดุละครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ด้วยการสัมภาษณ์นั้น ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์และออบแบบระบบงานใหม่ และได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบข้อมูลงานวิจัยจนเสร็จสิ้น จากการพัฒนาดังกล่าวสามารถแสดงระบบบางส่วนได้ดังภาพที่ 3-6 ซึ่งผู้ใช้งานที่มีสิทธิ์ในการเข้าถึงสามารถเข้าใช้งานตามสิทธิ์ของตัวเอง และระบบจะรายงานข้อมูลได้ตามสิทธิ์ของผู้ใช้งาน และสถานะของวัสดุครุภัณฑ์ระบบสามารถบอกได้ว่า ครุภัณฑ์นั้นๆ ถูกจัดเก็บหรือใช้งานอยู่ในสถานที่ใด พร้อมทั้งบอกสถานะการถูกยืม การคืน ให้ผู้ใช้งานทราบสถานะได้



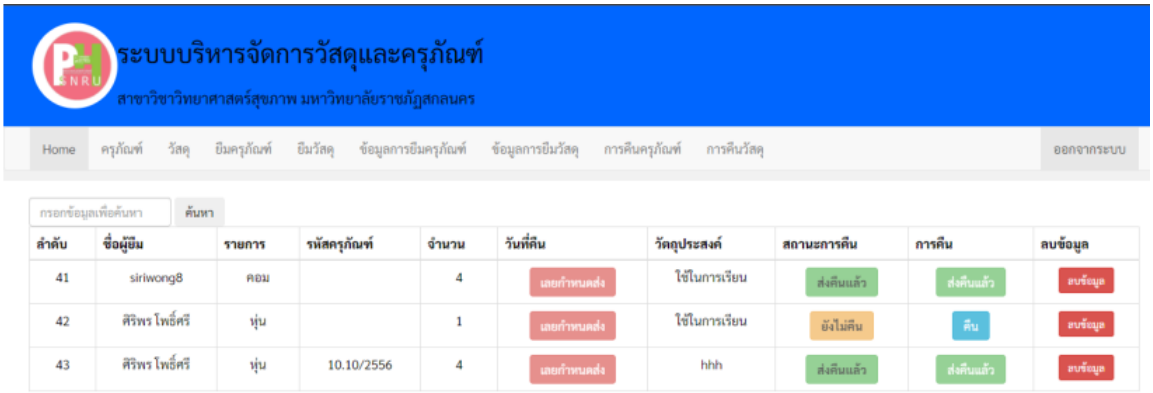
ภาพที่ 3 หน้าต่างเข้าสู่ระบบก่อนใช้งานระบบ



ภาพที่ 4 ข้อมูลครุภัณฑ์ของเจ้าหน้าที่สามารถ เพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูล



ภาพที่ 5 ข้อมูลครุภัณฑ์รายละเอียดและยืม



ภาพที่ 6 รายการคืนและสถานะการคืนครุภัณฑ์

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

เมื่อผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบแล้วเสร็จ ก่อนจะนำระบบไปใช้งานจริง ผู้วิจัยได้ดำเนินการนำระบบไปประเมินหาประสิทธิภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน คืออาจารย์ทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์จำนวน 2 คน บุคลากรฝ่ายสนับสนุนทางด้านการบริหารจัดการวัสดุครุภัณฑ์ จำนวน 1 คน และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ จำนวน 2 คน เพื่อให้ได้ข้อมูลมาทำการปรับปรุงระบบเพิ่มเติม ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมิน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	การแปลผล
ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้	4.20	0.41	มาก
ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงาน	4.15	0.59	มาก
ด้านความง่ายต่อการใช้งาน	3.90	0.31	มาก
ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	5.00	0.00	มากที่สุด
โดยรวม	**4.12**	**0.48**	**มาก**

จากตารางที่ 1 สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ซึ่งมีการประเมินประสิทธิภาพทั้งหมด 4 ด้าน วิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพรายด้านเรียงจากประสิทธิภาพมากไปหาน้อย ดังนี้ 1) ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$= 5.00, S.D.= 0.00) 2) ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.20, S.D.=0.41) 3) ด้านการทำงานได้ตามฟงกชันงานของระบบ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.15, S.D.=0.59) และ 4) ด้านความงายตอการใชงานระบบ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 3.90, S.D.= 0.31) และประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.12, S.D.=0.48) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ พัฒนาตามความต้องการของเจ้าหน้าที่และบุคลากรของสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ จากเดิมที่มีการบริหารจัดการด้วยการติดต่อขอยืมผ่านเอกสารระเบียบการยืมอย่างเดียว อีกทั้งการจัดเก็บเอกสารไม่มีระบบในการจัดการ ซึ่งเมื่อระบบนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากการวิเคราะห์ระบบใหม่ โดยมีทั้งการจัดเก็บข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ การรายงานข้อมูลการยืมคืน และผู้ใช้งานสารถใช้งานได้ตามสิทธิ์การใช้งาน เช่น 1) เจ้าหน้าที่วัสดุของสาขา 2) ผู้ดูแลระบบ 3) ผู้บริหาร 4) บุคลากรของสาขา 5) สมาชิก 6) ผู้ใช้ทั่วไป และระบบนี้เป็นระบบที่ออนไลน์สามารถใช้งานได้จริงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [3] ได้พัฒนาระบบสารสนเทศการทำโครงงานนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร และงานวิจัย [5] ได้พัฒนาระบบยืมคืนอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนย ที่มีการระบุสิทธิ์ในการเข้าถึงระบบงาน และสามารถใช้งานได้จริง

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

จากที่ผู้วิจัยได้ปรับปรุงระบบตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญแล้ว ได้ดำเนินการทดลองใช้ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ที่พัฒนาขึ้น โดยประเมินกับผู้ใช้งานระบบจริง คือ เจ้าหน้าที่ บุคลากร และนักศึกษาในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ จำนวน 30 คน พร้อมทั้งสอบถามความพึงพอใจที่มีตอการใช้งานระบบ ผลการประเมิน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	การแปลผล
ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้	4.37	0.56	มาก
ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงาน	4.41	0.72	มาก
ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ	4.26	0.69	มาก
ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	4.43	0.63	มาก
โดยรวม	**4.34**	**0.69**	**มาก**

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ โดยมีการประเมินความพึงพอใจ ทั้งหมด 4 ด้าน ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบแสดงผลจากความพึงพอใจมากไปหาน้อย ได้ดังนี้ 1) ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.43, S.D.=0.63) 2) ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.41, S.D.=0.72) 3) ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.37, S.D.=0.56) และ 4) ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.26, S.D.=0.69) โดยภาพรวมผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.34, S.D.=0.67) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผู้ใช้มีความพึงพอใจและระบบสามารถใช้งานได้จริงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [1] ได้พัฒนาระบบตรวจสอบและแจ้งซ่อมครุภัณฑ์โดยใช้เทคโนโลนีคิวอาร์โค้ด ความถึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ อยู่ในเกณฑ์ระดับมาก เช่นเดียวกัน และยังพบว่า ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพนี้สามารถรวบรวมข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ และการบริหารจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลครุภัณฑ์มีความถูกต้อง การสืบค้นข้อมูลทำได้สะดวก และช่วยลดเวลาในการปฏิบัติงาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [6] ที่ได้มีการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่องานพัสดุครุภัณฑ์บนเครือข่ายอินทราเน็ตสำหรับบริหารจัดการข้อมูลครุภัณฑ์ที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบกระดาษ ให้เป็นข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งช่วยให้ง่ายต่อการบริหารจัดการข้อมูล และสอดคล้องกับงานวิจัยของ [7] ที่พัฒนาระบบครุภัณฑ์และวัสดุผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับรวบรวมข้อมูลที่กระจัดกระจายเก็บลงฐานข้อมูล ช่วยในการค้นหาข้อมูลสะดวกขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์กรณีศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องมือในการวิจัย ได้แก่ 1) แบบสอบถาม และการสัมภาษณ์ จากนั้นนำปัญหาจากการรับรู้มาวิเคราะห์และพัฒนาเป็นระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์กรณีศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครตามกระบวนการวิเคราะห์และออกแบบฐานข้อมูลด้วยวงจรการพัฒนาระบบ 2) ทำการประเมินผล โดยแบ่งกลุ่มประเมิลผลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มประเมินประสิทธิภาพของระบบ เป็นกลุ่มผู้เชี่ยวชาญทางสาขาคอมพิวเตอร์ จำนวน 2 คน อาจารย์และบุคลากรทางสาขาวิทยาศาสตร์

สุขภาพ จำนวน 2 คน และบุคลากรฝ่ายสนบัสนุนทางด้านวัสดุครุภัณฑ์ จำนวน 1 คน และกลุ่มประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ คือ บุคลากร และนักศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ จำนวน 30 คน

ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับมาก โดยเรียงลำดับรายด้านจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ ด้านความปลอดภัยของข้อมูล อยู่ในระดับมากที่สุด รองลงมา คือด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงาน และด้านความง่ายต่อการใช้งาน ตามลำดับ และความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบอยู่ในระดับมากเช่นเดียวกัน ซึ่งเรียงลำดับรายด้านของความพึงพอใจจากมากไปหาน้อย คือผู้ใช้งานพึงพอใจในด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงาน มากที่สุด รองลงมาด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ด้านความตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน และด้านความง่ายต่อการใช้งาน ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สามารถนำไปใช้งานได้จริง มีความสอดคล้องโดยตรงกับงานของเจ้าหน้าที่พัสดุของสาขาวิชา สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานทางด้านเอกสาร ช่วยจัดการข้อมูลวัสดุครุภัณฑ์ของสาขาวิชาได้อย่างเป็นระบบ และเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการงานวัสดุครุภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นหากนำไปขยายผลในสาขาวิชาอื่นๆ ขยายวงกว้างในระดับคณะ มหาวิทยาลัย และแนวทางในการพัฒนาควรให้ระบบสามารถทำงานได้ในทุกแพลตฟอร์ม (Platform และควรมีระบบแจ้งเตือนในรูปแบบต่างๆ ให้ผู้ใช้งานทำงานได้สะดวกมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ บุคลากร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ได้สละเวลา และให้ความอนุเคราะห์ ข้อมูล ปัญหาความต้องการ ให้คำปรึกษา และคำแนะนำ เพื่อให้สามารถทำวิจัยครั้งนี้เกิดผลสำเร็จได้ และขอบพระคุณ ดร.นำพร อินสิน ที่อนุเคราะห์ตรวจสอบไวยกรณ์ภาษาอังกฤษในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] วรวิทย์ จันรอง และ นิภาพร ชนะมาร. 2562. การพัฒนาระบบตรวจสอบและแจ้งซ่อมครุภัณฑ์โดยใช้เทคโนโลนีคิวอาร์โค้ด. **การประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีครั้งที่ 3**. วันที่ 18-19 มกราคม พ.ศ. 2562 ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา, จังหวัดพระนครศรีอยุธยา.

[2] พินทุสร ปัสนะจะโน และคณะ. 2560. การใช้รหัสคิวอาร์โค้ดบนระบบปฏิบัติการบนมือถือเพื่อการบริหารจัดการครุภัณฑ์. **วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** ปีที่ 9 มกราคม-ธันวาคม 2560. หน้า 88-97.

[3] นเรศ วงศ์คะสุ่ม. 2556. การพัฒนาระบบสารสนเทศการทำโครงงานนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร. ปริญญานิพนธ์ วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

[4] สุกัญชลิกา บุญมาธรรม จิรวัฒน์ แก้วโกศล และเอกพงษ์ ทองแท้. 2559. การพัฒนาระบบสารสนเทศจัดการฐานข้อมูลงานวิจัย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. **วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม.** ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2559. หน้า 39-45.

[5] พงษ์พิชญ์ อุดมศิริรัตน์ และนุชนาฎ สัตยากวี. 2558. **ระบบยืมคืนอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน**. ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

[6] สาวิตรี ทองประเสริฐ. 2549. **การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่องานพัสดุครุภัณฑ์บนเครือข่ายอินทราเน็ต กรณีศึกษาโรงเรียนวัดโพธินิมิต**. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[7] เกื้อกูล ปรีเปรม. 2549**. การพัฒนาระบบครุภัณฑ์และวัสดุผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต กรณีศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสารสนเทศ. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สมาคมรัฐประศาสนศาสตร์แห่งประเทศไทย
(Public Administration Association oF Thailand: PAAT)

ผลกระทบจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ กรณีศึกษา: สถานีนครพนม
The effects of the construction of a new double-track railway: a case study of Nakhon Phanom Station

อภิกนิษฐา นาเลาห์[๙๒] พัชรวดี เพ็งสระเกตุ[๙๓] นิภาพร ชนะมาร[๙๔]
Apikanittha Nalao[๑].Phatcharawadee Phengsrakate[๒],Nipaporn Chanamarn[๓]
มหาวิทยาลัยนครพนม,มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
Email: Esphone๓๘๘๐@gmail.com, Phatchybell๙๕@gmail.com, Nipaporn@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องผลกระทบจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ กรณีศึกษา: สถานีนครพนมเป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ มีวัตถุประสงค์การวิจัย คือ ๑) เพื่อศึกษาผลกระทบที่ประชาชนจะได้รับจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม ๒) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลกระทบที่ประชาชนจะได้รับจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่จำแนกตามช่วงอายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้ เครื่องมือในการเก็บข้อมูล คือ แบบสอบถามมีค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือเท่ากับ ๐.๘๑

ภาพรวมของผลกระทบเชิงบวกที่ประชาชนจะได้รับจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม อยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$=๓.๘๐) ซึ่งประชาชนจะได้รับผลกระทบเชิงบวกทางเศรษฐกิจมาเป็นอันดับแรก ($\overline{x}$=๓.๙๔) ในขณะที่ผลกระทบเชิงลบที่ประชาชนจะได้รับจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม อยู่ในระดับมากเช่นเดียวกัน ($\overline{x}$=๓.๕๑) เมื่อจำแนกเป็นรายด้าน พบว่า อันดับแรก คือ ด้านสังคม อยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$=๓.๙๘) รองลงมา คือ ด้านสิ่งแวดล้อม อยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$=๓.๗๗) เช่นเดียวกัน โดยผลการทดสอบสมมติฐานการวิจัยด้วยสถิติ one-way anova พบว่า กลุ่มตัวอย่างอายุระหว่าง ๒๐-๓๕ ปี แสดงความคิดเห็นว่าการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่จะทำให้ได้รับผลกระทบเชิงบวกในด้านเศรษฐกิจมากกว่ากลุ่มช่วงอายุอื่น เช่นเดียวกันกับกลุ่มตัวอย่างที่ประกอบอาชีพค้าขายและรับจ้างที่แสดงความคิดเห็นว่าจะได้รับผลกระทบเชิงบวกในด้านเศรษฐกิจมากกว่ากลุ่มที่ประกอบอาชีพอื่นๆ โดยกลุ่มตัวอย่างที่สำเร็จการศึกษาระดับอุดมศึกษาแสดงความคิดเห็นว่าสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่จะทำให้ได้รับผลกระทบเชิงลบทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมมากกว่ากลุ่มที่สำเร็จการศึกษาในระดับอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย คือ ประชาชนสะท้อนว่าการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่จะส่งผลกระทบเชิงลบทางสังคมโดยเฉพาะการเกิดอาชญากรรมในพื้นที่ และส่งผลกระทบต่อการทำลายสิ่งแวดล้อมในบริเวณ

---

[๙๒] อาจารย์ประจำสาขาวิชาการจัดการภาครัฐและภาคเอกชน มหาวิทยาลัยนครพนม
[๙๓] อาจารย์ประจำสาขาวิชาพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนครพนม
[๙๔] อาจารย์ประจำสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

พื้นที่การสร้างสถานที่รถไฟเป็นอย่างมาก ดังนั้นภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรสร้างความมั่นใจให้กับประชาชนในท้องที่และควรมีมาตรการในการรองรับปัญหาดังกล่าวอย่างชัดเจน

คำสำคัญ: รถไฟรางคู่สายใหม่, ผลกระทบเชิงบวก,ผลกระทบเชิงลบ

Abstract

The study on the effects of the construction of a new double-track railway: a case study of Nakhon Phanom Station was a quantitative research aimed at ๑) studying the effects that people would have from the construction of a new dual-track railway through Nakhon Phanom province; and ๒) comparing the differences in effects that people would have from the construction of a new dual-track railway classified by age, level of education, occupation, and income. The instrument used to collect data was a questionnaire with a reliability of ๐.๘๑.

An overview of the positive effects that people would have from the construction of a new double-track railway through Nakhon Phanom province was at high level ($\overline{X}$= ๓.๘๐). The construction would mostly have positive effects on the economy ($\overline{X}$= ๓.๙๔) while the negative effects were shown at the same high level ($\overline{X}$=๓.๕๑). When the data was classified, it was found that the social aspect was the most affected ($\overline{X}$=๓.๙๘), followed by the environmental aspect ($\overline{X}$=๓.๗๗), which were both at high level. The results of the research hypothesis tested with one-way anova statistics revealed that the sample group aged between ๒๐-๓๕ years commented that the construction of a new double-track railway would have positive effects on the economy greater than those in other age groups. Similarly, the sample group of vendors and employees commented that they would be more positively affected on the economy than those in other occupations. The sample group of people with higher education expressed their opinion that the construction of a new double-track railway would have more negative effects on society and environment than those who graduated at other levels with the statistical significance level of ๐.๐๕.

The recommendations of the study are shown as follows. People reflected that the construction of a new double-track railway would have negative effects on society, especially crime in the area. Moreover, it could destroy the environment in the area around the train

site. Therefore, the government and related agencies should build confidence in local people and have clear measures to manage those problems.

Keywords: new double-track railway, positive effects, negative effects

บทนำ

จังหวัดนครพนมได้รับการพัฒนาให้เป็นเขตเศรษฐกิจพิเศษ ซึ่งนโยบายดังกล่าวที่ใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาเศรษฐกิจเพื่อยกระดับรายได้และคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยการพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษชายแดนมุ่งเน้นด้านการค้า การลงทุน การท่องเที่ยว และด้านการคมนาคมและขนส่ง โดยคำนึงถึงจุดเด่นของพื้นที่ร่วมกับการส่งเสริมการพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษของประเทศเพื่อนบ้าน (แผนพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษจังหวัดนครพนม, ๒๕๖๐)

การพัฒนาการคมนาคมที่สำคัญประการหนึ่งของการพัฒนาการเป็นพื้นที่เศรษฐกิจพิเศษของจังหวัดนครพนม คือ การพัฒนาสร้างรถไฟรางคู่สถานีนครพนม ซึ่งแต่เดิมจังหวัดนครพนมมีการคมนาคมและขนส่งที่มีความหลากหลายสามารถติดต่อได้ ๓ เส้นทาง เส้นทางที่ ๑ ทางบกมีทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงจังหวัดสำหรับใช้เดินทางติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียงได้สะดวก เส้นทางที่ ๒ ทางอากาศมีสนามบินสำหรับขนส่งผู้โดยสารและสินค้า อยู่ห่างจากจังหวัด ๗๕ กิโลเมตร ตามเส้นทางนครพนม – สกลนคร และเส้นทางที่ ๓ ทางน้ำมีเรือยนต์ข้ามฟากระหว่างประเทศไทยกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวที่ด่านศุลกากรอำเภอเมืองนครพนม จุดผ่อนปรนที่อำเภอธาตุพนมและอำเภออื่นๆ

โดยนโยบายการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ภาคอีสาน เส้นทางสาย บ้านไผ่ – มหาสารคาม – ร้อยเอ็ด ยโสธร – มุกดาหาร – นครพนม รวมระยะทางทั้งหมดประมาณ ๓๕๕ กิโลเมตร มีสถานีเบื้องต้น ๑๔ สถานี ประกอบด้วยสถานีบ้านไผ่ สถานีกุดรัง สถานีบรบือ สถานีมหาสารคาม สถานีร้อยเอ็ด สถานีเชียงขวัญ สถานีโพนทอง สถานีหนองพอก สถานีนิคมคำสร้อย สถานีมุกดาหาร สถานีหว่านใหญ่ สถานีธาตุพนม สถานีเรณูนคร และสถานีนครพนม มีลานขนถ่ายสินค้า ๖ จุด รองรับผู้โดยสาร ๗,๗๙๑,๐๐๐ คน/ปี รองรับปริมาณสินค้า ๑,๐๑๙,๔๖๔ ตัน/ปี โครงการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ภาคอีสาน เส้นทางสาย บ้านไผ่ – มหาสารคาม – ร้อยเอ็ด – ยโสธร – มุกดาหาร – นครพนมซึ่งความสำคัญของการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ภาคอีสาน คือ การเพิ่มความสะดวกและเชื่อมต่อโครงข่ายในการเดินทางและการขนส่งสินค้า ขยายโอกาสของสินค้าทางการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมจากภาคอีสานไปสู่ภาคอื่น ๆ ตลอดจนประเทศเพื่อนบ้านได้อย่างอาเซียน ลดต้นทุนค่าขนส่งและประหยัดพลังงาน การส่งเสริมคุณภาพชีวิตของประชาชนสร้างรายได้ สร้างโอกาส สร้างงานให้กับประชาชนในพื้นที่ และเพิ่มความปลอดภัยด้วยการออกแบบจุดตัดผ่านทางรถไฟ เพื่อแก้ไขและลดปัญหาของอุบัติเหตุ (ทวีศักดิ์ ตั้งปฐมวงศ์, ๒๕๖๐)

อย่างไรก็ตาม นโยบายการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ภาคอีสานนี้ยังไม่เกิดขึ้น แม้จะก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมาก แต่ก็อาจจะส่งผลกระทบต่อประชาชนในทุก ๆ ด้าน ทั้งด้านสังคม อาทิ สภาพบริบทสังคมที่เปลี่ยนแปลง คือการเดินทางหรือสัญจรเข้ามาในพื้นที่ของคนต่างถิ่นจะสะดวกมากขึ้น และมีการแลกเปลี่ยนทางวัฒนธรรม ด้านภาษา การกิน ความเป็นอยู่ และการแต่งกาย ในส่วนด้านเศรษฐกิจเมื่อก่อสร้างสถานีเสร็จและเปิดดำเนินการ เมื่อมีรถไฟรางคู่จะทำให้ การค้า การลงทุน และการขยายตัวทางเศรษฐกิจ มีแนวโน้มดีขึ้นหลายด้าน แต่ในทางตรงกันข้ามในประเด็นด้านสุขภาพอนามัยก็เป็นที่น่ากังวล เนื่องจากระหว่างการก่อสร้างจะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในละแวกใกล้เคียง และผลกระทบทางด้านสภาพการจราจรด้วย รวมไปถึงการเวนคืนที่ดินซึ่งอาจจะกระทบพื้นที่ทำกินของประชาชนในพื้นที่ใกล้เคียงและสภาพพื้นที่ป่าไม้อีกด้วย

ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาถึงผลกระทบในทุก ๆ ด้านของนโยบายการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ภาคอีสานอย่างครอบคลุมในกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากนโยบายดังกล่าว ถึงแม้ว่าการดำเนินนโยบายสาธารณะใดๆของภาครัฐก็ต้องมีการประเมินผลกระทบของการดำเนินโครงการอยู่เสมอ แต่การศึกษาในครั้งเป็นการประเมินด้วยการสำรวจความคิดเห็นของประชาชนผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่แบบคู่ขนานไปกับการประเมินของภาครัฐเพื่อตรวจสอบผลการสำรวจว่ามีความตรงหรือย้อนแย้งกันหรือไม่อย่างไร

จากเหตุผลและความจำเป็นดังกล่าว ผู้วิจัยจะศึกษาถึงผลกระทบจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ซึ่งเป็นผลจากโครงการพัฒนาเส้นทางรถไฟรางคู่ที่มีต่อพื้นที่ในเขตสถานีนครพนม โดยมุ่งศึกษาผลกระทบทั้งเชิงบวกและเชิงลบที่ประชาชนจะได้รับจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม ๒) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลกระทบที่ประชาชนจะได้รับจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่จำแนกตามช่วงอายุระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการสำรวจความคิดเห็นของประชาชนผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการดำเนินงานโครงการพัฒนาเส้นทางรถไฟรางคู่ที่มีต่อพื้นที่ในเขตสถานีนครพนมให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อไป

ในการศึกษาครั้งนี้สำรวจความคิดเห็นกับกลุ่มประชาชนที่ได้รับผลกระทบที่อาศัยอยู่ในเขตชุมทางสถานีนครพนม โดยกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน **๔๐๐** คนซึ่งในการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบโควตา คือแบ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเพศชาย **๒๐๐** คน และเพศหญิง **๒๐๐** คน โดยใช้เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือแบบสอบถาม ซึ่งแบ่งออกเป็น ๓ ส่วน ได้แก่ ข้อมูลส่วนบุคคล ข้อมูลการสำรวจความคิดเห็นเกี่ยวกับผลกระทบทั้งเชิงบวกและเชิงลบที่ประชาชนจะได้รับจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม และข้อคำถามปลายเปิดเกี่ยวกับข้อเสนอแนะ ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือเท่ากับ ๐.๘๑

การวิเคราะห์ข้อมูลวิเคราะห์โดยใช้สถิติพรรณนา คือ ค่าร้อยละ (Percentage) ในการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคล และใช้ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation = SD) ในการวิเคราะห์ข้อมูลผลกระทบทั้งเชิงบวกและเชิงลบที่ประชาชนจะได้รับจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม และทดสอบสมมติฐานการวิจัยด้วยสถิติ one-way anova ซึ่งผลการสำรวจผลกระทบทั้งเชิงบวกและเชิงลบที่ประชาชนจะได้รับจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลการศึกษา

จากการสำรวจ พบว่า กลุ่มตัวอย่างครึ่งหนึ่งอายุระหว่าง ๒๐-๓๕ ปี คิดเป็นร้อยละ ๕๕.๐ ซึ่งสำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ ๔๗.๐ ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเป็นเกษตรกร คิดเป็นร้อยละ ๔๐.๐ และส่วนใหญ่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนระหว่าง ๑๐,๐๐๐-๑๕,๐๐๐ บาท คิดเป็นร้อยละ๖๕.๐

ภาพรวมของผลกระทบเชิงบวกที่ประชาชนจะได้รับจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$=๓.๘๐) โดยจำแนกผลกระทบเชิงบวกแบ่งออกเป็น ๓ ด้าน ได้แก่ ด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ซึ่งประชาชนได้แสดงความคิดเห็นว่าหากสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนมประชาชนจะได้รับผลกระทบเชิงบวกทางเศรษฐกิจมาเป็นอันดับแรก ($\bar{x}$=๓.๙๔) รองลงมา ได้แก่ ด้านสังคม ($\bar{x}$=๓.๘๐) และด้านสิ่งแวดล้อม ($\bar{x}$=๓.๖๖) ตามลำดับ ดังตารางที่ ๑

ตารางที่ ๑ ภาพรวมค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เรื่อง ความคิดเห็นที่มีต่อผลกระทบเชิงบวกจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม จำแนกเป็นรายด้าน

ผลกระทบเชิงบวกจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลค่าระดับการได้รับผลกระทบ
ด้านเศรษฐกิจ	๓.๙๔	๐.๘๗๒	มาก
ด้านสังคม	๓.๘๐	๐.๘๘๐	มาก
ด้านสิ่งแวดล้อม	๓.๖๖	๐.๘๒๙	มาก
รวม	**๓.๘๐**	**๐.๘๖๐**	**มาก**

เมื่อวิเคราะห์ถึงประเด็นรายละเอียดของผลกระทบเชิงบวกจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนมในแต่ละด้าน พบประเด็นที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

ประชาชนแสดงความคิดเห็นว่าเมื่อโครงการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่แล้วเสร็จจะส่งผลให้เศรษฐกิจในจังหวัดขยายตัว ได้แก่ ๑) กระตุ้นเศรษฐกิจในด้านการค้าขายของท้องถิ่น ๒) จะก่อให้เกิดธุรกิจใหม่ๆ เพิ่มขึ้น ๓)การดึงดูดการลงทุนจากภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรมเข้ามาในจังหวัดนครพนม ๔) การขนส่งทางรถไฟใช้พลังงานประหยัดกว่าการขนส่งทางรถยนต์ทำให้ลดต้นทุนในการขนส่ง ๕) การสร้างรถไฟรางคู่เป็นเครื่องมือในการกระจายรายได้จากเมืองหลักสู่เมืองรอง ๖) การให้บริการรถไฟจะทำให้การขนส่งรวดเร็วและตรงต่อเวลา

ในขณะเดียวกันก็ส่งผลกระทบเชิงบวกทางด้านสังคมในมิติการส่งเสริมการหลอมหลวมทางสังคมในรูปแบบพหุวัฒนธรรม เพราะนอกจากจะใช้ขนส่งสินค้าแล้วยังขยายการคมนาคมในการให้บริการขนส่งผู้คนและแรงงานซึ่งจะส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนด้านภาษา การบริโภค และวัฒนธรรมอื่นๆเนื่องจากจังหวัดนครพนมเป็นจังหวัดที่มีพรมแดนติดต่อกับประเทศเพื่อนบ้าน และประชาชนยังได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับผลกระทบเชิงบวกทางสิ่งแวดล้อมไว้อย่างน่าใจ คือ การสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนมจะส่งผลให้ภาครัฐให้ความสนใจในการควบคุมมลพิษในพื้นที่จังหวัดนครพนมเพิ่มมากขึ้นด้วย

ในส่วนผลกระทบเชิงลบที่ประชาชนจะได้รับจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม ผลการสำรวจพบว่า ประชาชนแสดงความคิดเห็นว่าจะก่อให้เกิดผลกระทบเชิงลบอยู่ในระดับมากเช่นเดียวกัน ($\overline{x}$=๓.๕๑) เมื่อจำแนกเป็นรายด้าน พบว่า อันดับแรก คือ ด้านสังคม อยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$=๓.๙๘) รองลงมา คือ ด้านสิ่งแวดล้อม อยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$=๓.๗๗) เช่นเดียวกัน ดังตารางที่ ๒

ตารางที่ ๒ ภาพรวมค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เรื่อง ความคิดเห็นที่มีต่อผลกระทบเชิงลบจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม จำแนกเป็นรายด้าน

ผลกระทบเชิงบวกจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลค่าระดับการได้รับผลกระทบ
ด้านสังคม	๓.๙๘	๐.๘๙๙	มาก
ด้านสิ่งแวดล้อม	๓.๗๗	๐.๘๗๘	มาก
ด้านเศรษฐกิจ	๒.๗๓	๐.๙๒๐	ปานกลาง
รวม	**๓.๕๑**	**๐.๘๙๙**	**มาก**

เมื่อวิเคราะห์ถึงประเด็นรายละเอียดของผลกระทบเชิงลบจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนมในแต่ละด้าน พบประเด็นที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

ประชาชนแสดงความคิดเห็นว่าผลกระทบเชิงลบจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนมที่สำคัญ คือ ประเด็นในมิติทางด้านสังคม อาทิ ประชาชนเป็นกังวลว่าการสร้างรถไฟรางคู่ส่งผลกระทบต่อที่ดินทำกินเพราะอาจจะมีการเวนคืนที่ดิน หรือที่อยู่อาศัย และการเกิดอาชญากรรมในพื้นที่เนื่องการพัฒนาดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจซึ่งจะก่อให้เกิดการจ้างงานและดึงดูดให้แรงงานจากพื้นที่อื่นๆและแรงงานจากประเทศเพื่อนบ้านเข้ามาในพื้นที่ด้วย ส่วนมิติด้านสิ่งแวดล้อมนั้นประชาชนเป็นกังวลว่าขณะที่มีการก่อสร้างอาจจะก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศจากฝุ่นละออง มลภาวะทางเสียงจากการก่อสร้าง รวมถึงการตัดไม้เป็นจำนวนมากเพื่อการก่อสร้าง ในขณะที่ผลกระทบเชิงลบในมิติทางด้านเศรษฐกิจนั้นประชาชนได้แสดงว่าความเห็นคิดว่าจะได้รับผลกระทบเชิงลบในระดับปานกลาง ซึ่งข้อกังวลของประชาชนในประเด็นนี้ คือ จะเกิดการแย่งงานของแรงงานในพื้นที่ หรือมีการกดค่าแรงให้ต่ำลงเนื่องจากมีคู่แข่งคือการจ้างแรงงานจากประเทศเพื่อนบ้านซึ่งยินยอมรับค่าแรงที่ต่ำกว่าแรงงานชาวไทยได้

ในส่วนของการวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐานการวิจัยด้วยสถิติ one-way anova พบว่า กลุ่มตัวอย่างอายุระหว่าง ๒๐-๓๕ ปี แสดงความคิดเห็นว่าการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่จะทำให้ได้รับผลกระทบเชิงบวกในด้านเศรษฐกิจมากกว่ากลุ่มช่วงอายุอื่น เช่นเดียวกันกับกลุ่มตัวอย่างที่ประกอบอาชีพค้าขายและรับจ้างที่แสดงความคิดเห็นว่าจะได้รับผลกระทบเชิงบวกในด้านเศรษฐกิจมากกว่ากลุ่มที่ประกอบอาชีพอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕ ดังตารางที่ ๓-๔

ตารางที่ ๓ การเปรียบเทียบความแตกต่าง ระหว่างช่วงอายุกับผลกระทบเชิงบวกในด้านเศรษฐกิจจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม

ค่าความแปรปรวน	ss	Df	MS	F	sig
ระหว่างกลุ่ม	๓๔.๓๗๘	๑	๓๔.๓๗๘	๐.๔๖๗	๐.๐๔๕*
ภายในกลุ่ม	๑๔๕๖๑.๑๔๒	๑๙๘	๗๓.๕๔๑		

***ระดับนัยสำคัญทางสถิติ = ๐.๐๕**

ตารางที่ ๔ การเปรียบเทียบความแตกต่าง ระหว่างอาชีพกับผลกระทบเชิงบวกในด้านเศรษฐกิจจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม

ค่าความแปรปรวน	ss	Df	MS	F	sig
ระหว่างกลุ่ม	๕๘๗.๗๔๖	๕	๑๑๗.๕๔๙	๑.๖๒๘	๐.๐๒๐*
ภายในกลุ่ม	๑๔๐๐๗.๗๗๔	๑๙๔	๗๒.๒๐๕		

***ระดับนัยสำคัญทางสถิติ = ๐.๐๕**

ผลการวิเคราะห์ข้างต้นสะท้อนให้เห็นถึงทัศนะของประชาชนโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มที่เป็นวัยแรงงานที่มีอายุระหว่าง ๒๐-๓๕ ปี มองเห็นโอกาสที่จะได้รับจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ ในขณะที่กลุ่มที่ประกอบอาชีพค้าขายและรับจ้างก็มองเห็นโอกาสที่จะได้รับจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจทั้งในมิติการประกอบธุรกิจและการขยายตัวในการจ้างงาน

ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่สำเร็จการศึกษาระดับอุดมศึกษาแสดงความคิดเห็นว่าสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่จะทำให้ได้รับผลกระทบเชิงลบทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมมากกว่ากลุ่มที่สำเร็จการศึกษาในระดับอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕ ดังตารางที่ ๕-๖

ตารางที่ ๕ การเปรียบเทียบความแตกต่าง ระหว่างระดับการศึกษากับผลกระทบเชิงลบทางด้านสังคมจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม

ค่าความแปรปรวน	SS	df	MS	F	sig
ระหว่างกลุ่ม	๕๙๘.๗๓๕	๓	๑๙๙.๕๗๒	๒.๑๓๕	๐.๐๔๙*
ภายในกลุ่ม	๑๒๗๑๒.๒๕๗	๑๓๖	๙๓.๔๗๒		

***ระดับนัยสำคัญทางสถิติ = ๐.๐๕**

ตารางที่ ๖ การเปรียบเทียบความแตกต่าง ระหว่างระดับการศึกษากับผลกระทบเชิงลบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนม

ค่าความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม	๒๒๐๓.๘๓๔	๔	๕๕๐.๙๕๙	๖.๖๙๗	๐.๐๐๐**
ภายในกลุ่ม	๑๑๑๐๗.๑๕๙	๑๓๕	๘๒.๒๗๕		

****ระดับนัยสำคัญทางสถิติ = ๐.๐๑**

ผลการวิเคราะห์ข้างต้นสะท้อนให้เห็นถึงทัศนะของประชาชนในกลุ่มผู้ที่สำเร็จการศึกษาในระดับอุดมศึกษาว่ามีสภาวะการตื่นตัวในมิติทางสังคมและสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างยิ่ง ในขณะที่กลุ่มอื่นยังคงให้ความสำคัญถึงประโยชน์ส่วนตนที่จะได้รับมากกว่าประโยชน์ส่วนรวม

สรุปและอภิปรายผล

ภาพรวมของผลกระทบเชิงบวกที่ประชาชนจะได้รับจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$=๓.๘๐) ซึ่งประชาชนจะได้รับผลกระทบเชิงบวกทางเศรษฐกิจมาเป็นอันดับแรก ($\bar{X}$=๓.๙๔) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสยาม อรุณศรีมรกต (๒๕๕๘) ศึกษาเรื่องผลกระทบด้านสังคม วัฒนธรรม และเศรษฐกิจ จากการพัฒนาการท่องเที่ยวในพื้นที่๔ จังหวัดภาคตะวันตกเพื่อรองรับเขตเศรษฐกิจพิเศษทวาย ผลการศึกษา พบว่า ผลกระทบด้านเศรษฐกิจที่พึงประสงค์ คือ คนในชุมชนได้ประกอบอาชีพมากขึ้น มีการลงทุนด้านการท่องเที่ยว ที่พัก การขนส่ง และ อาหารทะเล มีการเชื่อมโยงการท่องเที่ยวของจังหวัดกาญจนบุรีกับกลุ่มจังหวัดภาคตะวันตก เกิดการพัฒนาเส้นทางการขนส่งสินค้า เกิดการพัฒนาทางกายภาพเพื่อรองรับการเติบโตทางธุรกิจ ในขณะเดียวกันก็เกิดผลกระทบด้านเศรษฐกิจที่ไม่พึงประสงค์ คือ ทำให้ค่าครองชีพในชุมชนสูงขึ้น กลุ่มทุนจะตักตวงผลประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติในชุมชนมากเกินไป ทรัพยากรป่าไม้อาจถูกทำลายมากขึ้นและเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาอุตสาหกรรม และการพัฒนาทางกายภาพ มีผลกระทบต่อการเวนคืนที่ดิน และการสูญเสียพื้นที่ภาคเกษตรกรรม ในขณะที่ผู้เขียนเล็งเห็นถึงความสำคัญในด้านคมนาคมขนส่งในจังหวัดนครพนมว่าเป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยกระตุ้นส่งเสริมด้านเศรษฐกิจและการลงทุนในพื้นที่ ดังนั้นการปรับเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งสินค้าทางถนนสู่การขนส่งที่มีต้นทุนต่ำกว่าและความสะดวกในการเดินทางจะก่อให้เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจได้เป็นอย่างดี

ในขณะที่ผลกระทบเชิงลบที่ประชาชนจะได้รับจากการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่ผ่านจังหวัดนครพนมอยู่ในระดับมากเช่นเดียวกัน ($\bar{X}$=๓.๕๑) เมื่อจำแนกเป็นรายด้าน พบว่า อันดับแรก คือ ด้านสังคม อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$=๓.๙๘) รองลงมา คือ ด้านสิ่งแวดล้อม อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$=๓.๗๗) เช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจุฬารัตน์ ศิริสิงห์ และศิวัช ศรีโภคางกุล (๒๕๖๒) ได้ศึกษา ผลกระทบจากการก่อสร้างทางรถไฟทางคู่ที่มีผลต่อชุมชนริมทางรถไฟ : ศึกษากรณีชุมชนเทพารักษ์ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ผลการศึกษา พบว่า การก่อสร้างทางรถไฟทางคู่ที่มีผลต่อชุมชนริมทางรถไฟทั้งในด้านบวกและด้านลบ ๓ ด้าน ได้แก่ ด้านสังคม ด้านเศรษฐกิจและรายได้ ด้านสุขภาพและและสิ่งแวดล้อม และสอดคล้องกับงานวิจัยนฤนาถ พยัคฆา และแสงดาว วงค์สาย (๒๕๕๔) ได้ศึกษาเรื่องผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการลดลงของทรัพยากรป่าไม้จังหวัดภูเก็ต

ผลการศึกษา พบว่า การจัดการและการควบคุมดูแลการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างเหมาะสมจึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นเพื่อให้พื้นที่ป่าคงอยู่ต่อไปอย่างยั่งยืน ดังนั้นการจัดการพื้นที่ในเขตการก่อสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่จึงควรคำนึงถึงการจัดการและการจัดสรรการใช้ประโยชน์ที่ดินให้เกิดผลประโยชน์สูงสุดและกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุดด้วยเช่นกัน

ในส่วนของผลการทดสอบสมมติฐานการวิจัยด้วยสถิติ one-way anova พบว่า กลุ่มตัวอย่างอายุระหว่าง ๒๐-๓๕ ปี แสดงความคิดเห็นว่าการสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่จะทำให้ได้รับผลกระทบเชิงบวกในด้านเศรษฐกิจมากกว่ากลุ่มช่วงอายุอื่น เช่นเดียวกันกับกลุ่มตัวอย่างที่ประกอบอาชีพค้าขายและรับจ้างที่แสดงความคิดเห็นว่าจะได้รับผลกระทบเชิงบวกในด้านเศรษฐกิจมากกว่ากลุ่มที่ประกอบอาชีพอื่นๆ ในประเด็นนี้ผู้เขียนเล็งเห็นถึงการเคลื่อนย้ายประชากรเมื่อก่อสร้างสถานีเสร็จและเปิดดำเนินการ มีการเคลื่อนย้ายประชากรเข้ามาจำนวนมากทำให้เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจเพิ่มมากขึ้นมีโอกาสการขยายตัวของการอุตสาหกรรมมีธุรกิจใหม่ ๆ เพิ่มขึ้น ราคาที่ดินเพิ่มขึ้นกลายเป็นแหล่งอุตสาหกรรมใหม่ซึ่งจะก่อให้เกิดโอกาสทางเศรษฐกิจและมีโอกาสที่จะได้รับการจ้างงานที่สูงยิ่งขึ้น

โดยกลุ่มตัวอย่างที่สำเร็จการศึกษาระดับอุดมศึกษาแสดงความคิดเห็นว่าสร้างรถไฟรางคู่สายใหม่จะทำให้ได้รับผลกระทบเชิงลบทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมมากกว่ากลุ่มที่สำเร็จการศึกษาในระดับอื่น โดยอาจจะก่อให้เกิดอาชญากรรมในพื้นที่ และส่งผลกระทบต่อการทำลายสิ่งแวดล้อมในบริเวณพื้นที่การสร้างสถานีรถไฟเป็นอย่างมาก ซึ่งจากผลการศึกษาดังกล่าว ภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรสร้างความมั่นใจให้กับประชาชนในท้องที่และควรมีมาตรการในการรองรับปัญหาดังกล่าวอย่างชัดเจน รวมถึงการขอความร่วมมือไปยังประชาชนในพื้นที่ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า มีกลุ่มคนที่ตระหนักและให้ความสำคัญในประเด็นดังกล่าวในพื้นที่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ให้ข้อมูลทุกท่านที่ให้รายละเอียดตอบแบบสอบถามให้ข้อมูลต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยครั้งนี้ ขอบคุณทีมงานทุกคนที่มีส่วนร่วมในการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม และขอบคุณผู้ที่ให้คำปรึกษาทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

จุฬารัตน์ ศิริสิงห์ และศิวัช ศรีโภคางกุล. (๒๕๖๒). **ผลกระทบจากการก่อสร้างทางรถไฟทางคู่ที่มีผลต่อชุมชนริมทางรถไฟ : ศึกษากรณีชุมชนเทพารักษ์ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น.** วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร ปีที่ ๑๒ (๖); หน้า ๑๐๕๓-๑๐๖๗.

ทวีศักดิ์ ตั้งปฐมวงศ์. (๒๕๖๐). โครงการพัฒนาเส้นทางรถไฟรางคู่ : ศักยภาพ และโอกาสทางด้านเศรษฐกิจ สังคม กรณีศึกษาพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดมหาสารคาม. กรุงเทพฯ: สถาบันพระปกเกล้า.

แผนพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษจังหวัดนครพนม. (๒๕๖๐). สืบค้นเมื่อวันที่ ๑ สิงหาคม ๒๕๖๒ จาก https://www.treasury.go.th › download PDF.

นฤนาถ พยัคฆา และแสงดาว วงค์สาย (๒๕๕๔). **ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการลดลงของทรัพยากรป่าไม้จังหวัดภูเก็ต.** รายงานการประชุมวิชาการระดับชาตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ **๙.** หน้าที่ ๓๘๑-๓๘๘

สยาม อรุณศรีมรกต. (๒๕๕๘). ผลกระทบด้านสังคม วัฒนธรรม และเศรษฐกิจ จากการพัฒนาการท่องเที่ยวในพื้นที่ ๔ จังหวัดภาคตะวันตก เพื่อรองรับเขตเศรษฐกิจพิเศษทวาย. วาสารมหาวิทยาลัยคริสเตียน ปีที่ ๒๑ (๒); หน้า ๒๖๖-๒๘๒.

สมาคมรัฐประศาสนศาสตร์แห่งประเทศไทย
(Public Administration Association oF Thailand: PAAT)

การพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรยุคใหม่ในจังหวัดนครพนม

The potential development of modern farmers in Nakhon Phanom Province

พัชรวดี เพ็งสระเกตุ[๑๓๖] อภิกนิษฐา นาเลาห์[๑๓๗] นิภาพร ชนะมาร[๑๓๘]
Phatcharawadee Phengsrakate[๑], Apikanittha Nalao[๒], Nipaporn Chanamarn[๓]
มหาวิทยาลัยนครพนม, มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
Email: Phatchybell๙๕@gmail.com, Esphone๓๘๘๐@gmail.com, Nipaporn@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรยุคใหม่ในจังหวัดนครพนม เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ มีวัตถุประสงค์การวิจัย คือ เพื่อศึกษาความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรยุคใหม่ในจังหวัดนครพนม และเพื่อศึกษาแนวทางส่งเสริมการพัฒนาเกษตรกรยุคใหม่ให้สอดคล้องกับการความต้องการของเกษตรกรในจังหวัดนครพนม โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลซึ่งค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ ๐.๗๖

ผลการวิจัย พบว่า ภาพรวมความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรยุคใหม่ ในพื้นจังหวัดนครพนม อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๓.๒๕) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า กลุ่มเกษตรกรส่วนใหญ่มีความต้องการในการพัฒนาศักยภาพด้านความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๓.๔๕) รองลงมา คือ ด้านมีความตระหนักถึงคุณภาพสินค้าและความปลอดภัยของผู้บริโภค อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๓.๒๑) และด้านการบริหารจัดการผลผลิตและการตลาด อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๓.๑๐)

ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ช่วงอายุและระดับการศึกษาของเกษตรกรมีผลต่อมีความต้องการในการพัฒนาศักยภาพที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับ ๐.๐๕

แนวทางส่งเสริมการพัฒนาเกษตรกรยุคใหม่ให้สอดคล้องกับการความต้องการของเกษตรกรในจังหวัดนครพนม มีดังนี้ ๑) ควรส่งเสริมเกษตรกรให้เป็นเกษตรกรยุคใหม่ด้วยส่งเสริมการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมด้วยการเทคโนโลยีชีวภาพ ๒) ให้เกษตรกรมีความรู้และความสามารถในการผลิตที่สอดคล้องมาตรฐาน GAP/GMP และ๓) ให้เกษตรกรเรียนรู้การเป็นผู้ประกอบการ

---

[๑๓๖] อาจารย์ประจำสาขาวิชาพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนครพนม
[๑๓๗] อาจารย์ประจำสาขาวิชาการจัดการภาครัฐและภาคเอกชน มหาวิทยาลัยนครพนม
[๑๓๘] อาจารย์ประจำสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

การประชุมวิชาการรัฐประศาสนศาสตร์ระดับชาติ ครั้งที่ ๑๓ วันที่ ๒๔-๒๕ พฤศจิกายน ๒๕๖๔
ณ มหาวิทยาลัยนครพนม

คำสำคัญ: เกษตรกรยุคใหม่, ความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม, การพัฒนาศักยภาพ

Abstract

The research on the potential development of modern farmers in Nakhon Phanom province is a quantitative research aimed at studying the need for the potential development of modern farmers in Nakhon Phanom province and studying the guidelines for promoting the development of modern farmers in accordance with the needs of farmers in Nakhon Phanom province. The instrument used to collect data was a questionnaire with a reliability of ๐.๗๖.

The results of the research revealed that the overall need for potential development of modern farmers in Nakhon Phanom province was at high level ($\bar{x}$=๓.๒๕). When the data was analyzed, it was found that most farmer groups had a high level of need for potential development in the aspects of environmental and social responsibility ($\bar{x}$=๓.๔๕), awareness of product quality and consumer safety ($\bar{x}$=๓.๒๑), and management of production and marketing ($\bar{x}$=๓.๑๐), respectively.

The hypothesis test revealed that the age range and educational level of the farmers had different effects on the need for potential development at a statistical significance level of ๐.๐๕.

Recommendations for promoting the development of new farmers in accordance with the needs of farmers in Nakhon Phanom province are as follows: ๑) Farmers should be promoted to become modern farmers by encouraging biotechnology-based production that does not pollute or harm the environment; ๒) Farmers should be educated in production on accordance with GAP/GMP standards; and ๓) Farmers should learn how to be entrepreneurs.

Keywords: modern farmers, environmental and social responsibility, potential development

บทนำ

แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ ๑๒ (พ.ศ. ๒๕๖๐-๒๕๖๔) ได้กล่าวถึงยุทธศาสตร์การพัฒนาการทำเกษตรกรรมให้ไปสู่การเป็นการทำเกษตรกรรมแบบสมัยใหม่ที่เน้นการบริหารจัดการในรูปแบบการเป็นผู้ประกอบการ มุ่งการใช้เทคโนโลยี และเน้นการสร้างนวัตกรรมทางการผลิตและผลผลิต โดยตั้งเป้าหมายให้เกษตรกรต้องร่ำรวยขึ้นจากการทำเกษตรกรรม ซึ่งในปัจจุบันเกษตรกรยังมีข้อจำกัดในการพัฒนาองค์ความรู้ด้านการผลิตเชื่อมโยงไปจนถึงการแปรรูป และการตลาด รวมถึงการขาดความรู้ความเข้าใจ เรื่องการใช้ปัจจัยการผลิต การลดต้นทุนการผลิตที่ไม่จำเป็น รวมถึงการใช้สารเคมีในการเพาะปลูกพืชที่ก่อให้เกิดการตกค้างของสารพิษในผลผลิตการเกษตร ส่งผลกระทบต่อสุขอนามัยทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคในระยะยาว อีกทั้งยังทำให้ดินเสื่อมโทรมความหลากหลายทางชีวภาพลดลง

การพัฒนาการเกษตรให้เติบโตได้อย่างยั่งยืนต้องอาศัยเกษตรกรเป็นศูนย์กลางการพัฒนา ซึ่งการปรับตัวของเกษตรกรจึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่ง ที่ทำให้เป้าหมายการพัฒนาการเกษตรกรของประเทศบรรลุผลสำเร็จได้ โดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ให้ความสำคัญกับการพัฒนาเกษตรกรให้เป็นเกษตรยุคใหม่ที่มีความพร้อมทั้งในแง่องค์ความรู้ด้านการผลิต การตลาด การนำเทคโนโลยีและภูมิปัญญาท้องถิ่น และวิธีการปฏิบัติที่ดีมาใช้ผสมผสานกับองค์ความรู้สมัยใหม่ที่เหมาะสมในการพัฒนาการเกษตร โดยคำนึงถึงคุณภาพมาตรฐานและปริมาณความต้องการของตลาด รวมถึงความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ด้วยการเน้นการสร้างความเข้มแข็งให้กับเกษตรกรและสถาบันที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรให้สามารถพึ่งพาตนเองได้ด้วยการมุ่งสร้างและพัฒนาเกษตรกรรุ่นใหม่เข้าสู่ภาคการเกษตรส่งเสริมการทำเกษตรกรรมยั่งยืน โดยเฉพาะการทำเกษตรแบบผสมผสาน เกษตรทฤษฎีใหม่และเกษตรอินทรีย์ ซึ่งจะช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร รวมทั้งส่งเสริมการพัฒนาองค์ความรู้โดยการนำงานวิจัยเทคโนโลยี และนวัตกรรมมาใช้ประโยชน์ ทำให้เกษตรกรกลายเป็นเกษตรกรมืออาชีพ และเน้นการเข้าถึงเทคโนโลยีการเกษตรของเกษตรกร ทำให้สามารถบริหารจัดการฟาร์มแบบครบวงจรตั้งแต่การผลิต แปรรูป และการตลาด ตลอดจนสร้างการรวมกลุ่มเกษตรกรให้เข้มแข็งและสามารถเชื่อมโยงเครือข่ายของเกษตรกร และสถาบันเกษตรกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ , ๒๕๖๐)

เกษตรกรในจังหวัดนครพนม ประสบปัญหาด้านปัจจัยและฐานทรัพยากรการผลิต ทั้งเรื่องที่ดินทำกิน เนื่องจากเกษตรกรจำนวนมากไม่มีที่ดินทำกินเป็นของตนเอง ต้องเช่าที่ดินทำกิน และส่วนเกษตรกรที่มีที่ดินจำนวนมากก็ต้องสูญเสียที่ดินทำกินให้กับสถาบันการเงิน และประสบปัญหาการเข้าไม่ถึงทรัพยากรการผลิต รวมทั้งสิทธิเกษตรกรในด้านการเข้าถึงพันธุกรรมพืชและสัตว์ด้วย ทำให้เกษตรกรรายย่อยขาดศักยภาพในการเพิ่มผลผลิต และพึ่งพิงตนเองไม่ได้ เกษตรกรยังต้องประสบกับปัญหาต้นทุนการผลิตสูงขึ้น อันเนื่องจากปัจจัยการผลิตมีฐานจาก

การใช้พลังงาน ต้นทุนปุ๋ย ยา แรงงานสูงขึ้น และแม้ว่าปัจจุบันมีแนวโน้มว่าผลผลิตทางการเกษตรจะมีราคาดี แต่ราคาที่เพิ่มขึ้นเหล่านี้ไม่แน่ชัดว่าจะส่งผลประโยชน์กลับมาที่เกษตรกรได้อย่างเต็มเม็ดหน่วยหรือไม่ เพราะเกษตรกรยังคงพึ่งพาพ่อค้าคนกลางและเกษตรกรจึงไม่มีส่วนในการตัดสินใจกำหนดราคาตลาด ราคาผลผลิตการเกษตรจึงไม่เป็นธรรม (นันทิกา จ่าพิชม และพิชัย ทองดีเลิศ, ๒๕๕๘)

ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรยุคใหม่ในจังหวัดนครพนม และศึกษาแนวทางส่งเสริมการพัฒนาเกษตรกรยุคใหม่ให้สอดคล้องกับการความต้องการของเกษตรกรในจังหวัดนครพนม เนื่องจากในปี พ.ศ. ๒๕๖๔ จังหวัดนครพนมได้ขับเคลื่อนโครงการที่สำคัญของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ อาทิ ศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิ์ภาพการผลิตสินค้าเกษตร (ศพก.) และโครงการระบบส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่ ด้านพืช ด้านปศุสัตว์ ด้านประมง รวมถึงการบริหารการจัดการน้ำ และการพัฒนาเกษตรกรสู่การ เป็นเกษตรยุคใหม่ซึ่งเป็นส่วนจำเป็นที่จะต้องขับเคลื่อนภาคการเกษตรในพื้นที่พร้อมทั้งเตรียมการแก้ไขปัญหาภาคการเกษตรที่ได้รับผลกระทบในช่วงของการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรน่า ๒๐๑๙ ที่ส่งผลกระทบกับสินค้าการเกษตรบางชนิดด้วย ซึ่งผลการวิจัยจะนำมาซึ่งข้อมูลความต้องการในการพัฒนาตนเองของกลุ่มเกษตรกรเพื่อการเป็นเกษตรกรในยุคปัจจุบันและแนวทางส่งเสริมการพัฒนาเกษตรกรให้สอดคล้องกับการความต้องการของเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดนครพนมด้วย

ในการศึกษาครั้งนี้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลกับเกษตรกรในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ประกอบไปด้วย ๔ ตำบล ได้แก่ ตำบลบ้านกลาง ตำบลหนองญาติ ตำบลนาทราย และตำบลอาจสามารถ โดยกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน **๔๐๐** คนซึ่งในการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบโควตา คือ แบ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

(๑) ตำบลบ้านกลาง จำนวนกลุ่มตัวอย่าง ๑๐๔ คน
(๒) ตำบลหนองญาติ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง ๑๐๙ คน
(๓) ตำบลนาทราย จำนวนกลุ่มตัวอย่าง ๖๒ คน
(๔) ตำบลอาจสามารถ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง ๑๒๕ คน

โดยใช้เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถาม ซึ่งแบ่งออกเป็น ๓ ส่วน ได้แก่ ข้อมูลส่วนที่ ๑ ข้อมูลส่วนบุคคล ซึ่งประกอบไปด้วยคำถามแบบเลือกตอบ จำนวน ๓ ข้อ ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา ข้อมูลส่วนที่ ๒ ความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรยุคใหม่ (Smart Farmer) ในพื้นที่จังหวัดนครพนม จำนวน ๕ ด้าน และข้อมูลส่วนที่ ๓ ข้อคำถามปลายเปิดเกี่ยวกับแนวทางส่งเสริมการพัฒนาเกษตรกรยุคใหม่ให้สอดคล้องกับการความต้องการของเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดนครพนม ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือเท่ากับ ๐.๗๖

การวิเคราะห์ข้อมูลวิเคราะห์โดยใช้สถิติพรรณนา คือ ค่าร้อยละ (Percentage) ในการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคล และใช้ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation = SD) ในการวิเคราะห์ข้อมูลความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรยุคใหม่ในพื้นที่จังหวัดนครพนม และทดสอบสมมติฐานการวิจัยด้วยสถิติ one-way anova ในส่วนการวิเคราะห์ข้อคำถามปลายเปิดในประเด็นแนวทางส่งเสริมการพัฒนาเกษตรกรยุคใหม่ให้สอดคล้องกับการความต้องการของเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดนครพนมใช้วิธีการจัดหมวดหมู่และการเรียงลำดับตามความถี่ (Frequency) เพื่อแสดงผลให้ทราบว่าประเด็นแนวทางส่งเสริมการพัฒนาเกษตรกรยุคใหม่ฯ ที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ กัน ๕ อันดับแรกมีประเด็นใดบ้าง ซึ่งผลการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลการศึกษา

ภาพรวมความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรเพื่อเป็นการเกษตรกรยุคใหม่ ในพื้นจังหวัดนครพนม มีความต้องการพัฒนาศักยภาพการเป็นเกษตรกรยุคใหม่อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๓.๒๕)

เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า กลุ่มเกษตรกรส่วนใหญ่มีความต้องการในการพัฒนาศักยภาพด้านความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๓.๔๕) รองลงมา คือ ด้านมีความตระหนักถึงคุณภาพสินค้าและความปลอดภัยของผู้บริโภค อยู่ในระดับมาก(ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๓.๒๑) และด้านการบริหารจัดการผลผลิตและการตลาด อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๓.๑๐) ดังตารางที่ ๑

ตารางที่ ๑ ภาพรวมความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรเพื่อเป็นการเกษตรกรยุคใหม่ ในพื้นจังหวัดนครพนม จำแนกเป็นรายด้าน

ความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรเพื่อเป็นการเกษตรกรยุคใหม่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลค่าระดับความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกร
๑) ด้านความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม	๓.๔๕	๐.๖๕๘	มาก
๒) ด้านมีความตระหนักถึงคุณภาพสินค้าและความปลอดภัยของผู้บริโภค	๓.๒๑	๐.๗๔๔	มาก
๓) ด้านการบริหารจัดการผลผลิตและการตลาด	๓.๑๐	๐.๗๑๘	มาก
รวม	**๓.๒๕**	**๐.๗๐๖**	**มาก**

เมื่อวิเคราะห์ถึงประเด็นรายละเอียดของความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรเพื่อเป็นการเกษตรกรยุคใหม่ในแต่ละด้าน พบประเด็นที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

เกษตรกรให้ความสำคัญในการพัฒนาตนเองในด้านความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม อาทิ พัฒนาการใช้เทคโนโลยีชีวภาพในการจัดการศัตรูพืช และพัฒนาการใช้เทคโนโลยีในการกำจัดน้ำเสียเพื่อลดการเกิดมลพิษทางน้ำ ในขณะที่เกษตรกรให้ความสำคัญในการพัฒนาตนเองในด้านมีความตระหนักถึงคุณภาพสินค้าและความปลอดภัยของผู้บริโภค คือ พัฒนากระบวนการผลิตที่สอดคล้องมาตรฐาน GAP/GMP เกษตรอินทรีย์

รวมถึงเกษตรกรยังได้ให้ความสำคัญในการพัฒนาตนเองด้านการบริหารจัดการผลผลิตและการตลาด ได้แก่ ต้องการพัฒนาวิธีการจัดการด้านการผลิตตั้งแต่กระบวนการปลูกจนก่อนการเก็บเกี่ยวเพื่อลดต้นทุน และต้องการพัฒนาวิธีเพิ่มมูลค่าให้แก่สินค้าให้เป็นที่ต้องการของตลาดออนไลน์

โดยเกษตรกรที่มีอายุระหว่าง ๒๕-๔๐ ปี มีความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรเพื่อเป็นการเกษตรกรยุคใหม่มากกว่าเกษตรกร ๔๑-๕๕ ปี และ ๕๖-๖๕ ปี และเกษตรกรที่สำเร็จการศึกษาในระดับอนุปริญญาขึ้นไป มีความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรเพื่อเป็นการเกษตรกรยุคใหม่มากกว่าเกษตรกรที่สำเร็จการศึกษาที่ต่ำกว่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับ ๐.๐๕ ดังตารางที่ ๒-๓

ตารางที่ ๒ การเปรียบเทียบความแตกต่างเกี่ยวกับความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรเพื่อเป็นการเกษตรกรยุคใหม่ จำแนกตามอายุ

ค่าความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม	๒๒๐๓.๘๓๔	๔	๕๕๐.๙๕๙	๖.๖๙๗	๐.๐๔๐*
ภายในกลุ่ม	๑๑๑๐๗.๑๕๙	๑๓๕	๘๒.๒๗๕		

*= ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ๐.๐๕

ตารางที่ ๓ การเปรียบเทียบความแตกต่างเกี่ยวกับความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรเพื่อเป็นการเกษตรกรยุคใหม่ จำแนกตามระดับการศึกษา

ค่าความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม	๕๙๘.๗๓๕	๓	๑๙๙.๕๗๒	๒.๑๓๕	๐.๐๒๙*
ภายในกลุ่ม	๑๒๗๑๒.๒๕๗	๑๓๖	๙๓.๔๗๒		

*= ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ๐.๐๕

แนวทางส่งเสริมการพัฒนาเกษตรกรยุคใหม่ให้สอดคล้องกับการความต้องการของเกษตรกรในจังหวัดนครพนม ๕ อันดับแรก มีดังนี้

๑) ควรส่งเสริมเกษตรกรให้เป็นเกษตรกรยุคใหม่ด้วยส่งเสริมการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมด้วยการเทคโนโลยีชีวภาพ

๒) ให้เกษตรกรมีความรู้และความสามารถในการผลิตที่สอดคล้องมาตรฐาน GAP/GMP

๓) ให้เกษตรกรเรียนรู้การเป็นผู้ประกอบการ

๔) สร้างความภูมิใจในความเป็นเกษตรกรที่มีความมุ่งมั่นในการประกอบอาชีพและห่วงแหนพื้นที่ดินไว้ให้คนรุ่นต่อไป

๕) ส่งเสริมให้เกิดเครือข่ายความร่วมมือกันในชุมชนเพื่อเป็นภูมิคุ้มกันสำหรับชุมชน ดังตารางที่ ๔

โดยการส่งเสริมการพัฒนาเกษตรกรยุคใหม่ให้สอดคล้องกับการความต้องการของเกษตรกรนอกจากจะเป็นการพัฒนาภาคการเกษตรให้เข้มแข็งเพิ่มขึ้นแล้วยังสามารถยกระดับองค์กรเกษตรกรขั้นพื้นฐานสู่การเป็นผู้ประกอบการเชิงธุรกิจ อาทิ OTOP, วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อย (SME) ได้ด้วย

ตารางที่ ๔ แนวทางส่งเสริมการพัฒนาเกษตรกรยุคใหม่ให้สอดคล้องกับการความต้องการของเกษตรกรในจังหวัดนครพนม จำแนกตามความถี่

ลำดับ	แนวทางส่งเสริมการพัฒนาเกษตรกรยุคใหม่ให้สอดคล้องกับการความต้องการของเกษตรกรในจังหวัดนครพนม	ความถี่
๑	ควรส่งเสริมเกษตรกรให้เป็นเกษตรกรยุคใหม่ด้วยส่งเสริมการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมด้วยการเทคโนโลยีชีวภาพ	๕๕
๒	ให้เกษตรกรมีความรู้และความสามารถในการผลิตที่สอดคล้องมาตรฐาน GAP/GMP	๓๒
๓	ให้เกษตรกรเรียนรู้การเป็นผู้ประกอบการ	๒๔
๔	สร้างความภูมิใจในความเป็นเกษตรกรที่มีความมุ่งมั่นในการประกอบอาชีพและห่วงแหนพื้นที่ดินไว้ให้คนรุ่นต่อไป	๑๕
๕	ส่งเสริมให้เกิดเครือข่ายความร่วมมือกันในชุมชนเพื่อเป็นภูมิคุ้มกันสำหรับชุมชน	๑๔

สรุปและอภิปรายผล

ภาพรวมความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรเพื่อเป็นการเกษตรกรยุคใหม่ ในพื้นจังหวัดนครพนม มีความต้องการพัฒนาศักยภาพการเป็นเกษตรกรยุคใหม่อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๓.๒๕)) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อนุพงศ์ อวิรุทธา และคณะ (๒๕๖๑) ได้ศึกษาเรื่อง ความพร้อมและความต้องการในการพัฒนาทักษะของเกษตรกรในการปรับตัวสู่นโยบายประเทศไทย ๔.๐ ผลการศึกษาพบว่า ความพร้อมและความต้องการในการพัฒนาทักษะของเกษตรกร โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยสอดคล้องกับแนวคิดนโยบายไทยแลนด์ ๔.๐ ที่ต้องการพัฒนาเกษตรกรมีการทำเกษตรที่มีคุณภาพ มีความโดดเด่น สามารถเป็นต้นแบบ และสามารถมอบบทเรียนให้กับเกษตรกรรายอื่น ๆ ได้

เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า กลุ่มเกษตรกรส่วนใหญ่มีความต้องการในการพัฒนาศักยภาพด้านความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๓.๔๕) รองลงมา คือ ด้านมีความตระหนักถึงคุณภาพสินค้าและความปลอดภัยของผู้บริโภค อยู่ในระดับมาก(ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๓.๒๑) และด้านการบริหารจัดการผลผลิตและการตลาด อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๓.๑๐) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ยิ่งศักดิ์ ไกลพินิจ และคณะ (๒๕๖๐) ศึกษาเรื่องการจัดการการเกษตรสมัยใหม่ของประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่า ภาคการผลิตการเกษตรมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ทั้งด้านสภาพภูมิอากาศ การค้าและกฎหมาย ดังนั้นเกษตรกรที่มีการจัดการผลิตภาคการเกษตรตามแนวคิดเกษตรปราดเปรื่องต้องมีวางการแผนการผลิตและปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตโดยให้ความสำคัญกับข้อมูลโดยใช้เทคโนโลยีและสารสนเทศเพื่อใช้ในการตัดสินใจการวางแผนการผลิตเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ได้ปริมาณเพียงพอต่อความต้องการ มีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม

ในขณะที่ผลการศึกษาสะท้อนถึงกลุ่มเกษตรกรที่มีอายุระหว่าง ๒๕-๔๐ ปีมีความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรเพื่อเป็นการเกษตรกรยุคใหม่มากกว่ากลุ่มเกษตรกรที่มีอายุมากกว่า รวมถึงเกษตรกรที่สำเร็จการศึกษาในระดับอนุปริญญาขึ้นไป มีความต้องการในการพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรเพื่อเป็นการเกษตรกรยุคใหม่มากกว่าเกษตรกรที่สำเร็จการศึกษาที่ต่ำกว่า ซึ่งหากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องการจะพัฒนากลุ่มเป้าหมายแบบมุ่งเป้าหรือแบบเฉพาะเพื่อพัฒนาการเป็นเกษตรกรยุคใหม่ก็สามารถดำเนินการพัฒนาแบบเจาะจงได้เช่นกัน

ในส่วนแนวทางส่งเสริมการพัฒนาเกษตรกรยุคใหม่ให้สอดคล้องกับการความต้องการของเกษต รกรในจังหวัดนครพนม ๕ อันดับแรกเป็นการส่งเสริมการพัฒนาระดับปัจเจกบุคคลในขณะที่มีข้อเสนอลำดับสุดท้ายที่เสนอให้ส่งเสริมให้เกิดเครือข่ายความร่วมมือกันในชุมชนเพื่อเป็นภูมิคุ้มกันสำหรับชุมชน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย

ของชาตรี บัวคลี่ (๒๕๖๑) ศึกษาเรื่อง การพัฒนาอัตลักษณ์องค์กรสมาร์ตฟาร์มเมอร์ด้วยวิธีการบูรณาการวิจัย การบริการวิชาการและการเรียนการสอนอย่างมีส่วนร่วมตามแนวคิดเศรษฐกิจดิจิทัล ผลการศึกษาที่สนในคือ การพัฒนาการเป็นเกษตรกรยุคใหม่ควรเน้นการพัฒนาอย่างมีส่วนร่วมและพัฒนาแบบยกระดับในรูปแบบองค์กรที่เน้นการเรียนรู้ร่วมกันด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ให้ข้อมูลทุกท่าน ขอบคุณทีมงานทุกคนที่มีส่วนร่วมในการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม และขอบคุณผู้ที่ให้คำปรึกษาทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (๒๕๖๐). **แผนยุทธศาสตร์ส่งเสริมการเกษตร ระยะ ๒๐ ปี (พ.ศ. ๒๕๖๐ – ๒๕๗๙) และแผนปฏิบัติงาน ระยะ ๕ ปี** (พ.ศ. ๒๕๖๐ – ๒๕๖๔). สืบค้นเมื่อวันที่ ๒ มีนาคม ๒๕๖๔. จาก https://ssnet.doae.go.th › uploads › ๒๐๑๗/๐๙

ชาตรี บัวคลี่. (๒๕๖๑). การพัฒนาอัตลักษณ์องค์กรสมาร์ตฟาร์มเมอร์ด้วยวิธีการบูรณาการวิจัย การบริการวิชาการและการเรียนการสอนอย่างมีส่วนร่วมตามแนวคิดเศรษฐกิจดิจิทัล. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร ปีที่ ๑๑ (๒) ; หน้า ๑๙๑๓-๑๙๒๙.

นันทิกา จ่าพิชม และพิชัย ทองดีเลิศ. (๒๕๕๘). **ความพร้อมของเกษตรกรในการผลิตผักตามระบบเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกร**ในพื้นที่อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา. วิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่ ๔๖ (๓) หน้า ๖๕-๖๘.

ยิ่งศักดิ์ ไกลพินิจ และคณะ. (๒๕๖๐). **การจัดการการเกษตรสมัยใหม่ของประเทศไทย**. วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์. ๑๒ (๒) หน้า ๑๑๕-๑๒๗.

อนุพงศ์ อวิรุทธาและคณะ. (๒๕๖๑). **ความพร้อมและความต้องการในการพัฒนาทักษะของเกษตรกรในการปรับตัวสู่นโยบายไทยแลนด์ ๔.๐.** วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ ในพระบราชูปถัมภ์. ปีที่ ๑๒ (๒) หน้า ๓๑๓.

การศึกษาพฤติกรรมการสั่งอาหารและเครื่องดื่มแบบเดลิเวอรี่ ผ่านแอปพลิเคชันช่วงการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019

A Study of Ordering Behavior of Food and Beverage Delivery Through an Application During The Incidence of Novel Coronavirus 2019

กรวิชญ์ คำศรี[1*] อุบลศิลป์ โพธิ์พรม[2]
สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร[1 2]
Korravit.kh61@snru.ac.th, ubonsin@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสั่งอาหารและเครื่องดื่มแบบเดลิเวอรี่ผ่านแอปพลิเคชันช่วงการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 2) เพื่อศึกษาความพึงพอใจในการใช้แอปพลิเคชันการสั่งซื้ออาหารและเครื่องดื่ม 3) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้ แอปพลิเคชันการสั่งซื้ออาหารและเครื่องดื่มในเขตเทศบาลสกลนคร กลุ่มประชากรคือ ประชาชนในเขตเทศบาลเมืองสกลนคร โดยใช้แบบสอบถามปลายปิดกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 401 ชุด เลือกกลุ่มตัวอย่างจากสูตรยามาเน่ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา สถิติอ้างอิง คือ T-Test และการวิเคราะห์ปัจจัย

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 พบว่าพฤติกรรมการสั่งอาหารแบบเดลิเวอรี่จำนวนสูงสุดต่อสัปดาห์คือ 5 ครั้ง ใช้แอปพลิเคชัน Line Man ในการสั่งอาหารและเครื่องดื่มสูงสุด โดยสั่งอาหารพร้อมรับประทานสูงสุดร้อยละ 97.3 และเครื่องดื่มที่สั่งมากที่สุดคือ กาแฟ ร้านอาหารที่ถูกสั่งอาหารมากที่สุดคือร้านนิดหน่อยส้มตำ และร้านเครื่องดื่มที่ถูกสั่งมากที่สุดคือ อเมซอล ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 พบว่าความพึงพอใจในการใช้แอปพลิเคชันการสั่งซื้ออาหารและเครื่องดื่มในภาพรวมอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านมีโปรโมชั่นและค่าจัดส่งอาหารและเครื่องดื่ม คือระดับมากที่สุด ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้แอปพลิเคชันการสั่งซื้ออาหารและเครื่องดื่มในเทศบาลสกลนคร จากตัวแปรที่มีผลต่อการสั่งอาหารและเครื่องดื่มทั้ง 40 ตัวแปร ผลการวิเคราะห์ปัจจัยพบเพียง 8 ตัวแปร

คำสำคัญ : แอปพลิเคชันการสั่งอาหาร การบริการแบบเดลิเวอรี่ โควิด-19

ABSTRACT

The objectives of this research are 1) to study the behavior of ordering food and beverages via the applications during the coronavirus disease 2019 epidemic, 2) to study the satisfaction of using food and beverage ordering applications, 3) to study the factors affecting the choice application to order food and beverages in Sakon Nakhon municipality by a closed-ended questionnaire, The 401 samples in the Sakon Nakhon municipality using the Yamane formula. The descriptive statistics and the reference statistics as T-test and Factor analysis were used.

The results showed that the maximum number of food delivery ordering behaviors per week is 5 times. Use the Line Man app to order food and drink the maximum. The most ordered ready-to-eat food was 97.3%, and the most ordered beverage was coffee. The most ordered restaurant is Nidnoi Somtum. And also the most ordered drink is Amazon cafe. It was found that the overall satisfaction with using the

food and beverage ordering application was at a high level. When considering each aspect, it was found that there were promotions and delivery charges for food and beverages, is the highest level. And found that the factors affecting the choice of food and beverage ordering application in Sakon Nakhon Municipality Of the 40 variables affecting food and beverage orders, only 8 variables were found in the factor analysis.

Keywords : Food ordering applications, Delivery services, during Corona 2019 pandemic

บทนำ

สถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 (COVID-19) ได้สร้างความวุ่นวายให้กับทุกประเทศทั่วโลกเป็นอย่างมากทั้งด้านเศรษฐกิจ สาธารณสุข และสังคม ประเทศไทยเช่นเดียวกันได้รับผลกระทบไม่ต่างจากประเทศอื่น ๆ ทั่วโลกเช่นกัน สถานการณ์ไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 (COVID-19) เริ่มทวีความรุนแรงมากขึ้น มียอดผู้ป่วยเพิ่มขึ้นทุกวันและมี แนวโน้มว่าตัวเลขจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ กรุงเทพมหานคร มีคำสั่งใช้ประกาศสั่งปิดสถานที่เป็นการชั่วคราว ออกมาหลายครั้งแล้ว ทำให้ร้านอาหารทั่วไปไม่สามารถให้บริการภายในร้านได้อีกต่อไป เหลือไว้เพียงเดลิเวอรี่หรือสั่งกลับบ้านเท่านั้น ดังนั้น ใครที่ไม่ทำอาหารด้วยตัวเองจึงต้องพึ่งพาการสั่งอาหารแบบเดลิเวอรี่ หลายคนจึงปรับเปลี่ยนพฤติกรรมมาสั่งอาหารผ่านแอปพลิเคชันเพิ่มขึ้น ซึ่งจากมูลค่าตลาดการสั่งอาหารออนไลน์ ผ่านแอปพลิเคชันในปี 2563 มีมูลค่า 33,000- 35,000 ล้านบาท ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2562 ถึง ร้อยละ 14 ในปัจจุบันธุรกิจการจัดส่งอาหาร ไปยังที่พัก (Food Delivery) มีการพัฒนาอย่างมากซึ่งมีผลมาจากการที่ผู้บริโภคคนไทยที่มีพฤติกรรมการบริโภคที่ชอบของอร่อยในขณะเดียวกันจะชอบความสะดวกสบาย จึงนิยมสั่งอาหารผ่านแอปพลิเคชันเพิ่มขึ้นการสั่งอาหารออนไลน์ผ่านแอปพลิเคชันจึงกลายเป็นส่วนหนึ่งของการใช้ชีวิตประจำวันของคนที่พักอาศัยในสกลนคร ซึ่งแอปพลิเคชันสามารถอำนวยความสะดวก ในช่วงเวลาที่รีบเร่งหรือเวลาที่เหนื่อยล้าในการเดินทางไปซื้ออาหาร (ณัธภัชร เฉลิมแดน, 2563)

ในปัจจุบันที่สกลนครมีบริการสั่งอาหารออนไลน์ผ่านแอปพลิเคชันให้ผู้บริโภคได้ตัดสินเลือกมากขึ้น เช่น สนักเดลิเวอรี่ (Sanok Delivery), ไลน์แมน (LINEMAN), ฟูดแพนดา (Food Panda), แกร็บฟูด (GrabFood), สกลฟูดลิงค์ (Sakon Food Link), Daily – สกลนคร ใส่ใจ, มาย (Mind), เป็นต้น (ณัธภัชร เฉลิมแดน, 2563) ซึ่งแต่ละแอปพลิเคชั่นจะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกัน แต่จะมีความแตกต่างกันในด้าน ค่าบริการส่งอาหาร วิธีการชำระเงิน วิธีการสมัคร เมนูการใช้งาน พื้นที่การให้บริการและเวลาการให้บริการ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการด้านพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีความหลากหลาย (ณัธภัชร เฉลิมแดน, 2563)

ประชาชนในจังหวัดสกลนครปัจจุบันมีพฤติกรรมและการใช้สมาร์ทโฟนเพื่อสั่งซื้อสินค้าออนไลน์เพิ่มมากขึ้น (จุฬารัตน์ งิ้วพรหม, 2562) ดังนั้นเมื่อเกิดเหตุการณ์ระบาดโควิด 19 จึงมีบริการใหม่เข้ามาเป็นแอปพลิเคชันในการสั่งอาหารและสินค้าต่างๆ มาบริโภคในบ้าน ด้วยเหตุนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาศึกษาพฤติกรรมประชาชนในการสั่งอาหารแบบเดลิเวอรี่ผ่านโมบายแอปพลิเคชันในเทศบาลเมืองจังหวัดสกลนคร ช่วงเกิดโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 (COVID-19)

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสั่งอาหารและเครื่องดื่มแบบเดลิเวอรี่ผ่านแอปพลิเคชันช่วงการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019

2) เพื่อศึกษาความพึงพอใจในการใช้แอปพลิเคชันการสั่งซื้ออาหารและเครื่องดื่ม

3) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้ แอปพลิเคชันการสั่งซื้ออาหารและเครื่องดื่มในเขตเทศบาลสกลนคร

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. แอปพลิเคชัน โดย นุชจรินทร์ ศรีสุวรรณ (2555) กล่าวว่า พฤติกรรมการใช้งานและปัจจัยที่มีผลในการเลือกใช้แอปพลิเคชั่นบนโทรศัพท์เคลื่อนที่สมาร์ทโฟนกรณี นักศึกษามหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์พบว่าประชากรกลุ่มตัวอย่างเป็นเพศหญิง ช่วงอายุ 24-26 ปี ระดับการศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีและศึกษาอยู่คณะเทคโนโลยีสารสนเทศโดยมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 10,001-15,000 บาท ส่วนมากเคยมีประสบการณ์การใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่สมาร์ทโฟนมีระยะเวลาในการใช้งาน 1-3 ชั่วโมงโดยมีค่าใช้จ่ายในการใช้งานโทรศัพท์เพื่อนที่สมาร์ทโฟนเฉลี่ยต่อเดือน 500 ถึง 1,000 บาทยี่ห้อโทรศัพท์ที่นิยมใช้คือ โนเกีย (Nokia) ระบบปฏิบัติการที่นิยมใช้คือ ซิมเบียน โอเอส (Symbion OS) และมีความถี่ในการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ 2 ครั้งต่อวันส่วนมากให้ความสำคัญกับการเลือกใช้แอปพลิเคชั่นให้ตรงต่อความต้องการและต่อความสะดวกในการใช้งาน แอปพลิเคชั่นที่สามารถใช้งานได้ทุกเวลา

2. การให้บริการสั่งอาหารและเครื่องดื่มแบบเดลิเวอรี่ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกผู้ให้บริการโลจิสติกส์ในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง 370 ราย ผลจากการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เคยมีการใช้บริการโลจิสติกส์ ซึ่งยังคงเลือกใช้อยู่และมีแนวโน้มเพิ่มจำนวนการใช้บริการมากขึ้น ส่วนใหญ่ตัดสินใจเลือกจ้างผู้ให้บริการด้านการขนส่งเป็นหลัก ขอบเขตการใช้บริการระยะเวลาดำเนินกิจการขนาดขององค์กรที่แตกต่างกันจะมีการเลือกผู้ให้บริการแตกต่างกัน

ปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อการเลือกผู้ให้บริการโลจิสติกส์ที่เป็นผู้ให้บริการสัญชาติไทยจะเลือกผู้ให้บริการสัญชาติไทยเพิ่มมากขึ้นเมื่อผู้ใช้บริการได้รับ ปัจจัยด้านการบริการ ด้านราคา ด้านช่องทางการบริการและด้านพนักงานที่มีคุณภาพเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะด้านการบริการ และจากข้อเสนอแนะของกล่มตัวอย่างสรุปว่า องค์กรผู้ให้บริการไทยควรมีการพัฒนาศักยภาพขององค์กร ให้มีความเชี่ยวชาญเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการที่มีจำนวนรายเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กาญจน์สิตา โฆษิตธัญญสิทธิ์ และชนงกรณ์ กุณฑลบุตร, 2555)

3. โควิด-19 การระบาดทั่วของโควิด-19 เป็นการระบาดทั่วโลกที่กำลังดำเนินไปของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19; โควิด-19) โดยมีสาเหตุมาจากไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ เริ่มต้นขึ้นในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 โดยพบครั้งแรกในนครอู่ฮั่น เมืองหลวงของมณฑลหูเป่ย์ ประเทศจีน องค์การอนามัยโลกได้ประกาศให้การระบาดนี้เป็นภาวะฉุกเฉินทางสาธารณสุขระหว่างประเทศ ในวันที่ 30 มกราคม 2563 และประกาศให้เป็นโรคระบาดทั่ว ในวันที่ 11 มีนาคม 2563 (ddc.moph, 2020)

โดยโรคโควิด-19 นั้นมีพิษภัยร้ายแรงกว่าโรคไข้หวัด คนจำนวนไม่น้อยคิดว่า โควิดเป็นเพียงไข้หวัดธรรมดา ประชาชนจึงไม่ได้คิดหาทางป้องกันอย่างจริงจัง โควิด-19 มีระยะฟักตัว (ระยะตั้งแต่ติดเชื้อจนมีอาการเจ็บป่วย) 2-14 วัน ในขณะที่ไข้หวัดมีระยะฟักตัวเพียง 1-3 วัน จึงมีโอกาสแพร่เชื้อได้นานกว่า เชื้อโควิด-19 สมารถแพร่ได้ตั้งแต่ 48 ชั่วโมงก่อนมีอาการ และแม้ผู้ติดเชื้อที่ไม่มีอาการ พบได้ราวร้อยละ 20-30 ของผู้ติดเชื้อทั้งหมด (dmh.go.th, 2021)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย

1. กำหนดปัญหาที่จะดำเนินการวิจัยศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับพฤติกรรมการสั่งอาหารและเครื่องดื่มแบบเดลิเวอรี่ผ่านแอปพลิเคชันช่วงการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019
2. ออกแบบการวิจัยเป็นเชิงปริมาณ โดยกำหนดกลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง และพัฒนาเครื่องมือ
3. การเก็บข้อมูล

4. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบเชิงพรรณนาและเชิงอ้างอิงพร้อมนำเสนอข้อมูล

5. สรุปผลการวิจัย

2. เครื่องมือการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ การศึกษาพฤติกรรมการสั่งอาหารและเครื่องดื่มแบบเดลิเวอรี่ผ่านแอปพลิเคชันช่วงการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยพัฒนาเครื่องมือแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ

1. การทอดสอบหาค่าความถูกต้องของเนื้อหาโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ตามเทคนิค IOC

2. การทดสอบหาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม โดยการนำไปทดสอบกับประชาชนในเขตเทศบาลสกลนคร 30 ชุดพบว่า มีค่าความเชื่อมั่น 0.821

3. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1 ประชากรในเขตเทศบาลจังหวัดสกลนคร มีจำนวน 196,948 คน (Wikipedia, 2020)

3.2 กลุ่มตัวอย่าง เป็นตัวแทนประชากรที่อยู่ในเขตเทศบาลจังหวัดสกลนครจำนวน 401 คน

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เชิงพรรณนา สถิติอ้างอิง

4.1 เชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าสถิติร้อยละ หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 สถิติอ้าง F – TEST T-test การแจกแจงไคสแควร์ (Chi – Square) การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis)

ผลการวิจัยวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสั่งอาหารแบบเดลิเวอรี่ผ่านแอปพลิเคชันในช่วงการระบาดของโควิด-19

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ใช้แอปพลิเคชันในการสั่งอาหารและเครื่องดื่ม

แอปพลิเคชันในการสั่งอาหารและเครื่องดื่ม	จำนวน	ร้อยละ
Line Man	292	40.8
Grab Food	146	20.4
Food Panda	249	34.8
Honestbee	12	1.7
Eat Ranger	1	0.1
Ginja	1	0.1
Zabdelivery	14	2.0
รวม	715	100

จากตารางที่ 1 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมาก เคยใช้แอปพลิเคชัน Line Man ในการสั่งอาหารและเครื่องดื่ม จำนวน 292 คน เป็นจำนวนมากที่สุด ลำดับถัดมาคือ Food Panda จำนวน 249 คน

ตารางที่ 2 ผู้ให้บริการส่งอาหารและเครื่องดื่มในจังหวัดสกลนคร

ผู้ให้บริการส่งอาหารและเครื่องดื่ม	จำนวน	ร้อยละ
Food Panda	241	25.2

Line Man	286	29.9
Grab Food	152	15.9
7 elevan	127	13.3
Sakon Food Link	42	4.4
ใส่ใจ	30	3.1
Mind	12	1.3
Dail-สกลนคร	67	7.0
รวม	957	100

จากตารางที่ 2 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากผู้ใช้บริการส่งอาหารและเครื่องดื่มในจังหวัดสกลนคร คือ Line Man จำนวน 286 คน เป็นจำนวนมากที่สุด ลำดับถัดมาคือ Food Panda จำนวน 241 คน

2. ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อศึกษาความพึงพอใจในการใช้แอปพลิเคชันการสั่งซื้ออาหารและเครื่องดื่มในเขตเทศบาลจังหวัดสกลนคร

สมมติฐานข้อที่ 1

สมมติฐานการวิจัย คือ ประชาชนในเขตเทศบาลมีความพึงพอใจต่อการใช้แอปพลิเคชันในด้านต่าง ๆ ในระดับมาก

สมมติฐานทางสถิติ คือ

H_0 : $\mu \leq$ 3.49 ประชาชนในเขตเทศบาลมีความพึงพอใจต่อการใช้แอปพลิเคชันในด้านต่าง ๆ ต่ำกว่าระดับมาก

H_1 : $\mu >$ 3.49 ประชาชนในเขตเทศบาลมีความพึงพอใจต่อการใช้แอปพลิเคชันในด้านต่าง ๆ ในระดับมากขึ้นไป

ตารางที่ 3 แสดงความพึงพอใจต่อการใช้แอปพลิเคชัน

ความพึงพอใจต่อการใช้แอปพลิเคชัน	$\bar{x}$	**S.D.**	**t-test**	**P**	**ระดับความคิดเห็น**
การตอบสนองของการให้บริการอย่างรวดเร็ว	3.540	1.263	0.811	0.209	ระดับมาก
ความเหมาะสมของการให้บริการ	3.750	1.237	4.258	0.000	ระดับมาก
ได้รับความสะดวกสบายในการเข้าถึงบริการ	3.720	1.266	3.609	0.000	ระดับมาก
มีการให้บริการแอปพลิเคชันที่เหมาะสมต่อการใช้งาน	3.640	1.273	2.374	0.009	ระดับมาก
มีการให้บริการแอปพลิเคชันที่เหมาะสมตรงตามต้องการ	3.630	1.220	2.313	0.010	ระดับมาก
มีการให้บริการแนะนำแอปพลิเคชันที่ทันสมัย	3.650	1.159	2.736	0.003	ระดับมาก
สามารถเข้าถึงบริการแอปพลิเคชันได้ทุกเวลา	3.590	1.242	1.669	0.048	ระดับมาก
ความพร้อมในการให้บริการ	3.650	1.282	2.474	0.007	ระดับมาก
มีการใช้แอปพลิเคชันเพื่อหาข้อมูลอาหารต่างๆ	3.840	1.242	5.569	0.000	ระดับมาก
มีการเข้าถึงบริการแอปพลิเคชันได้สะดวกสบายยิ่งขึ้น	3.680	1.208	3.122	0.001	ระดับมาก
ภาพรวมทุกด้าน	3.668	0.834	4.294	0.000	ระดับมาก

จากสถานการณ์พบว่าประชาชนในเขตเทศบาลมีความพึงพอใจต่อการใช้แอปพลิเคชันในภาพรวมคือ ระดับมาก ($\bar{x}$=3.668) จากตารางพบว่า P < 0.05 เป็นการยอมรับสมมติฐานทางการวิจัยที่ตั้งไว้

สมมติฐานข้อที่ 2

สมมติฐานการวิจัย คือ ประชาชนในเขตเทศบาลมีความความพึงพอใจต่อผู้ให้บริการส่งอาหาร และเครื่องดื่มแบบเดลิเวอรี่ในระดับมาก

สมมติฐานทางสถิติ คือ

H_0 : $\mu \leq$ 3.49 ประชาชนในเขตเทศบาลมีความความพึงพอใจต่อผู้ให้บริการส่งอาหารและเครื่องดื่มแบบเดลิเวอรี่ต่ำกว่าระดับมาก

H_1 : $\mu >$ 3.49 ประชาชนในเขตเทศบาลมีความความพึงพอใจต่อผู้ให้บริการส่งอาหารและเครื่องดื่มแบบเดลิเวอรี่ระดับมากขึ้นไป

ตารางที่ 4 ความพึงพอใจต่อผู้ให้บริการส่งอาหารและเครื่องดื่ม

ความพึงพอใจต่อผู้ให้บริการส่งอาหารและเครื่องดื่ม	$\bar{x}$	S.D.	t-test	P	ระดับความคิดเห็น
คุณภาพของการให้บริการดี	3.550	1.286	0.952	0.171	ระดับมาก
มีโปรโมชั่นและค่าจัดส่งอาหารและเครื่องดื่ม	3.770	1.147	4.813	0.000	ระดับมาก
ตอบโจทย์ความสะดวกสบายของผู้ซื้อ	3.560	1.260	1.130	0.129	ระดับมาก
เป็นที่นิยมในการเลือกใช้ผู้ให้บริการส่งอาหารและเครื่องดื่มแบบเดลิเวอรี่	3.700	1.171	3.605	0.000	ระดับมาก
เป็นที่นิยมในสื่อโซเชียล	3.560	1.197	1.148	0.126	ระดับมาก
ราคาและค่าจัดส่งเหมาะสม	3.630	1.264	2.232	0.013	ระดับมาก
ระยะเวลาในการส่งอาหารเหมาะสม	3.570	1.267	1.242	0.107	ระดับมาก
มีร้านค้าหลากหลายให้บริการสั่งอาหาร	3.550	1.204	0.934	0.175	ระดับมาก
เคยใช้บริการแล้วถูกใจจึงใช้บริการต่อ	3.670	1.234	2.894	0.002	ระดับมาก
ผู้ให้บริการมีการให้คำแนะนำที่ดี	3.550	1.254	0.976	0.165	ระดับมาก
ภาพรวมทุกด้าน	3.610	0.775	3.106	0.001	ระดับมาก

จากสถานการณ์พบว่าประชาชนในเขตเทศบาลมีความพึงพอใจต่อผู้ให้บริการส่งอาหารและเครื่องดื่มในภาพรวมคือ ระดับมาก ($\bar{x}$=3.610) จากตารางพบว่า P < 0.05 เป็นการยอมรับสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้

3. ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้แอปพลิเคชันการสั่งซื้ออาหารและเครื่องดื่มในเขตเทศบาลจังหวัดสกลนคร

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้แอปพลิเคชันการสั่งซื้ออาหารและเครื่องดื่มในเทศบาลจังหวัดสกลนคร จากทั้งหมด 40 ตัวแปร ใช้การวิเคราะห์ปัจจัยแบบ EFA ได้ตัวแปรใหม่ทั้งหมด 8 ตัวแปร ดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้แอปพลิเคชันในการสั่งอาหารและเครื่องดื่มในจังหวัดสกลนคร

อภิปรายผลการวิจัย

ผลวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 พฤติกรรมการสั่งอาหารและเครื่องดื่มแบบเดลิเวอรี่ในจังหวัดสกลนคร พบว่า พฤติกรรมการสั่งอาหารและเครื่องดื่มแบบเดลิเวอรี่สูงสุดคือ 5 ครั้งต่อสัปดาห์ สอดคล้องกับงานวิจัย (จุฬารัตน์ จิ้วพรหม, 2562) ประชาชนในจังหวัดสกลนครมีพฤติกรรมการใช้สมาร์ทโฟนเพื่อสั่งซื้อสินค้าออนไลน์ จำนวนบ่อยครั้ง

ผลวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ความพึงพอใจในการใช้แอปพลิเคชันการสั่งซื้ออาหารและเครื่องดื่มในเขตเทศบาลจังหวัดสกลนคร พบว่าสอดคล้องกับงานวิจัย สรวิศ เชื้อไทย (2563) 1) สามารถใช้อุปกรณ์เข้าถึงโซเชียลมีเดียได้ 2) โซเชียลมีเดียมีความน่าเชื่อถือ งานวิจัยที่ค้นพบใหม่คือ 1) การตอบสนองของการให้บริการอย่างรวดเร็ว 2) ความเหมาะสมของการให้บริการ 3) ได้รับความสะดวกสบายในการเข้าถึงบริการ 4) มีการให้บริการแอปพลิเคชันที่เหมาะสมต่อการใช้งาน 5) มีการให้บริการแอปพลิเคชันที่เหมาะสมตรงตามต้องการ 6) มีการให้บริการแนะนำแอปพลิเคชันที่ทันสมัย 7) สามารถเข้าถึงบริการแอปพลิเคชันได้ทุกเวลา 8) ความพร้อมในการให้บริการ 9) มีการใช้แอปพลิเคชันเพื่อหาข้อมูลอาหารต่างๆ 10) มีการเข้าถึงบริการแอปพลิเคชันได้สะดวกสบายยิ่งขึ้น

ผลวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 คิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้แอปพลิเคชันการสั่งซื้ออาหารและเครื่องดื่มในเขตเทศบาลจังหวัดสกลนคร พบว่าตัวแปรใหม่มีทั้งหมด 8 ตัวแปร คือ 1) แอปพลิเคชันสามารถอำนวยความสะดวกสบายในการใช้ชีวิตประจำวันได้ 2) ความประทับใจต่อผู้ให้บริการส่งอาหารและเครื่องดื่ม 3) มีการส่งเสริมการขายของแอปพลิเคชันในการสั่งอาหารและเครื่องดื่มและมีการบริการที่เหมาะสม 4) ความน่าเชื่อถือของผู้ให้บริการส่งอาหารและเครื่องดื่ม 5) แอปพลิเคชันสร้างความสะดวกสบาย 6) การให้บริการมีความรวดเร็วและทันสมัย 7) การได้รับอาหารตรงตามที่สั่ง 8) มารยาทของผู้ให้บริการส่งอาหารและเครื่องดื่ม ไม่สอดคล้องกับงานวิจัย สรวิศ เชื้อไทย (2563) พบว่า ผู้สูงอายุในพื้นพี่จังหวัดสกลนครส่วนมาก 1) การใช้โซเชียลมีเดียอาจมีไวรัสแฝงมากับโซเชียลมีเดีย 2) ได้รับสินค้าไม่ตรงตามที่สั่งเมื่อสั่งสินค้าผ่านโซเชียลมีเดีย

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาพฤติกรรมการสั่งอาหารและเครื่องดื่มผ่านแอปพลิเคชั่น
2. ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาปัญหาจากการสั่งอาหารและเครื่องดื่มแบบเดลิเวอรี่ที่มีผลต่อผู้ที่สั่ง
3. ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาว่ามีผู้ให้บริการส่งอาหารและเครื่องดื่มเพิ่มขึ้นหรือไม่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ได้สนับสนุนทุนการจัดทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

จุฬารัตน์ งิ้วพรหม. (2562). *ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้แอปพลิเคชั่นของคนในชุมชนในเขตเทศบาลสกลนคร. โครงงานคอมพิวเตอร์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต.* สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ. มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

ฉวีวรรณ ชัยโสตถ. (2557). *ความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อคุณภาพการบริการของ Lazada เว็บช็อปปิ้งออนไลน์ การศึกษาค้นคว้าอิสระเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลัก สูตบริหารธุรกิจมหาบัณฑิตกลุ่มวิชาการตลาดบัณฑิต* วิทยาลัยมหาวิทยาลัย หอการค้าไทย.

ณัธภัชร เฉลิมแดน. (2563). *พฤติกรรมผู้บริโภคในการสั่งอาหารแบบเดลิเวอรี่ผ่านโมบายแอปพลิเคชั่น ช่วงเกิดโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 (COVID-19).*

ณัฐรุจา พงศ์สุพัฒน์. (2561). *การศึกษาตลาดแอปพลิเคชั่นอาหารและพฤติกรรมผู้บริโภคต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการแอปพลิเคชั่นอาหาร การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต.* คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

เบญจพร สุวรรณแสนทวี. (2557). *ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกผู้ให้บริการในการขนส่งโลจิสติกส์ของผู้ประกอบการธุรกิจอาหารในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.*

บงกช โมระสกุล. (2564). *ความรู้และพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด-19 ของนักศึกษาพยาบาลชั้นปีที่ 1* วิทยาลัยนานาชาติเซนต์เทเรซา และวิทยาลัยเซนต์หลุยส์.

พิมพงา วีระโยธิน. (2560). *ปัจจัยที่ส่งผลให้ผู้บริโภคตัดสินใจใช้แอปพลิเคชันอูเบอร์ อีท (Uber Eats) เพื่อบริการรับส่งอาหาร (Food Delivery). การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรนิเทศศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการสื่อสารการตลาดดิจิทัล*. มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

สรวิศ เชื้อไทย (2563). *การศึกษาพฤติกรรมการใช้แอปพลิเคชั่นของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลสกลนคร. โครงงานคอมพิวเตอร์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต.* สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ. มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเป็นผู้ขายสินค้าผ่านแอปพลิเคชันของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

The Factors Influencing Being A Merchant through An Application of Sakon Nakhon Rajabhat University Students

ภาณุพล พันธุโคตร[1*] อุบลศิลป์ โพธิ์พรม[2]
สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร[1 2]
owenpantukhot191@gmail.com[*], ubonsin@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการซื้อสินค้าผ่านแอปพลิเคชันของนักศึกษามหาวิทยาลัย และเพื่อศึกษาปัจจัยที่แสดงถึงการเป็นผู้ขายสินค้าผ่านแอปพลิเคชันของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เป็นวิจัยเชิงปริมาณ โดยสำรวจจากกลุ่มประชากรคือนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามออนไลน์ จากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 6 คณะ จำนวน 399 คน โดยใช้สูตรยามาเน่ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา และสถิติอ้างอิง

ผลการวิจัยพบว่า นักศึกษาใช้แอปพลิเคชัน Shopee Lazada และ Line Shop สั่งซื้อสินค้าในช่วงการระบาดของโควิด-19 จำนวนมากที่สุดสามอันดับแรก โดยในแต่ละเดือนสั่งสินค้าไม่ต่ำกว่า 1 ครั้ง สินค้าที่สั่งจำนวนมากที่สุดคือ เสื้อผ้า รองเท้า กระเป๋า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เรียงตามลำดับ และพบว่าจากผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดมีผู้ที่เป็นผู้ขายสินค้าผ่านแอปพลิเคชันจำนวน 72 คนคิดเป็นร้อยละ 28 มีประสบการณ์การขายไม่ถึงหนึ่งปี ช่วงเวลาที่ขายสินค้าออนไลน์คือช่วงเวลา 12.00-18.00 น. โดยแอปพลิเคชันที่ผู้ขายสินค้าที่นิยมใช้งานคือ Shopee Lazada และ Facebook เรียงตามลำดับ ส่วนใหญ่จะขายสินค้าประเภท เสื้อผ้า รองเท้า อาหาร และเครื่องสำอางเป็นส่วนใหญ่ และยังพบว่าตัวแปรที่บ่งบอกว่านักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครจะเป็นผู้ขายสินค้าออนไลน์ได้ต้องมีลักษณะดังนี้คือ มีความกระตือรือร้น มีอุปนิสัยดี มีจิตใจบริการ มีอุปกรณ์ในการขายสินค้าออนไลน์ สร้างสื่อดิจิตอลดได้อย่างคล่องแคล่ว ใช้เทคโนโลยีได้อย่างคล่องแคล่วและเข้าใจกระบวนการชำระเงิน

คำสำคัญ : พฤติกรรมการซื้อสินค้าผ่านแอปพลิเคชั่น การเป็นผู้ขายสินค้าผ่านแอปพลิเคชั่น นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ABSTRACT

The objectives of this study were to study about shopping behavior through the application of students at Sakon Nakhon Rajabhat University and study the factors affecting to shopping behavior through the application of students at Sakon Nakhon Rajabhat University. It was a quantitative research. The population is students at Sakon Nakhon Rajabhat University, it showed that the information data were collected from online questionnaires, from all 6 faculties sample with 399 people using Yamane formula. The data was analyzed using descriptive and reference statistics.

The findings indicated that the students who sold products through applications with 72 students, representing 28 percent, had less than one year of sales experience. The online sales period was from 12:00 o'clock to 18:00 o'clock. By the most population apps used by sellers are Shopee, Lazada and Facebook respectively. Most of them sold products like clothes, shoes, food and cosmetics. And it also found that the variables indicated that students at Sakon Nakhon Rajabhat University wanted to sell

products online must have characteristics such as : enthusiasm, kindness, attentive service. There is also had a device to sell products online, created proficient digital media and used technology proficiently.
Keywords : Shopping behavior through application, Being a seller through an application, Students at Sakon Nakhon Rajabhat University.

บทนำ

อินเทอร์เน็ตมีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตประจำวันของคนเราเพิ่มมากขึ้นไม่ว่าจะเป็นการติดต่อสื่อสาร การเรียน การติดตามข่าวสารบ้านเมืองต่างๆ ความบันเทิงทุกรูปแบบ และการซื้อขาย ออนไลน์ เป็นต้น เทคโนโลยีสมัยใหม่มีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ ก็สามารถเชื่อมโยง เข้ากับอินเทอร์เน็ตเพื่อใช้งานได้อย่างสะดวกสบายมากขึ้นไม่ว่าจะอยู่ที่ไหน เพราะในปัจจุบันมีเครือข่ายของ ระบบสัญญาณอินเทอร์เน็ตให้บริการหลายเครือข่าย อีกทั้งยังมีบริการของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถ รองรับการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงเพิ่มขึ้นอย่างแพร่หลาย ทำให้อินเทอร์เน็ตกระจายไปสู่หลายๆพื้นที่ได้อย่างรวดเร็ว (สุธาทิพย์ ทั่วจบ, 2555) หนึ่งในธุรกิจที่เกิดจากการใช้งานแอปพลิเคชัน ทำให้เกิดการซื้อขายสินค้าผ่านแอปพลิเคชันที่ได้รับความนิยมมากขึ้นทุกวัน ซึ่งในปัจจุบันมีบริการ สั่งสินค้าออนไลน์ผ่านแอปพลิเคชันให้ผู้บริโภค ได้ตัดสินใจเลือกมากขึ้น (จุฑารัตน์ เกียรติรัศมี, 2558) อาทิ เช่น ช้อปปี้ (Shopee) ลาซาด้า (Lazada) ไลน์ช็อป (Lineshop) ช็อปสปอท (Shopspot) ทิสช็อป (Tisshop) เป็นต้น ซึ่งแต่ละแอปพลิเคชั่นจะมีลักษณะการใช้งานที่ คล้ายกัน แต่จะมีความแตกต่างกันในด้าน ค่าบริการส่งสินค้า วิธีการชำระเงิน วิธีการสมัคร พื้นที่การให้บริการ และเวลาการ ให้บริการ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่มีความหลากหลาย (ณัธภัชร เฉลิมแดน, 2563) นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เป็นอีกกลุ่มบุคคลหนึ่งที่นิยมการซื้อสินค้าผ่านแอปพลิเคชั่นเป็นจำนวนมาก (พิมพ์ชนก ลาดสุวรรณ, 2562) ยิ่งในช่วงการแพร่ระบาดของโควิด-19 นักศึกษามาหาวิทยาราชภัฏสกลนคร ส่วนใหญ่จะเรียนหนังสือผ่านระบบออนไลน์อยู่ตามสถานที่พักของตน ดังนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาว่า นักศึกษามาหาวิทยาราชภัฏสกลนคร มีพฤติกรรมการสั่งสินค้าออนไลน์ด้วยหรือไม่ในช่วงการระบาดของโควิด-19 นี้

1. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการซื้อสินค้าผ่านแอปพลิเคชั่นของนักศึกษาในช่วงการระบาดโควิด-19
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่แสดงถึงการเป็นผู้ขายสินค้าผ่านแอปพลิเคชั่นของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาการซื้อ ขายสินค้าออนไลน์ขึ้นมา เพราะความเข้าถึงง่ายของเทคโนโลยี ความสะดวกสบายในการเลือกซื้อ สินค้าที่ง่าย รวดเร็ว ตัดปัญหาเรื่องของการเดินทาง บางครั้งยังได้สินค้าที่มีราคาถูกกว่าท้องตลาด เนื่องจากร้านค้าออนไลน์ไม่มีต้นทุนในการเปิดร้าน แต่ใน อีกด้านหนึ่ง การเติบโตของธุรกิจออนไลน์ก็ทำให้เกิดปัญหาหลายอย่างตามมา เช่น ได้รับสินค้าที่ไม่มี คุณภาพ หรือคุณภาพต่ำกว่าที่โฆษณาขายไว้ทางออนไลน์ ได้สินค้าไม่ตรงกับที่สั่งซื้อ หรือไม่ตรงกับ ความต้องการ รวมไปถึงการโฆษณาเกินจริง หลอกลวงผู้บริโภค (ทวียศ ศรีเกต, 2557)

พฤติกรรมการการบริโภคผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่าความปลอดภัยของวิธีการชำระเงินเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคเนื่องจากพบปัญหาการมีผู้แอบบอ้างนำเลขบัตรเครดิตไปใช้ และกลายเป็นหนึ่งปัจจัยที่ทำให้ผู้บริโภคตัดสินใจไม่ซื้อสินค้าและบริการผ่านช่องทางพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (บุญบา มาลาศรี, 2554)

คุณภาพบริการในการซื้อสินค้าออนไลน์ กล่าวไว้ว่า คุณภาพการบริการเป็นสิ่งที่ชี้วัดถึง ระดับของการบริการที่ส่งมอบโดยผู้ให้บริการต่อลูกค้าหรือผู้รับบริการว่า สอดคล้องกับความต้องการ ได้ดีเพียงใด การส่งมอบบริการที่มีคุณภาพ (Delivering Service Quality) เป็นการตอบสนองต่อ ผู้รับบริการบนพื้นฐานความคาดหวังของผู้รับบริการ นอกจากนี้ การที่

ลูกค้าได้รับการบริการจาก ร้านค้าออนไลน์อย่างมืออาชีพ โดยร้านค้าออนไลน์สามารถให้บริการคล้ายคลึงกับร้านค้าปลีกทั่วไป (ชัชวาล อรวงศ์ศุภทัต, 2554)

คุณลักษณะการขายสินค้าออนไลน์

การขายสินค้าโดยปกติต้องมีหน้าร้านหรือแผงสำหรับการขายสินค้าอาจต้องเช่าพื้นที่ในห้างสรรพสินค้าหรือต้องหาพื้นที่เช่าอื่น ๆ ในราคาไม่แพงนอกจากนั้นยังต้องซื้อสินค้ามาจัดวาง แต่การขายออนไลน์นั้นไม่ได้ยุ่งยากเพียงแค่ลงรายการสินค้าลงรูปรายละเอียดและราคาของสินค้าในเว็บไซต์ก็สามารถขายของได้แล้วในกรณีใช้บริการเปิดร้านค้าออนไลน์สามารถตั้งชื่อร้านตกแต่งป้ายร้านและหน้าตาของร้านได้ตามต้องการ ดังนั้นการขายออนไลน์มีลักษณะที่ต่างจากร้านค้าปกติดังนี้

1) ใช้ต้นทุนต่ำกว่าเปิดร้านจริง การขายออนไลน์นั้นมีต้นทุนต่ำกว่าเปิดร้านจริง ๆเ นื่องจากไม่ต้องเสียค่าเช่าร้านค่าน้ำค่าไฟค่าจ้างพนักงาน

2) กลุ่มลูกค้ามีจำนวนมากอัตราการใช้งานอินเทอร์เน็ตที่เพิ่มขึ้นทุกปีทำให้โอกาสในการขายของออนไลน์เพิ่มขึ้น

3) เปิดร้านค้าได้ทุกวัน การขายหรือเปิดร้านค้าออนไลน์แล้วสามารถเปิดได้ทุกวันไม่ จำกัด เวลาทำให้ลูกค้าสามารถเข้ามาชมสินค้าภายในร้านค้าหรือกระทู้ขายของได้ตลอดเวลา

4) เพิ่มช่องทางในการขายสินค้าสำหรับผู้ที่มีหน้าร้านค้าจริงอยู่แล้วสามารถเปิดร้านค้าออนไลน์ เพื่อเพิ่มช่องทางการขายสินค้าอีกทางหนึ่งเนื่องจากการเปิดร้านค้าออนไลน์ใช้ทุนไม่มากสามารถลงรูปพร้อมรายละเอียดของสินค้าโปรโมชั่นใหม่ ๆ ที่อยู่ของร้านนอกจากนี้ยังช่วยโฆษณาและสร้างความน่าเชื่อถือให้กับร้านได้

5) ใช้เวลาไม่มากทำเป็นอาชีพเสริมได้ถึงแม้ว่าจะมีงานประจำทำอยู่แล้วก็สามารถขายของหรือเปิดร้านค้าออนไลน์สามารถส่งสินค้าได้ทุกวัน (http://kwa2539.blogspot.com, 2564)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย

1) กำหนดปัญหาที่จะดำเนินการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการซื้อขายออนไลน์

2) ออกแบบการวิจัยเป็นเชิงปริมาณ โดยกำหนดกลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง และพัฒนาเครื่องมือ

3) การเก็บข้อมูล

4) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบเชิงพรรณนาและเชิงอ้างอิงพร้อมนำเสนอข้อมูล

5) สรุปผลการวิจัย

2. เครื่องมือการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถามแบบปลายปิด โดยพัฒนาเครื่องมือแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ผลการวิเคราะห์และพิจารณาของท่านผู้เชี่ยวชาญโดยคณะกรรมการทั้ง 3 ท่านนี้ได้พิจารณาข้อตามที่สอดคล้องกัน 51 ข้อ การทดสอบหาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามมีค่าความเชื่อมั่น 0.849

3. กลุ่มเป้าหมาย/ประชาการและกลุ่มตัวอย่าง

3.1 ประชากร คือ ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาในปีการศึกษา 1/2564 ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครจำนวน 7,744 คน (ข้อมูลจากสถิติ ช่วงเดือน มิ.ย. - ธ.ค. 2563)

3.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ทั้ง 6 คณะ จำนวน 399 คน โดยคำนวณจากสูตรยามาเน่เลือกตามจำนวณสัดส่วนของคณะ

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

4.1 สถิติพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับการพัฒนาเครื่องมือและวิเคราะห์ข้อมูลโดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (อุบลศิลป์ โพธิ์พรม, 2561) ดังนี้

4.50 – 5.00 พฤติกรรมการใช้โซเชียลมีเดีย ระดับมากที่สุด

3.50 – 4.49 พฤติกรรมการใช้โซเชียลมีเดีย ระดับมาก
2.50 – 3.49 พฤติกรรมการใช้โซเชียลมีเดีย ระดับปานกลาง
1.50 – 2.49 พฤติกรรมการใช้โซเชียลมีเดีย ระดับน้อย
1.00 – 1.49 พฤติกรรมการใช้โซเชียลมีเดีย ระดับน้อยที่สุด

4.2 สถิติอ้างอิง (Reference Statistics) ได้แก่ การทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างมากกว่า 2 กลุ่ม โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว F – TEST การทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเดียวหรือสองกลุ่ม (T-test) การแจกแจงไคสแควร์ (Chi – Square) การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

ผลการวิจัย

ผลการวิจัย วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการซื้อสินค้าผ่านแอปพลิเคชั่นของนักศึกษา

ตารางที่ 1 แสดงแอปพลิเคชั่นในการสั่งซื้อสินค้าออนไลน์

แอปพลิเคชั่น	จำนวน	ร้อยละ
Shopee	331	45.3
Lazada	219	30.0
Line Shop	55	7.5
Kaidee.com	14	1.9
Youpik	11	1.5
Alibaba	8	1.1
Tarad.com	12	1.6
Lnwshop	10	1.4
Weloveshopping	12	1.6
Shop Spot	15	2.1
Amazon	27	3.7
E-bay	16	2.2
รวม	730	100.0

จากตารางที่ 1 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามใช้งานแอปพลิเคชั่น Shopee จำนวน 331 คน

ตารางที่ 2 แสดงประเภทของสินค้าที่สั่งซื้อ

ประเภทของสินค้าที่สั่งซื้อ	จำนวน	ร้อยละ
อาหาร	63	6.0
หนังสือ	70	6.6
อัญมณี/เครื่องประดับ	52	4.9
เครื่องหนัง	29	2.8
อุปกรณ์กีฬา	51	4.8
ของชำร่วย	41	3.9
ของเล่น	46	4.4
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	90	8.5
เสื้อผ้า	209	19.8

เฟอร์นิเจอร์	50	4.7
ของขวัญ	41	3.9
เพลง/ภาพยนตร์	14	1.3
อาหารสัตว์	28	2.7
อะไหล่เครื่องจักรกล	26	2.5
รองเท้า	105	10.0
กระเป๋า	96	9.1
นาฬิกา	25	2.4
พันธุ์ไม้	2	0.2
ของใช้ภายในบ้าน	2	0.2
พระเครื่อง	2	0.2
สินค้านำเข้าจากต่างประเทศ	3	0.3
เครื่องสำอาง	8	0.8
รวม	1053	100.0

จากตารางที่ 2 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากเลือกซื้อ เสื้อผ้า จำนวน 209 คน ลำดับถัดมาเลือกซื้อรองเท้า จำนวน 105 คน ลำดับที่สามเลือกซื้อ กระเป๋า จำนวน 90 คน และลำดับสุดท้ายเลือกซื้อ พันธุ์ไม้ จำนวน 2 คน

ผลการวิจัย วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่แสดงถึงการเป็นผู้ขายสินค้าผ่านแอปพลิเคชั่นของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ตารางที่ 3 แสดงการเป็นผู้ขายสินค้า

สังกัดคณะ	**เป็นผู้ขายสินค้าผ่านแอปพลิเคชั่น**		**รวม**
	ไม่เป็น	**เป็น**	
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	46	9	55
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม	21	7	28
คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์	77	16	93
คณะวิทยาการจัดการ	83	14	97
คณะครุศาสตร์	81	20	101
คณะเทคโนโลยีการเกษตร	19	6	25
รวม	327	72	399

จากตารางที่ 3 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากเป็นผู้ขายสินค้าอยู่สังกัด คณะครุศาสตร์ จำนวน 20 คน และ

ตารางที่ 4 แสดงคุณลักษณะผู้ขายสินค้าออนไลน์กับอุปนิสัย

คุณลักษณะผู้ขายสินค้าออนไลน์	**จำนวน**	**ร้อยละ**
ใช้งานสื่อดิจิทัลอย่างคล่องแคล่ว	24	11.5
มีอุปกรณ์ในการขายสินค้า	35	16.7
มีความกระตือรือร้น	34	16.3
เข้าใจกระบวนการชำระเงิน	31	14.8

มีจิตใจบริการ	32	15.3
มีอุปนิสัยที่ดี	27	12.9
ใช้เทคโนโลยีได้อย่างคล่องแคล่ว	26	12.4
รวม	209	100.0

จากตารางที่ 4 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากมีอุปกรณ์ในการขายสินค้า จำนวน 35 คน คิดเป็นร้อยละ 16.7

ตารางที่ 5 แสดงแอปพลิเคชั่นที่ใช้ขายสินค้าออนไลน์

แอปพลิเคชั่นที่ใช้ขายสินค้าออนไลน์	**จำนวน**	**ร้อยละ**
Shopee	42	34.4
Lazada	34	27.9
Line Shop	10	8.2
Kaidee.com	3	2.5
Youpik	4	3.3
Alibaba	1	0.8
Tarad.com	1	0.8
Lnwshop	2	1.6
Weloveshopping	1	0.8
Shop Spot	2	1.6
E-bay	1	0.8
Facebook	18	14.8
Instargram	3	2.5
รวม	122	100.0

จากตารางที่ 5 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากใช้ Shopee จำนวน 42 คน คิดเป็นร้อยละ 34

สมมติฐานวิจัยที่ 1

สมมติฐานทางวิจัย คือ นักศึกษามหาวิทยาราชภัฏสกลนครมีคุณสมบัติเป็นผู้ขายสินค้าออนไลน์มีความเหมาะสมในระดับมาก

สมมติฐานทางสถิติ คือ

H_0 : $\mu \geq$ 3.50 นักศึกษามหาวิทยาราชภัฏสกลนครมีคุณสมบัติเป็นผู้ขายสินค้าออนไลน์มีความเหมาะสมในระดับมาก

H_1 : $\mu <$ 3.50 นักศึกษามหาวิทยาราชภัฏสกลนครมีคุณสมบัติเป็นผู้ขายสินค้าออนไลน์มีความเหมาะสมในระดับต่ำกว่าระดับมาก

ตารางที่ 6 แสดงคุณสมบัติการเป็นผู้ขายสินค้าออนไลน์

คุณลักษณะผู้ขายสินค้าออนไลน์ที่ควรมี	$\bar{x}$	**S.D.**	**t-test**	**P**	**ระดับความคิดเห็น**
มีความกระตือรือร้น	3.640	0.887	3.162	0.001	ระดับมาก
มีอุปนิสัยที่ดี	3.610	1.090	2.090	0.018	ระดับมาก

มีจิตใจบริการ	3.720	1.043	4.202	0.000	ระดับมาก
มีอุปกรณ์ในการขายสินค้า	3.640	1.053	2.733	0.003	ระดับมาก
สร้างสื่อใช้งานสื่อดิจิทัลอย่างคล่องแคล่ว	3.590	1.083	1.641	0.051	ระดับมาก
ใช้เทคโนโลยีได้อย่างคล่องแคล่ว	3.540	1.102	0.795	0.213	ระดับมาก
เข้าใจกระบวนการชำระเงิน	3.730	1.054	4.393	0.000	ระดับมาก
ภาพรวมทุกด้าน	3.640	0.886	3.161	0.001	ระดับมาก

จากสถานการณ์พบว่านักศึกษามหาวิทยาราชภัฏสกลนครมีคุณสมบัติเป็นผู้ขายสินค้าออนไลน์ในภาพรวมคือ ($\bar{x}$ = 3.640) จากตารางพบว่า P = 0.001 ดังนั้น จึงยอมรับสมติฐานที่ว่านักศึกษามหาวิทยาราชภัฏสกลนครมีคุณสมบัติเป็นผู้ขายสินค้าออนไลน์มีความเหมาะสมในระดับมาก

สมมติฐานวิจัยที่ 2

สมมติฐานทางวิจัย คือ นักศึกษามหาวิทยาราชภัฏสกลนครมีคุณลักษณะสามารถเป็นผู้ขายสินค้าออนไลน์ได้

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 : $\rho = 0$ นักศึกษามหาวิทยาราชภัฏสกลนครมีคุณลักษณะไม่สามารถเป็นผู้ขายสินค้าออนไลน์ได้

H_1 : $\rho \neq 0$ นักศึกษามหาวิทยาราชภัฏสกลนครมีคุณลักษณะสามารถเป็นผู้ขายสินค้าออนไลน์ได้

ตารางที่ 7 แสดงมีคุณลักษณะสามารถเป็นผู้ขายสินค้าออนไลน์ได้

คุณลักษณะผู้ขายสินค้าออนไลน์ที่ควรมี	**B**	**t**	**Sig.t**
มีความกระตือรือร้น	0.000	-3.077	0.002
มีจิตใจบริการ	0.000	-2.605	0.010
มีอุปกรณ์ในการขายสินค้า	0.000	1.324	0.186
ใช้งานสื่อดิจิทัลอย่างคล่องแคล่ว	0.000	2.501	0.013
ใช้เทคโนโลยีได้อย่างคล่องแคล่ว	0.000	2.812	0.005
เข้าใจกระบวนการชำระเงิน	0.000	-0.836	0.403
R Square 0.000	SEE = 0.00028	F = 5.346	Sig.of F = 0.000

จากตารางที่ 10 พบว่า นักศึกษามหาวิทยาราชภัฏสกลนครมีคอมพิวเตอร์พกพาเดือนจึงเป็นผู้ขายสินค้าออนไลน์ได้ จากการพิจาร Sig.of F = 0.000 ปรากฏว่า $\rho < \alpha$ จึงยอมรับสมติฐานการวิจัยที่ว่านักศึกษามหาวิทยาราชภัฏสกลนครมีคุณลักษณะสามารถเป็นผู้ขายสินค้าออนไลน์ได้

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมการซื้อสินค้าผ่านแอปพลิเคชันของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร พบว่านักศึกษาใช้แอปพลิเคชัน Shopee Lazada และ Line Shop สั่งซื้อสินค้าจำนวนมากที่สุดสามอันดับแรก โดยในแต่ละเดือนสั่งสินค้าไม่ต่ำกว่า 1 ครั้ง สินค้าที่สั่งจำนวนมากที่สุดคือ เสื้อผ้า รองเท้า กระเป๋า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เรียงตามลำดับ และ เพื่อศึกษาปัจจัยที่แสดงถึงการเป็นผู้ขายสินค้าผ่านแอปพลิเคชันของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครพบว่าจากผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดมีผู้ที่เป็นผู้ขายสินค้าผ่านแอปพลิเคชันจำนวน 72 คนคิดเป็นร้อยละ 28 มีประสบการณ์การขายไม่ถึง

หนึ่งปี โดยแอปพลิเคชันที่ผู้ขายสินค้าที่นิยมใช้งานคือ Shopee Lazada และ Facebook เรียงตามลำดับ ส่วนใหญ่จะขายสินค้าประเภท เสื้อผ้า รองเท้า อาหาร และเครื่องสำอางเป็นส่วนใหญ่ และยังพบว่าตัวแปรที่บ่งบอกว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครจะเป็นผู้ขายสินค้าออนไลน์ได้ต้องมีลักษณะดังนี้คือ มีความกระตือรือร้น มีอุปนิสัยดี มีจิตใจบริการ มีอุปกรณ์ในการขายสินค้าออนไลน์ สร้างสื่อดิจิตอลดได้อย่างคล่องแคล่ว ใช้เทคโนโลยีได้อย่างคล่องแคล่วและเข้าใจกระบวนการชำระเงิน

พฤติกรรมการซื้อสินค้าผ่านแอปพลิเคชั่นของนักศึกษาส่วนใหญ่นิยมซื้อสินค้าผ่านแอปพลิเคชัน และรายได้เฉลี่ยต่อเดือนมีผลต่อการซื้อสินค้าผ่านแอปพลิเคชั่น สอดคล้องกับจุฑารัตน์ เกียรติรัศมี (2558) การเป็นผู้เป็นขายสินค้าของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เป็นงานวิจัยนี้ค้นพบใหม่คือ มีนักศึกษาเป็นผู้ขายสินค้าผ่านแอปพลิเคชั่น 72 คน มีประสบการณ์การขายไม่ถึงหนึ่งปี ช่วงเวลาที่ขายสินค้าออนไลน์คือช่วงเวลา 12.00-18.00 น. โดยแอปพลิเคชันที่ผู้ขายสินค้าที่นิยมใช้งานคือ Shopee Lazada และ Facebook เรียงตามลำดับ ส่วนใหญ่จะขายสินค้าประเภท เสื้อผ้า รองเท้า อาหาร และเครื่องสำอางเป็นส่วนใหญ่

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาพฤติกรรมการซื้อสินค้าผ่านแอปพลิเคชั่น
2. ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาปัญหาจากการซื้อสินค้าผ่านแอปพลิเคชั่น ที่มีต่อนักศึกษา
3. ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาว่าใครเป็นผู้ขายสินค้า และขายสินค้าอะไรบ้าง

เอกสารอ้างอิง

จุฑารัตน์ เกียรติรัศมี. (2558). *ปัจจัยที่มีผลต่อการซื้อสินค้าผ่านทางแอพพลิเคชั่นออนไลน์ของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.* กรุงเทพมหานคร.

จิตติมา ปฏิมาประกร. (2559) *การพัฒนาและการจัดการคุณลักษณะ ทักษะการขายของนักขายที่ส่งผลต่อเป้าหมายของบริษัทในอุตสาหกรรมการพิมพ์*. กรุงเทพมหานคร.

ชัยวัฒน์ พิทักษ์รักธรรม. (2556) *ได้ทำงานศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าออนไลน์ของผู้บริโภค*

ชัชวาล อรวงศ์ศุภทัต. (2554). *คุณภาพบริการในการซื้อสินค้าออนไลน์ คุณภาพการบริการเป็นสิ่งที่ชี้วัดถึงระดับของการบริการ*. กรุงเทพมหานคร.

เดชา ล้วนโค. (2554). *ศึกษาทัศนคติของนักศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่มีต่อการซื้อสินค้าและบริการผ่านระบบอินเทอร์เน็ต.*
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. จังหวัดเชียงใหม่.

พิมพ์ชนก ลาดสุวรรณ. (2562). *ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้แอปพลิเคชั่นซื้อสินค้าออนไลน์ของคนในชุมชนเทศบาลอำเภอเมืองสกลนคร*. สกลนคร.

ยุพเรศ พิริยพลพงศ. (2558). *ปัจจัยและพฤติกรรมที่มีผลต่อการตัดสินใจใช้โมบายแอพพลิเคชั่น ซื้อสินค้าผ่านทางสมาร์ทโฟนและแท็ปเล็ตของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร*. กรุงเทพมหานคร.

วีราภรณ์ สิริพาณิชพงศ์. (2556). *ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของผู้ใช้อินเตอร์เน็ตในการซื้อสินค้าและบริการทางอินเตอร์เน็ต*. กรุงเทพมหานคร.

สุธาทิพย์ ทั่วจบ. (2562). *พฤติกรรมการซื้อสินค้าผ่านแอปพลิเคชันออนไลน์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม*. นครปฐม.

สุนัน ตระกูลสิทธิศรี. (2555). *ได้ศึกษาปัจจัยที่ผลต่อความตั้งใจในการซื้อสินค้าผ่านเฟซบุ๊คในประเทศไทย.*

อุบลศิลป์ โพธิ์พรม. (2561). *รูปแบบการพัฒนาระบบจองห้องออนไลน์ด้วยมาตรฐานการบริการด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ*.

การประชุมวิชาการ ACTIS&NCOBA -2018. ครั้งที่ 14 วันที่ 23 กรกฎาคม 2561. มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม. กรุงเทพมหานคร.

การศึกษาพฤติกรรมการติดเกมและเลิกเล่นเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

The study of game addiction and quit playing game of students at Sakon Nakhon Rajabhat University.

วราภรณ์ แข็งแรง[1*] อุบลศิลป์ โพธิ์พรม[2]

สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร[1 2]

Waraporn.kh61@snru.ac.th*, ubonsin@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1)เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเล่นเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร 2)เพื่อศึกษาพฤติกรรมการติดเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร และ3)เพื่อศึกษาปัจจัยที่ทำให้เลิกเล่นเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เป็นการวิจัยเชิงสำรวจจากกลุ่มประชากรคือ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามออนไลน์ จากกลุ่มประชากร 6 คณะจำนวน 395 คน เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา คือ แบบสอบถามแบบปลายปิด และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา สถิติอ้างอิง และการวิเคราะห์ปัจจัย

ผลการวิจัยพบว่า 1) นักศึกษามีพฤติกรรมการเล่นเกมคือ จำนวนการเล่นเกมสูงสุด 12 ชั่วโมง ผู้เล่นเล่นส่วนใหญ่นิยมเล่นเกมแบบไม่เสียค่าใช้จ่าย สถานที่นิยมเล่นเกมส่วนใหญ่อยู่ที่หอพัก ประเภทเกมที่นิยมเล่นคือ MOBA รายได้ของนักศึกษาไม่มีผลต่อการเล่นเกม จำนวนการเล่นเกมมีผลกระทบต่อนักศึกษา 2) นักศึกษามีพฤติกรรมการติดเกมแล้วมีความสุขที่ได้เล่นเกม อารมณ์หงุดหงิดง่าย และใช้เวลาหลายชั่วโมงในการเล่นเกมแต่ละครั้ง เรียงตามลำดับสามอันดับแรก และ 3) พบว่าปัจจัยที่ทำให้นักศึกษาติดเกมแล้วเลิกเล่นเกมคือ มีปัญหาความสัมพันธ์กับคนรอบตัว มีปัญหาด้านการเรียน เกิดปัญหาการติดการพนัน การควบคุมอารมณ์ตัวเองไม่ได้ ได้รับกำลังใจจากครอบครัวให้เลิกติดเกม ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมที่เกิดประโยชน์ต่อตัวเอง มีปัญหาต่อสุขภาพร่างกาย รู้จักหลีกเลี่ยงจากสิ่งจูงใจในการติดเกม และการเกิดโรคภัยต่อสุขภาพร่างกาย

คำสำคัญ: พฤติกรรมการเล่นเกม, พฤติกรรมการติดเกม, ปัจจัยที่ทำให้เลิกเล่นเกม, นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ABSTRACT

The objectives of this study were : 1) to study about playing game behavior of students at Sakon Nakhon Rajabhat University; 2) to study about game addiction behavior of students at Sakon Nakhon Rajabhat University.; and 3) to study the factors that caused students to quit playing game at Sakon Nakhon Rajabhat University. It was a survey study from a population of students at Sakon Nakhon Rajabhat University, academic year 1/2021. A sample was selected by the method of devided into 6 faculties with a total of 395 people. The closed-ended questionnaire was collected the data. It had a confidence value 0.916.

The results showed that ; 1) The student's gaming behavior lasted up to 12 hours. Most of the players prefer to play free games. The most popular places to play games are in dormitories. The most popular type of game to play is MOBA. Student income does not affect gaming. The number of games played has an impact on students; 2) It was found that the students were addicted to games and enjoyed playing games, easily irritable and spend hours playing each game, in order of the top three; 3) And found that the factors that cause students to become addicted to games and then stop playing games are

having problems with relationships with people around them, have learning problems, problems with gambling addiction, unable to control one's emotions, encouraged by the family to stop addicted to the game, change behaviors that benefit yourself, physical health problems, know how to stay away from incentives for game addiction, and the incidence of disease in the body.

Keywords : Gaming behavior, Game addiction behavior, Factors that make students quit paying game, students at Sakon Nakhon Rajabhat University.

บทนำ

ในสังคมปัจจุบัน เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามามีบทบาทในการสื่อสารข้อมูล รูปแบบของสื่อต่างๆ ได้รับ การพัฒนาให้สอดคล้องกับยุคสมัยมากขึ้น เกมออนไลน์ ก็เป็นหนึ่งในนวัตกรรมทางเทคโนโลยีสารสนเทศยุคใหม่ ในอดีต “เกม” อาจมีแต่เกมกด วิดีโอเกม แต่ในปัจจุบัน มีเกมที่เด็กสามารถเลือกเล่นได้มากมาย โดยเฉพาะ เกมออนไลน์ที่ได้รับความนิยมในกลุ่มเด็กและเยาวชน เพราะเกมออนไลน์มีรูปแบบใหม่ๆ ออกมาอยู่เสมอ ทั้งเกมแบบกีฬา เกมต่อสู้ เกมที่ใช้ความคิดในการวางแผน เกมแนวสงคราม ซึ่งในท้องตลาดส่วนใหญ่ จะเป็นแนวสู้รบ ฆ่ากัน แย่งชิงกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการเล่นของเด็ก ปลูกฝังความคิดให้เด็กเข้าใจผิดคิดว่าการต่อสู้เป็นสิ่งที่ดี นอกจากนั้นยังเป็นการบ่มเพาะนิสัยใช้ ความรุนแรงในการตัดสินปัญหาต่างๆ ในชีวิตประจำวัน (สถาบันสุขภาพจิตเด็กและวัยรุ่นราชนครินทร์, 2550)

การติดเกมของเด็กเกิดจากเกมมีภาพสี เสียงที่ น่าสนใจ เนื้อเรื่องการเล่นมีการพัฒนาให้มีรูปแบบ ใหม่ๆ อยู่ตลอดเวลา สามารถดึงดูดความสนใจจากผู้เล่น ให้อยากติดตาม อยากเล่น อยากลอง จนเกิดความสนุกทำให้เด็กติดเกมโดยไม่รู้ตัวทำให้ไม่สามารถเลิกเล่นได้ เด็กและเยาวชนไทยจำนวนมาก ใช้เวลาว่างอยู่หน้าจอ คอมพิวเตอร์ เล่นอินเทอร์เน็ตหรือเกมออนไลน์วันละหลายชั่วโมง โดยไม่ยอมทำกิจกรรมอื่น ๆ (สถาบันสุขภาพจิตและวัยรุ่นราชนครินทร์, 2550) นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เป็นอีกกลุ่มบุคคลหนึ่งที่นิยมเล่นเกมเป็นจำนวนมากทั้งเกมออนไลน์และเกมออฟไลน์ (กฤษดา แสนราษฎร์, 2562) รวมทั้งที่ผ่านมาทราบว่าการเล่นเกมได้ส่งผลกระทบทั้งเชิงบวกและเชิงลบในการเรียนด้วย (ปิยนุช ตาลโยธา, 2561, ศศิธร เหง้าโอสา, 2561, ภัทย์ติยะ คนคง, 2563) และช่วงการแพร่ระบาดของโควิด-19 รอบใหม่ตั้งแต่ช่วงเดือนเมษายน 2564 ที่ผ่านมาส่งผลให้มีการปรับเปลี่ยนการดำเนินชีวิตของนักศึกษาจำนวนมาก โดยเฉพราะการปรับเปลี่ยนการเรียนการสอนก็ปรับเป็นการเรียนผ่านระบบออนไลน์

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงต้องการที่จะทราบว่าในช่วงการแพร่ระบาดโควิด-19 นี้ยังมีนักศึกษาที่มีพฤติกรรมการติดเกมอีกหรือไม่และมีผู้ที่เลิกเกมแล้วหรือไม่อย่างไร และพวกเขาเหล่านั้นสามารถเลิกเล่นเกมได้อย่างไร

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเล่นเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการติดเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
3. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ทำให้เลิกเล่นเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความหมายของเกม

ทวีศิลป์ วิษณุโยธิน (2553) ได้ให้ความหมายของเกมคอมพิวเตอร์ว่า เป็นผลผลิต หนึ่ง จากความก้าวหน้าของการผสมผสานเทคโนโลยี (Technology Convergent) ซึ่งมีจุดมุ่งหมาย แรกเริ่มเพื่อตอบสนองความต้องการด้านความบันเทิงแก่

ผู้เล่น วรเศรษฐ์ อาเขต (2552) ได้อธิบาย ว่าเกมคอมพิวเตอร์หมายถึง เป็นโปรแกรม สำเร็จรูปประเภทเกมที่เล่นด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้ เมาส์ แป้นพิมพ์ จอภาพ หรืออุปกรณ์ ประกอบอื่นๆ และสามารถทำให้ผู้เล่นรู้สึกตื่นเต้นเร้าใจ

ศรัญญา ผาเบ้า (2551) ได้ให้ความหมายของเกมคอมพิวเตอร์ไว้ว่าเป็นการนำเสนอเนื้อหาและกิจกรรมในรูปแบบของเกม โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีการประสมประสานอักขระ เสียง ภาพนิ่งภาพเคลื่อนไหวผ่านคอมพิวเตอร์ไปยังผู้เล่น ผู้เล่นมีปฏิสัมพันธ์กับ เกมคอมพิวเตอร์โดย มีเป้าหมาย กฎกติกาการแข่งขัน ความท้าทายความตื่นตาตื่นใจผู้เล่นทราบผลการเล่นเกมทันที

ประเภทเกมออนไลน์และเกมออฟไลน์

กฤษดา แสนราษฎร์ (2562) ประเภทของเกมออฟไลน์และออนไลน์ คือ การจำแนกประเภทของเกมที่ใช้อินเทอร์เน็ต และไม่ใช้อินเทอร์เน็ตที่ออกแบบมาสำหรับ สมาร์ทโฟน หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งในแต่ละ ระบบปฏิบัติการจะมีผู้พัฒนาตัวเกมทั้งสองประเภทขึ้นมา เพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งจะมีให้ดาวน์โหลดทั้งฟรีและจ่ายเงิน ทั้งในด้านการศึกษา ด้านการสื่อสารหรือแม้แต่ด้านความบันเทิงต่าง ๆ ผู้วิจัยได้ศึกษาประเภทเกม Moba และเกม battle-Royale โดยสนับสนุนการทำงานทั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ระบบปฏิบัติการไอโอเอส (IOS) และระบบปฏิบัติการอื่นๆ ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) มีการให้บริการเกมออนไลน์และออฟไลน์ในแอปสโตร์ (App Store) และเพลย์สโตร์ (Play Store)

พฤติกรรมการเล่นเกม

กฤษดา แสนราษฎร์ (2562) นักเรียนที่มีพฤติกรรมการเล่นเกมออนไลน์ประเภท MMORPG มีความถี่ในการเล่นเกมทุกวันๆ ละ 2-3 ชั่วโมงต่อวันในช่วง 20.00-24.00 น. และจากผล การศึกษาของ พบว่าในช่วงเวลาดังกล่าวก็เป็นช่วงที่มีการใช้งาน กูเกิ้ล เพลย์ (Google Play) มากที่สุด ปัจจุบันสื่อสังคมออนไลน์ที่มีการเข้าใช้งานอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดคือ กูเกิ้ลเพลย์ ผู้เล่นเกมส่วนใหญ่ก็เช่นกันได้มีการเปิดรับสื่อออนไลน์ผ่านช่องทาง กูเกิ้ลเพลย์มากที่สุด

พฤติกรรมการติดเล่นเกม

ชไมพร กาญจนกิจสกุล (2561) ได้นิยามการติดเกมคอมพิวเตอร์ออนไลน์ (Online Computer Game Addiction) เป็นการกระหายอย่างหนักในการเล่นเกมคอมพิวเตอร์ออนไลน์ ซึ่งเป็นความปรารถนาใน เชิงจิตวิทยาที่ดำเนินต่อไปอย่างไม่ลดละ ผู้ที่มีอาการติดเกม คอมพิวเตอร์ออนไลน์มักมีความสุขเมื่อได้เล่นและหงุดหงิดโมโหจนถึงขั้นแสดงออก ในทางก้าวร้าว เมื่อไม่ได้เล่นหรือถูกขัดคอในขณะเล่น นั่นคือ จะมีอาการคล้ายคลึงกับ ผู้ติดสารเสพติดนั่นเอง โดยจากรายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้องล้วนชี้ให้เห็นว่า ผู้ที่ติดเกมคอมพิวเตอร์ออนไลน์มักให้ความสนใจในปฏิสัมพันธ์ในเกมมากกว่าปฏิสัมพันธ์ในชีวิตจริง และใช้เวลาหลายชั่วโมงต่อวันในการเล่นเกมโดยไม่สนใจกับสิ่งที่อยู่รอบๆ ตัว

พฤติกรรมการเลิกเล่นเกม

ชไมพร กาญจนกิจสกุล (2561) ได้นิยามการเลิกติดเกมคอมพิวเตอร์ออนไลน์ได้สำเร็จ หมายถึง การที่บุคคล เคยติดเกมคอมพิวเตอร์ออนไลน์มาก่อน หากแต่ปัจจุบันไม่ข้องเกี่ยวกับการเล่นเกม คอมพิวเตอร์ออนไลน์แล้ว หรือหากบุคคลยังคงเล่นเกมคอมพิวเตอร์ออนไลน์อยู่ก็จะต้อง ไม่ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมต่างๆ ในการดำเนินชีวิตประจำวันและการทำหน้าที่ต่างๆ ที่บุคคลพึงกระทำ ซึ่งมีระยะเวลาเกินกว่า 6 เดือน

กระบวนการเลิกติดเกมคอมพิวเตอร์ออนไลน์ได้สำเร็จ หมายถึง ขั้นตอน การเปลี่ยนแปลงในการปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตหรือการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการติดเกม คอมพิวเตอร์ออนไลน์จนกระทั่งไม่มีผลกระทบต่อกิจกรรมต่างๆ ในการดำเนินชีวิตประจำ วันและการทำหน้าที่ต่าง ๆ ที่บุคคลพึงกระทำ เป็นระยะเวลาเกินกว่า 6 เดือน โดยพิจารณาครอบคลุมประเด็นสาเหตุของความต้องการเลิกติดเกมคอมพิวเตอร์ ออนไลน์ได้สำเร็จ ปัจจัยที่เป็นอุปสรรคต่อการเลิกติดเกมคอมพิวเตอร์ออนไลน์ได้สำเร็จ วิธีการที่ใช้ในการเลิกติดเกมคอมพิวเตอร์ออนไลน์ได้สำเร็จ และปัจจัยที่เอื้อต่อการเลิก ติดเกมคอมพิวเตอร์ออนไลน์ได้สำเร็จ (ชไมพร กาญจนกิจสกุล, 2561)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย

1.1 อ่านเอกสารตำราบทความงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ด้านเกมต่าง ๆ

1.2 กำหนดปัญหาที่จะดำเนินการวิจัย

1.3 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับพฤติกรรมการเล่นเกมและการเลิกเล่นเกม

1.4 ศึกษาการเล่นเกมและการเลิกเล่นเกม ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการสำรวจ

1.5 ออกแบบการวิจัย

1.6 พัฒนาเครื่องมือ

1.7 เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

1.8 นำเสนอผล

1.9 สรุปผลการวิจัย

2. เครื่องมือการวิจัย ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบสอบถามปลายปิด 2 ขั้นตอนดังนี้

2.1 การพัฒนาความถูกต้องด้วยเทคนิคIOC ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านได้ พิจารณาข้อคำถามทั้งหมด 69 ข้อ

2.2 ขั้นตอนหาค่าความเชื่อมั่น แบบสอบถามจำนวน 30 ชุด ค่าความเชื่อมั่น 0.895

3. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1 ประชากรคือ นักศึกษาในปี พ.ศ. 2564 ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครจำนวน 7,744 คน (ข้อมูลจากสถิติ ช่วงเดือน มิ.ย. - ธ.ค. 2563)

3.2 กลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ทั้ง 6 คณะ จำนวน 381 คน คัดเลือกเป็นกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรยามาเน่ และเลือกตัวแทนจากคณะตามสัดส่วนของกลุ่มประชากร

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เชิงพรรณนา สถิติอ้างอิง

4.1 เชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าสถิติร้อยละ หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 สถิติอ้าง F – TEST T-test การแจกแจงไคสแควร์ (Chi – Square) การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis)

ผลการวิจัย

1 ผลการศึกษาพฤติกรรมการเล่นเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายในการเล่นเกม

ค่าใช้จ่ายในการเล่นเกม	จำนวน	ร้อยละ
ไม่เสียค่าใช้จ่าย	277	70.1
10 – 100 บาท	49	12.4
101 – 200 บาท	18	4.6
201 – 300 บาท	13	3.3
301 – 400 บาท	11	2.8
401 – 500 บาท	5	1.3
500 บาทขึ้นไป	22	5.6
รวม	395	100.0

จากตารางที่ 1 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 395 คน เล่นเกมแบบไม่มีค่าใช้จ่ายมากที่สุด 277 คน พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากมีระยะเวลาในการเล่นเกมมากที่สุด จำนวน 12 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 1.0 รองลงมา จำนวน 10 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 1.5 ลำดับที่สาม 9 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 0.3

ตารางที่ 2 สถานที่ในการเล่นเกม

สถานที่ในการเล่นเกม	จำนวน	ร้อยละ
บ้าน	147	37.2
หอพัก	211	53.4
ห้องสมุด	1	0.3
ร้านอินเทอร์เน็ต	1	0.3
โรงอาหาร	3	0.8
ฟิตเนส	5	1.3
ร้านกาแฟ	9	2.3
ห้องเรียน	3	0.8
ทุกสถานที่	15	3.8
รวม	395	100.0

จากตารางที่ 2 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากใช้สถานที่ในการเล่นเกม มากที่สุดจำนวน 211 คน คือหอพัก คิดเป็นร้อยละ 53.4 รองลงมา จำนวน 147 คน คือบ้าน คิดเป็นร้อยละ 37.2

ตารางที่ 3 ประเภทที่นักศึกษานิยมเล่น

ประเภทที่นักศึกษานิยมเล่น	จำนวน	ร้อยละ
MOBA	221	55.9
Battle Royale	167	42.3
RPG	7	1.8
รวม	395	100.0

จากตารางที่ 3 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากนิยมเล่นเกมประเภท MOBA มากที่สุด จำนวน 221 คน คิดเป็นร้อยละ 55.9 รองลงมาคือ Battle Royale จำนวน 167 คน คิดเป็นร้อยละ 42.3

สมมติฐาน รายได้ของนักศึกษามีผลต่อการตัดสินใจเลือกประเภทของเกม

สมมติฐานการวิจัย คือ รายได้ของนักศึกษามีผลต่อการตัดสินใจเลือกประเภทของเกม

สมมติฐานทางสถิติ คือ

H_0 : ρ = 0 รายได้ของนักศึกษาไม่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกประเภทของเกม

H_1 : $\rho \neq 0$ รายได้ของนักศึกษามีผลต่อการตัดสินใจเลือกประเภทของเกม

ตารางที่ 4 แสดงรายได้ของนักศึกษามีผลต่อการตัดสินใจเลือกประเภทของเกม

รายได้	ประเภทของเกม			รวม	
	MOBA	Battle Royale	RPG		P = 0.438

ไม่เกิน 5,000 บาท	134	90	4	228
5,000 – 5,500 บาท	31	26	0	57
5,501 – 6,000 บาท	18	9	1	28
6,001 – 6,500 บาท	7	6	0	13
6,501 – 7,000 บาท	9	10	1	20
7,001 – 7,500 บาท	5	10	0	15
7,501 – 8,000 บาท	7	5	0	12
8,001 – 8,500 บาท	2	2	1	5
8,501 – 9,000 บาท	1	1	0	2
9,501 – 10,000 บาท	3	4	0	7
มากกว่า 10,000 บาทขึ้นไป	4	4	0	8
รวม	221	167	7	395

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ พบว่า $P > 0.05$ ($P = 0.438$) เป็นการยอมรับสมมติฐาน H_0 รายได้ของนักศึกษาไม่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกประเภทของเกม เป็นการปฏิเสธสมมติฐานการวิจัย

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยผลกระทบเชิงลบในภาพรวม

ผลกระทบเชิงลบ	$\bar{x}$	S.D	ระดับผลกระทบ
ภาพรวมด้านสุขภาพร่างกาย	3.122	1.005	ระดับปานกลาง
ภาพรวมด้านสังคม	2.109	1.150	ระดับปานกลาง
ภาพรวมด้านการเรียน	2.270	1.150	ระดับปานกลาง
ภาพรวมด้านสภาพจิตใจ	2.239	1.145	ระดับปานกลาง
ภาพรวมด้านความสัมพันธ์ครอบครัวและกลุ่มเพื่อน	2.105	1.102	ระดับปานกลาง
ภาพรวมด้านอารมณ์	2.476	1.239	ระดับปานกลาง
ภาพรวมด้านการพนัน	2.031	1.156	ระดับปานกลาง
ภาพรวม	2.336	0.976	ระดับปานกลาง

จากตารางที่ 5 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถาม 395 คน ในภาพรวมผลกระทบเชิงลบในระดับมากที่สุดคือ ภาพรวมด้านสุขภาพร่างกาย ($\bar{x}$ = 3.122) ลำดับถัดมาคือ ภาพรวมด้านอารมณ์ ($\bar{x}$ = 2.476)

2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการติดเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ตารางที่ 6 แสดงพฤติกรรมการติดเกมของนักศึกษา

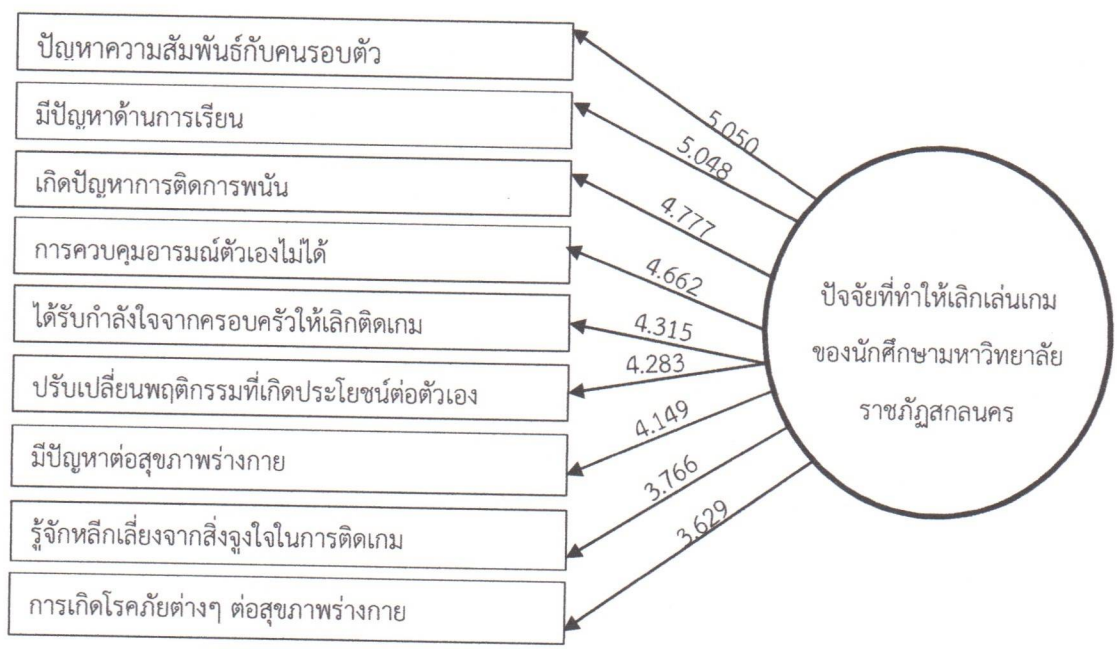
พฤติกรรมการติดเกม	จำนวน	ร้อยละ
มีความสุขที่ได้เล่นเกม	295	34.8
หงุดหงิดง่าย	118	13.9
สนใจในปฏิสัมพันธ์ในเกมมากกว่าปฏิสัมพันธ์ในชีวิตจริง	83	9.8
ไม่ให้ความสำคัญของคนรอบตัว	63	7.4

ใช้เวลาหลายชั่วโมงในการเล่นเกม	98	11.6
ไม่สนใจในการเรียน	48	5.7
ไม่สนใจในการทำงาน	36	4.2
ไม่สนใจในกิจกรรมอื่น	52	6.1
ขาดการสังสรรค์กับครอบครัวและบุคคลอื่น	55	6.5
รวม	848	100.0

จากตารางที่ 6 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากมีพฤติกรรมการติดเกม มากที่สุดคือ มีความสุขที่ได้เล่นเกม จำนวน 295 คน คิดเป็นร้อยละ 34.8 ลำดับถัดมาคือ หงุดหงิดง่าย จำนวน 118 คน คิดเป็นร้อยละ 13.9

3 ผลการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เลิกเล่นเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

การนำเสนอข้อมูลเพื่อศึกษาปัจจัยที่ทำให้เลิกเล่นเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร



ภาพที่ 1 ปัจจัยที่ทำให้เลิกเล่นเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

จากภาพที่ 1 วิธีวิเคราะห์แบบ EFA ทำการทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรกับปัจจัยแฝง เพื่อหาว่าตัวแปรใดที่จะรวมกลุ่มเป็นปัจจัยแฝงเดียวกันได้อย่างเหมาะสม โดยงานวิจัยครั้งนี้ได้นำตัวแปรทั้งหมด 9 ตัวแปร เพื่อมาวิเคราะห์ (Exploratory Factor Analysis : EFA) เป็นการทดสอบตัวแปรในโมเดลว่า จะสามารถเป็นตัวแปรในปัจจัยแฝงใดได้หรือไม่

อภิปรายผลการวิจัย

1.พฤติกรรมการเล่นเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร พบว่า จำนวนการเล่นเกมสูงสุด 5 ชั่วโมง ผู้เล่นเล่นส่วนใหญ่นิยมเล่นเกมแบบไม่เสียค่าใช้จ่าย สถานที่นิยมเล่นเกมส่วนใหญ่อยู่ที่หอพัก ประเภทเกมที่นิยมเล่นคือ MOBA รายได้ของนักศึกษาไม่มีผลต่อการเล่นเกม จำนวนการเล่นเกมมีผลกระทบต่อนักศึกษา ไม่สอดคล้องกับ กฤษดา แสนราษฎร์ (2562) งานวิจัยนี้ค้นพบใหม่คือ จำนวนการเล่นเกมสูงสุด 12 ชั่วโมง เพราะนักศึกษามีเวลาว่างในช่วง โควิด-19 ประเภทเกมที่นิยมเล่นคือ MOBA

2.พฤติกรรมการติดเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร พบว่า มีความสุขที่ได้เล่นเกม อารมณ์หงุดหงิดง่าย อารมณ์หงุดหงิดง่ายเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการเล่นเกมสเปคต่ำ และเจอพบผู้เล่นในเกมที่มีกริยาที่ไม่สุภาพ ใช้เวลาหลายชั่วโมงในการเล่นเกมแต่ละครั้ง สอดคล้องกับ ชไมพร กาญจนกิจสกุล (2561) งานวิจัยนี้ค้นพบใหม่คือ มีความสุขที่ได้เล่นเกม อารมณ์หงุดหงิดง่าย

3.ปัจจัยที่ทำให้เลิกเล่นเกมของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ด้านสุขภาพร่างกาย ด้านสังคม ด้านการเรียน ด้านสภาพจิตใจ ด้านความสัมพันธ์ครอบครัวและกลุ่มเพื่อน ด้านอารมณ์ ด้านการพนัน สอดคล้องกับงาน กฤษดา แสนราษฎร์ (2562) งานวิจัยนี้ค้นพบใหม่คือ มีปัญหาความสัมพันธ์กับคนรอบตัว มีปัญหาด้านการเรียน เกิดปัญหาการติดการพนัน การควบคุมอารมณ์ตัวเองไม่ได้ ได้รับกำลังใจจากครอบครัวให้เลิกติดเกม ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมที่เกิดประโยชน์ต่อตัวเอง มีปัญหาต่อสุขภาพร่างกาย รู้จักหลีกเลี่ยงจากสิ่งจูงใจในการติดเกม และการเกิดโรคภัยต่อสุขภาพร่างกาย

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาพฤติกรรมการเล่นเกม สำหรับคนที่เล่นเกมโดยเฉพาะ
2. ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาแอพพลิเคชั่นเกม ที่มีความรุ่นแรงต่อนักศึกษา
3. ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาความคิดเห็นผู้ปกครองที่มีต่อการเล่นเกม

เอกสารอ้างอิง

กฤษดา แสนราษฎร์. (2562). *พฤติกรรมการเล่นเกมบนสมาร์ทโฟนที่ส่งผลกระทบต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร*. โครงงานคอมพิวเตอร์. สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

ชไมพร กาญจนกิจสกุล. (2561). *กระบวนการเลิกติดเกมคอมพิวเตอร์ออนไลน์ได้สำเร็จของเยาวชนไทย*. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร. ภาควิชาสังคมวิทยาและมานุษยวิทยา คณะสังคมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ดาริกา ไตรวัฒนวงษ์. (2555). *การศึกษาผลกระทบของพฤติกรรมการเล่นเกมออนไลน์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรีในกรุงเทพมหานคร*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนพัทธ์ เอมะบุตร. (2558). *ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกเล่นเกมออนไลน์ของประชาชนในกรุงเทพมหานคร (ออนไลน์)*. สืบค้นจาก https://dspace.bu.ac.th

ปิยนุช ตาลโยธา. (2561). *การศึกษาปัจจัยการใช้สมาร์ทโฟนของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ประจำปีการศึกษา 2561*. โครงงานคอมพิวเตอร์. สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

เพลย์สโตร์และแอพสโตร์. (2564). *ประเภทเกม MOBA (ออนไลน์)*. สืบค้นจาก https://my-best.in.th.

เพลย์สโตร์และแอพสโตร์. (2564). *ประเภทเกม Battle Royale (ออนไลน์)*. สืบค้นจาก https://sortgaming.com/5-of-the-most-popular-battle-royale-games-on-android-and-ios.

ภัทิย์ติยะ คนคง. (2563). *การศึกษาพฤติกรรมและผลกระทบจากการเล่นอีสปอร์ตของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร*. โครงงานคอมพิวเตอร์. สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาตรเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

ศศิธร เหง้าโอสา. (2561). *การศึกษาการใช้โซเชียลมีเดียของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ประจำปีการศึกษา 2561*. โครงงานคอมพิวเตอร์. สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

สถาบันสุขภาพจิตเด็กและวัยรุ่นราชนครินทร์. (2550). *เกมออนไลน์. สถาบันสุขภาพจิตเด็กและวัยรุ่นราชนครินทร์*. สืบค้นจาก https://new.camri.go.th.

สุภาวดี เจริญวานิช. (2557). *พฤติกรรมการติดเกม : ผลกระทบและการป้องกัน*. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

คณะพยาบาลศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. จังหวัดปทุมธานี.

การวิเคราะห์รูปแบบการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

Forecasting pattern analysis of Thailand industrial sector electricity consumption by multiple linear regression

เกวลี ผาใต้[1*] ธิดารัตน์ เหลืองรุ่งเรือง[2]
สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร[1,2]
gawalee@snru.ac.th[1*], tidarat@snru.ac.th[2]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลรายปีตั้งแต่ พ.ศ. 2523 – 2562 จำนวน 40 ปี โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลฝึกสอนและทดสอบ ซึ่งปัจจัยได้แก่ รายได้มวลรวมประชาชาติ สินค้าเข้า สินค้าออก และปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ และมีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อทดสอบความเหมาะสมของปัจจัย ผลการศึกษาพบกว่า การวิเคราะห์รูปแบบการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยโดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ในข้อมูลฝึกสอนมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณที่มีการปรับแก้ให้เหมาะสม ร้อยละ 93.95 และข้อมูลฝึกสอนมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณที่มีการปรับแก้ให้เหมาะสม ร้อยละ 87.13

คำสำคัญ : การใช้ไฟฟ้า, รูปแบบการคาดการณ์, ภาคอุตสาหกรรม, การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

ABSTRACT

The purposes of the research were to study and analyze the forecast pattern of electricity consumption of industrial sector in Thailand. The dataset was obtained from electricity consumption of industrial sector in Thailand annual data between 1980-2019. Dataset was divided into 2 sets for training and testing. Factors used in this study include Gross National Income (US Dollars), imports (Billion US Dollars), exports (Billion US Dollars), and the electricity consumption of the industrial sector in Thailand (terawatt-hour). Multiple linear regression analysis method and correlation coefficient were used to test the suitability of the factors

The results showed that the equation for forecasting the patterns of industrial sector's electricity consumption in Thailand can be represented by using multiple linear regression analysis methods. According to the result, the adjusted R-squared of training and testing are 93.95% and 87.13%, respectively.

Keyword : Electricity consumption, forecasting pattern, industrial sector, multiple linear regression

บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นแรงผลักดันสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ การเติบโตในภาคอุตสาหกรรมเชื่อมโยงกับการเติบโตทางเศรษฐกิจ เนื่องจากไฟฟ้ามีความสะดวกในการพร้อมใช้งานทำให้มีอัตราการใช้งานพลังงานไฟฟ้าสูง ปัจจัยที่ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศเพิ่มขึ้นจะมาจากการเติบโตทางเศรษฐกิจ การพัฒนาสาธารณูปโภคพื้นฐาน และการพัฒนาด้านคุณภาพชีวิตของสังคมโดยรวม ความแม่นยำในการวิเคราะห์การใช้งานไฟฟ้าจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่นำไปสู่ความสำเร็จของการวางแผนอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ที่ใช้ในการคาดการณ์ข้อมูลเลือกใช้วิธีคาดการณ์แบบอนุกรมเวลา แต่มีข้อสังเกตว่าผลการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาอาจไม่ถูกต้องและไม่น่าเชื่อถือ หลายปัจจัยที่อาจส่งผลต่อข้อมูลอนุกรมเวลาไม่ได้ถูกนำเข้าสู่สมการวิเคราะห์ ปัจจัยอื่นที่เคยส่งผลต่อข้อมูลอาจมีอิทธิพลที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาเปลี่ยนไป รวมถึงแนวโน้มของข้อมูลที่เพิ่มขึ้นอาจมาจากจำนวนประชากรหรือปัจจัยอื่นทำให้ระบุทิศทางการคาดการณ์ยาก ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้นำแนวทางในการเลือกวิธีการทำนายที่เหมาะสมเพื่อให้คาดการณ์แนวโน้มการใช้ไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรมของไทยโดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยใช้กรอบแนวคิดเกี่ยวกับความต้องการใช้ไฟฟ้าและนโยบายด้านพลังงานเป็นปัญหาสำคัญ เพื่อเป็นประโยชน์หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อการวางนโยบายรวมถึงนักวิจัย จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์รูปแบบคาดการณ์ความต้องการไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมที่เหมาะสมและแม่นยำ เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการคาดการณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการคาดการณ์ระยะยาว

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยโดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนินันท์ พฤกษ์ประมูล และคณะ (2563) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน สเปียร์แมน และเคนดอลล์ เมื่อข้อมูลแจกแจงแบบไม่ปกติ ได้กล่าวถึงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน เป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear relationship) ระหว่างตัวแปร 2 ตัวหรือข้อมูล 2 ชุด โดยมีข้อตกลงเบื้องต้น คือ ตัวแปรทั้งสองต้องเป็นตัวแปรต่อเนื่องอยู่ในมาตราอันตรภาคชั้น (interval scale) ขึ้นไป และมีการแจกแจงปกติสองตัวแปร (bivariate normal distribution) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง + 1 ถ้า เข้าใกล้ ± 1 หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับมาก ถ้าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยหรือไม่สัมพันธ์กันเลย เครื่องหมายบวกลบ (±) จะแสดงทิศทางของความสัมพันธ์ว่ามีทิศทางเป็นแบบใด โดยถ้าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีเครื่องหมายบวก (+) หมายความว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ไปทิศทางเดียวกัน หากมีเครื่องหมายลบ (–) หมายความว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ไม่ไปทิศทางเดียวกันหรือตรงกันข้าม

เฉลิมชาติ ธีระวิริยะ (2560) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์สำหรับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในจังหวัดนครพนม พบว่าการเปรียบเทียบและคัดเลือกวิธีการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในจังหวัดนครพนม โดยใช้เกณฑ์พิจารณาค่า MAD และ MAPE สำหรับการพยากรณ์เปรียบเทียบกับข้อมูลจริงเพื่อหาช่วงเวลาการพยากรณ์ล่วงหน้าที่เหมาะสมที่สุด 3 เดือน 6 เดือนและ 9 เดือน โดยใช้เกณฑ์พิจารณาค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบเหมาะสมในการนำมาใช้พยากรณ์มากที่สุด เนื่องจากให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ MAPE = 3 และ MAD = 821 และพบว่ามีความเหมาะสมกับการพยากรณ์ล่วงหน้า 9 เดือน

รัชฎา แต่งภูเขียว และณัฐนันท์ อิสสระพงศ์ (2562) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์สำหรับการวางแผนการผลิต กรณีศึกษา บริษัทผลิตเนื้อโคขุน จังหวัดนครพนม พบว่าการเปรียบเทียบและเลือกวิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่ดีที่สุดในการพยากรณ์สำหรับการวางแผนการผลิตของบริษัทผลิตเนื้อโคขุนในจังหวัดนครพนม โดยทำการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ จำนวน 5 วิธีคือ วิธีเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์ วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบวินเทอร์รูปแบบการคูณ และวิธีการแนวโน้มเชิงเส้น พิจารณาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมจากค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Square Error: MSE) และค่าเฉลี่ยร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ที่ต่ำที่สุด ผลการวิจัยพบว่าวิธีการแนวโน้มเชิงเส้น

เหมาะสำหรับการพยากรณ์สำหรับวางแผนการผลิตโคขุน จ.นครพนม ซึ่งให้ค่า MSD เท่ากับ 166.849 MAD เท่ากับ 10.773 และ MAPE เท่ากับ 6.76 ซึ่งมีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับวิธีการพยากรณ์อื่น ๆ

พิณสุดา สิงไชย และ พงษ์ศักดิ์ กีรติวินทกร (2557) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสำหรับศูนย์จัดการความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย พบว่าผลการวิจัยของการพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้ารายา 1 นาที ด้วยข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์ (kW) ราย 1 นาที จำนวน 1 สัปดาห์ของกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม กลุ่มอาคารพาณิชย์ และกลุ่มบ้านพักอาศัยด้วยเทคนิค SVM-R พบว่าการพยากรณ์ของกลุ่มอาคารพาณิชย์จะมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงมากที่สุด เมื่อเทียบค่าของ R^2 ของกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมและกลุ่มบ้านพักอาศัย

ศศิธร คงอุดมทรัพย์ และ พงศิษฎ์ ทวิชพงศ์ธร (2564) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับความแม่นยำของการใช้แบบจำลองการถดถอยพหุคูณในการวิเคราะห์ฐานข้อมูลที่ได้จากการสุ่มแบบมีเงื่อนไขเพื่อการคาดการณ์ผลการเรียนของนักเรียนนายเรือ พบว่าข้อมูลจากฐานข้อมูลสุ่มนี้จะบรรจุข้อมูล ตัวแปรต้นคือ ปัจจัยที่มีผลต่อผลการเรียนรายวิชาประกอบด้วย ปัจจัยตัวบุคคลและปัจจัยการเรียนการสอน และตัวแปรตามคือ ผลการเรียนรายวิชา (เกรด) เขียนโปรแกรมสร้างฐานข้อมูลสุ่มย้อนหลังจำนวน 30 ปี แล้วทำการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

S.Saravanan, K.Mahesh และ K.Karunanithi (2560) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมในอินเดียโดยใช้ชุดของเทคนิคการคำนวณที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ เทคนิคที่นำมาใช้คือ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ปัจจัยที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ รายได้มวลรวมประชาชาติ สินค้าเข้า สินค้าออก และปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมในอินเดีย แบ่งเป็นข้อมูลชุดฝึกสอน 34 ปี และข้อมูลชุดทดสอบ 8 ปี พบว่าวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง สามารถพยากรณ์ได้ค่า MAPE เท่ากับ 2.1015 ซึ่งดีกว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่ได้ค่า MAPE เท่ากับ 2.3065

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 ศึกษาความเป็นไปได้ แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวกับรูปแบบการคาดการณ์โดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

1.2 ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในขั้นที่ 1 โดยวิเคราะห์ปัจจัยที่จะนำเข้าใช้กับรูปแบบการคาดการณ์โดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

1.3 ออกแบบและกำหนดข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

1.4 ทำการทดลองวิเคราะห์รูปแบบการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยโดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

1.5 เก็บรวบรวมข้อมูล สรุป และวิเคราะห์ผลของรูปแบบการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยโดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

2. เครื่องมือการวิจัย

สำหรับการวิเคราะห์รูปแบบการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยโดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยใช้โปรแกรม Minitab ซึ่งวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ได้ถูกติดตั้งและพร้อมใช้งานได้ในโปรแกรม Minitab จึงมีความสะดวกในการใช้งาน มีความเหมาะสมกับลักษณะของการใช้ข้อมูลในอดีตมาวิเคราะห์รูปแบบการคาดการณ์ค่าในอนาคต

3. กลุ่มตัวอย่าง

3.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ รายได้มวลรวมประชาชาติ (ดอลลาร์สหรัฐ) สินค้าเข้า (พันล้านดอลลาร์ สรอ.) สินค้าออก (พันล้านดอลลาร์ สรอ.) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย (เทระวัตต์ต่อชั่วโมง) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 - 2562 รวมทั้งสิ้น 40 ปี

3.2 ตัวแปรหรือปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 ตัวแปรต้น คือ รายได้มวลรวมประชาชาติ สินค้าเข้า สินค้าออก

3.2.2 ตัวแปรตาม คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณที่มีการปรับแก้ให้เหมาะสม และค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's product moment correlation coefficient)

$$r_{xy} = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

เมื่อ r_{xy} แทน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร x กับ y

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนชุด x

$\sum Y$ แทน ผลรวมของคะแนนชุด y

$\sum X^2$ แทน ผลรวมคะแนนของชุด x แต่ละตัวยกกำลังสอง

$\sum Y^2$ แทน ผลรวมคะแนนของชุด y แต่ละตัวยกกำลังสอง

$\sum XY$ แทน ผลรวมระหว่างผลคูณชุด x กับ ชุด y

n แทน จำนวนคู่ของข้อมูลในกลุ่มตัวอย่าง

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (Coefficient of Multiple Determination: R^2)

$$R^2 = \beta_1 r_{y1} + \beta_2 r_{y2} + \cdots + \beta_k r_{yk}$$

เมื่อ R^2 แทน กำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ

β_1 แทน ค่าน้ำหนักเบต้าหรือสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปของคะแนนมาตรฐานของตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์) ตัวที่ 1

β_k แทน ค่าน้ำหนักเบต้าหรือสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปของคะแนนมาตรฐานของตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์) ถึงตัวที่ k ตามลำดับ

r_{y1} แทน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (ตัวเกณฑ์) กับตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์) ตัวที่ 1

r_{yk} แทน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (ตัวเกณฑ์) กับตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์) ถึงตัวที่ k

k แทน จำนวนตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์)

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณที่มีการปรับแก้ให้เหมาะสม (Adjusted R^2)

$$Adjusted\ R^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)(N - 1)}{N - p - 1}$$

เมื่อ R^2 แทน กำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ

N แทน จำนวนทั้งหมดของตัวแปร

p แทน จำนวนของตัวแปรอิสระ

ควรพิจารณาใช้ค่านี้แทน R^2 เมื่อข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์สมการถดถอยมีค่าน้อยกว่า 30 ตัวอย่าง หรือในกรณีที่ค่า R^2 มีค่าสูงมากกว่าค่า Adjusted R^2 มาก ๆ แนะนำให้ใช้ Adjusted R^2 แทน

ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE)

$$MAPE = \frac{\left[\frac{\sum|A_t - F_t|}{A_t} \times 100\right]}{N}$$

เมื่อ F_t แทน ค่าที่ได้จากการพยากรณ์

A_t แทน ค่าจริงที่เกิดขึ้น

N แทน จำนวนข้อมูล

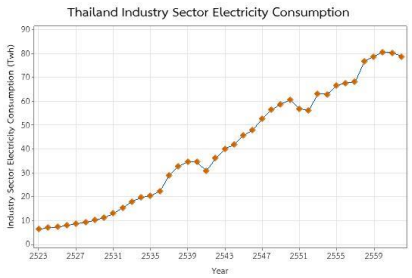
เป็นวิธีวัดความแม่นยำโดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการพยากรณ์ โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย ค่าที่ได้ต่ำมีความแม่นยำสูง

ผลการวิจัย

1. วิธีดำเนินการวิจัย

1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูลปัจจัยนำเข้าในงานวิจัยครั้งนี้ มีแนวคิดที่สำคัญคือการเลือกปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ความสมรูปของรูปแบบการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยโดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยใช้ข้อมูลที่เผยแพร่จากการธนาคารโลกและธนาคารแห่งประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 - 2562 จำนวน 40 ค่า ได้แก่ รายได้มวลรวมประชาชาติ สินค้าเข้า สินค้าออก ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย ใช้ข้อมูลที่เผยแพร่จากคณะทำงานด้านพลังงานของความร่วมมือทางเศรษฐกิจในเอเชีย-แปซิฟิก ปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย แสดงไว้ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย

1.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ใช้การวิจัย

การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับใด และมีความสัมพันธ์ในทิศทางใด เช่น ความสูงกับน้ำหนักของคนมีความสัมพันธ์กันมากหรือน้อย และมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันหรือตรงกันข้าม

โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับตัวสถิติที่ใช้วัดค่าสหสัมพันธ์อย่างง่ายว่ามีความสัมพันธ์มากหรือน้อยเพียงใดคือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ซึ่งในกรณีของสหสัมพันธ์อย่างง่ายตัวสถิตินี้เรียกว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation Coefficient) เขียนแทนด้วย สัญลักษณ์ ρ หรือ ρ_{xy} ในกรณีที่เป็นค่าพารามิเตอร์ และ r หรือ r_{xy} ในกรณีที่เป็นค่าสถิติโดยที่ ρ และ r จะไม่มีหน่วยและมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะประมาณหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรหนึ่งจากตัวแปรอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ โดยจะต้องมีการกำหนดหรือทราบค่าของตัวแปรอื่น ๆ ล่วงหน้า ในที่นี้เรียกว่าตัวแปรอิสระ (Independence Variable) จึงจะทำให้ทราบค่าของตัวแปรอีกตัวหนึ่ง ซึ่งในที่นี้เรียกว่าตัวแปรตาม (Dependence Variable) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์การถดถอย คือพยากรณ์ค่าตัวแปรตามในอนาคต เมื่อกำหนดค่าตัวแปรอิสระ

การที่จะนำตัวแปร X มาพยากรณ์ Y ได้นั้น ตัวแปร X และ Y จะต้องมีความสัมพันธ์กัน ถ้าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงและ ค่าของ Y ขึ้นอยู่กับค่าของ X จะเรียกการถดถอยนั้นว่าการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis)

ถ้าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และตัวแปร Y ถูกพยากรณ์ด้วยตัวแปร X เพียง 1 ตัวจะเรียกว่าการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression)

ถ้าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และตัวแปร Y ถูกพยากรณ์ด้วยตัวแปร X มากกว่า 1 ตัวจะเรียกว่าการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression)

ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้มีปัจจัยนำเข้าหรือตัวแปรนำเข้ามากกว่า 1 ดังนั้นจึงเลือกใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

งานวิจัยครั้งนี้ทำการรวบรวมข้อมูลปัจจัยนำเข้า โดยมีแนวคิดที่สำคัญคือ การเลือกปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ความสมรูปของรูปแบบการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยโดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ในการเลือกปัจจัยแต่ละปัจจัยนั้น พิจารณาจากการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยกับปัจจัยนำเข้าอื่น ๆ ได้แก่ รายได้มวลรวมประชาชาติ สินค้าเข้า สินค้าออก โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จากการวัดความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปัจจัยนำเข้าแต่ละปัจจัยกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทย แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จากการวัดความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปัจจัยนำเข้าแต่ละปัจจัยกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทย

ปัจจัยนำเข้า	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
รายได้มวลรวมประชาชาติ (ดอลลาร์สหรัฐ)	0.936
สินค้าเข้า (พันล้านดอลลาร์ สรอ.)	0.937
สินค้าออก (พันล้านดอลลาร์ สรอ.)	0.956

2. ผลการวิเคราะห์รูปแบบการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยโดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

ผลการวิเคราะห์รูปแบบการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยโดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจะแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือข้อมูลสำหรับการฝึกฝนที่ใช้ในการสร้างรูปแบบการคาดการณ์จะประกอบด้วยข้อมูลรายได้มวลรวมประชาชาติ สินค้าเข้า สินค้าออก และปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 – 2550 และข้อมูลสำหรับการทดสอบที่ใช้ในการสร้างรูปแบบการคาดการณ์ จะประกอบด้วยข้อมูลรายได้มวลรวมประชาชาติ สินค้าเข้า สินค้าออก และปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 – 2562

จากการวิเคราะห์รูปแบบการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยโดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ชุดข้อมูลฝึกฝนสามารถคาดการณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 คือ ผลลัพธ์ค่า R^2 ร้อยละ 94.62 และค่า $Adjusted\ R^2$ ร้อยละ 93.95 และชุดข้อมูลทดสอบสามารถคาดการณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย ได้ผลลัพธ์ค่า R^2 ร้อยละ 90.64 และค่า $Adjusted\ R^2$ ร้อยละ 87.13

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยโดยวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

ชุดข้อมูล	R^2	Adjusted R^2
ชุดข้อมูลฝึกฝน	94.62	93.95
ชุดข้อมูลทดสอบ	90.64	87.13

เมื่อนำค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยเปรียบเทียบกับค่าที่คาดการณ์ได้จากวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ สามารถแสดงได้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคาดการณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยที่ได้จากวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ กับค่าจริงของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย

ปี พ.ศ.	ค่าจริง	ค่าที่ได้จากการคาดการณ์
2551	56.9637	61.1822
2552	56.1962	63.4641
2553	63.3021	70.0122
2554	63.0811	70.1474
2555	66.6515	68.1953
2556	67.7913	68.8298
2557	68.2681	75.7579
2558	76.9092	77.0285
2559	78.8281	80.9112
2560	80.7936	83.9076
2561	80.3633	84.8262
2562	78.9096	87.3326

เมื่อนำวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ทำการคาดการณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย เปรียบเทียบกับข้อมูลชุดที่ 2 คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 – 2562 โดยกำหนดช่วงเวลาการคาดการณ์ออกเป็น 3 ช่วง คือช่วงเวลาล่วงหน้า 4 ปี 8 ปี และ 12 ปี ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคาดการณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยที่ได้จากวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ กับค่าจริงของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยใช้เกณฑ์การพิจารณาค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบค่า MAPE ของการคาดการณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยล่วงหน้า

ช่วงเวลาล่วงหน้า	ค่า MAPE
4 ปี	10.5352
8 ปี	7.1394
12 ปี	6.6533

ผลจากตารางที่ 4 พบว่าการใช้วิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ทำการคาดการณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย ในช่วงเวลาล่วงหน้า 4 ปี 8 ปี และ 12 ปี พบว่าการใช้วิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ทำการคาดการณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยเหมาะสมกับการคาดการณ์ล่วงหน้า 12 ปี เนื่องจากให้ค่า MAPE มีค่าต่ำที่สุดคือ 6.6533

อภิปรายผลการวิจัย

การคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนานโยบายด้านพลังงานที่ยั่งยืน การคาดการณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรมที่ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญ เมื่อความต้องการไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การศึกษานี้ใช้วิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ สำหรับการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมโดยพิจารณาจากพารามิเตอร์รายได้มวลรวมประชาชาติ สินค้าเข้า สินค้าออก และปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ ดังนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จากการวัดความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปัจจัยนำเข้าแต่ละปัจจัยกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีค่ามากกว่า 0.9
- ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณที่มีการปรับแก้ให้เหมาะสม ทั้งในชุดข้อมูลฝึกฝนและชุดข้อมูลทดสอบ
- การคาดการณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 – 2562 โดยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นทุกปี

ผลการศึกษาการเปรียบเทียบค่า MAPE ของการคาดการณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย ในช่วงเวลาล่วงหน้า 4 ปี 8 ปี และ 12 ปี จะพบว่าช่วงเวลาในการคาดการณ์มากจะมีค่าผกผันต่อค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ส่งผลให้การคาดการณ์ 12 ปี มีค่าน้อยที่สุดคือ 6.6533

ข้อเสนอแนะ

การนำข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลองและช่วงเวลาการคาดการณ์ล่วงหน้าที่มีจำนวนมากกว่านี้ รวมถึงการศึกษาวิธีการคาดการณ์ที่แตกต่างจากการศึกษานี้ เช่น เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ปัญญาประดิษฐ์ รวมถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่นจำนวนประชากร การเติบโตของเศรษฐกิจ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

ชนินันท์ พฤกษ์ประมูล และคณะ. (2563). ประสิทธิภาพของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน สเปียร์แมน และเคนดอลล์ เมื่อข้อมูลแจกแจงแบบไม่ปกติ. *วารสารอิเล็กทรอนิกส์ทางการศึกษา An Online Journal of Education*. 15(2). 1-16.

นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2553). *ชุดวิชา 21701 การวิจัยหลักสูตรและการเรียนการสอน* หน่วยที่ 7 การศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง และหน่วยที่ 10 สถิติวิเคราะห์เชิงปริมาณ: สถิติบรรยายและสถิติพาราเมตริก หลักสูตรปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาหลักสูตรและการสอน มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช . กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

พิณสุดา สิงไชย และ พงษ์ศักดิ์ กีรติวินทกร. (2557). การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสำหรับศูนย์จัดการความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย. *วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ Information Technology Journal*. 10(2), 32-42.

รัชฎา แต่งภูเขียว และณัฐนันท์ อิสสระพงศ์. (2562). การวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์สำหรับการวางแผนการผลิต กรณีศึกษา บริษัทผลิตเนื้อโคขุน จังหวัดนครพนม. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.* 13(3), 222-232.

ศศิธร คงอุดมทรัพย์ และ พงศิษฏ์ ทวิชพงศ์ธร. (2564). ความแม่นยำของการใช้แบบจาลองการถดถอยพหุคูณในการวิเคราะห์ฐานข้อมูลที่ได้จากการสุ่มแบบมีเงื่อนไขเพื่อการคาดการณ์ผลการเรียนของนักเรียนนายเรือ. *วารสารวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี Journal of Science and Technology.* 4(1). 76-88.

เฉลิมชาติ ธีระวิริยะ. (2560). การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์สำหรับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในจังหวัดนครพนม. *Naresuan University Journal: Science and Technology*. (25)4, 124-137.

Akossou, A. Y. J., & Palm, R. (2013). Impact of data structure on the estimators R-square and adjusted R-square in linear regression. *Int. J. Math. Comput*, 20(3), 84-93.

Benesty J., Chen J., Huang Y., Cohen I. (2009) *Pearson Correlation Coefficient. In: Noise Reduction in Speech Processing. Springer Topics in Signal Processing*, vol 2. Springer, Berlin, Heidelberg.

Saravanan, S., Mahesh, K. and Karunanithi, K. (2017). Prediction of India's electricity consumption in industrial sector using soft computing techniques. *IEEE international conference on power, control, signals and instrumentation engineering (ICPCSI).* 1990-1994.

Miles, J. (2005). *R-squared, adjusted R-squared*. Encyclopedia of statistics in behavioral science.

Velicer, W. F., & Plummer, B. A. (1998). Time series analysis in historiometry: A comment on Simonton. *Journal of personality*, 66(3), 477-486.

2021 ANPOR-APCA Annual Conference
Understanding Wellbeing in Asian Societies
The Impact of Digital Media on Environmental and Social Resilience
Bangkok, Thailand

PREPARATION FOR RETIREMENT WELL-BEING OF THAI TEACHERS IN THE GOVERNMENT PRIMARY SCHOOLS: A QUALITATIVE STUDY

Numporn Insin

1Sakon Nakhon Rajabhat University, Thailand

Chanuantong Tanasugarn

Sarunya Benjakul

Mahidol University, Thailand

ABSTRACT

Purpose: This qualitative study explored 1) whether Thai pre-retired teachers prepare for retirement and 2) what and how they had prepared to achieve well-being after retiring.

Design: An in-depth interview was done with 19 teachers who would retire. The thematic analysis was employed for data analysis.

Findings: Each individual had prepared for retirement in different aspects based on what one perceived the changes and their effects after retirement. Five elements of retirement preparation have emerged, including finance, daily activity, social interaction, work role, and health. Generally, teachers had undertaken an informal preparation by seeking retirement issues from various sources (i.e., TV, Internet, radio, books, and booklets). They also discussed and shared retirement experiences and plan with friends, family, and seniors. A formal preparation such as a retirement seminar or educational class had rarely been arranged. As they got that retirement information, retirement goals and plans were set by one own decision while only some teachers had done a concrete plan. A few teachers had an action plan for being a healthy retiree, such as doing exercise regularly or taking health examinations annually after retiring.

Originality: Effective pre-retirement program to promote retirement well-being is necessary and should be provided for pre-retired teachers. Healthy retirement should be taken into account in the program development.

Keywords: healthy retirement; retirement planning; retirement preparation; retirement well-being

INTRODUCTION

As a global older population grows dramatically, World Health Organization (WHO) has launched an Active Aging framework since 2002 (Kalache & Gatti, 2003). This framework offers a policy to maintain and enhance well-being and independence in older adults. Thus, three main pillars are emphasized to promote a better quality of life, including health, participation, and security. Accordingly, many countries have intently taken this Active Aging concept into national practices during the past few decades, for example, Liotta (2018); Parry *et al.* (2018). However, the suffering regarding living dependently requires help or support from others is currently ongoing, especially in vulnerable older persons (WHO, 2021). These reflect that the attempts of the public to promote life-long well-being are still necessary in this aging world (Wongsala et al., 2021; Foster & Walker, 2021).

Retirees are generally defined as the older persons who leave from their work at the mandatory age (Atchley, 1982; Wang *et al.*, 2011). Even though retirees are considered the older population, they have specific concerns about retirement age. While most older adults are gradually facing physical and psychological changes in the aging process, retirees instantly change roles, lifestyles, and environments after retiring. These immediate changes (i.e., decreasing income, lessening social interaction, loss of work role, changing familiar atmosphere, and altering daily life activities) significantly require retirees to get through retirement adjustment processes (Atchley, 1976). According to coping with adjustment distress, retirees might develop health outcomes (Nishimura et al., 2018) inconsistently. Some studies revealed better life satisfaction in retirement (Gorry *et al.,* 2018), while significant physical and psychological health declines were also reported (Behncke, 2009). Moreover, financial strain is a considerable concern for desirable retirement life (Hauff, 2020). These challenge our society whether retired persons face the difficulty of living independently with active lifestyles after retirement.

Some researches explained why retirement brings different effects on retirees' health and well-being. Noone's study indicated that retirement planning and preparation during the pre-retirement period is crucial in order to achieve better retirement satisfaction (Noone *et al.*, 2009). Retirement planning is defined as a process in which individuals develop an understanding of the retirement problems, set retirement goals, and decide to start preparing and undertaking the specific behaviors to fulfill their goals (Noone *et al.,* 2010). Unfortunately, the evidence reported that many pre-retirees had underprepared for retirement. For example, Hongkong-Chinese employees had low retirement planning and limited finance and health preparation activities (Lee & Law, 2004). Only one-third of Canadian nurses had adequate retirement planning (Blakeley & Ribeiro, 2008). Thus, enhancing pre-retirees ability to prepare for retirement is required before retirement.

In Thailand, teachers in the government primary schools are the majority of retired civil servants in every fiscal year (Office of the Civil Service Commission, 2019). Current retirement planning and preparation interventions are predominantly for financial problems after retirement. Practically, pre-retired teachers are informed and encouraged to plan for retirement

savings by the Government Pension Fund (GPF). After retiring, retired teachers get financial supports through pension and lumpsum allowance (Benchawan, 2015). The retirement intervention to promote retirement well-being and prevent other adverse outcomes has rarely existed. Little is known about whether Thai pre-retired teachers had adequately prepared for retirement.

Several effective pre-retirement programs have succeeded in enhancing pre-retirees ability to adjust through retirement in various settings (Aguilera et al., 2013; Chan et al., 2015; Cohen-Mansfield & Regev, 2016). An evidence-based, effective program to facilitate Thai pre-retired teachers to get better prepared for retirement is needed as a forward movement. Thus, this present study aimed to explore 1) whether Thai pre-retired teachers prepare for retirement and 2) what and how they had prepared to achieve well-being after retiring. In concordance with the global policy framework to promote quality of life in older adults, these current findings value to designing a pre-retirement program to encourage the retirement well-being of Thai pre-retired teachers.

METHODOLOGY

Research design and setting

This qualitative study was conducted in Sakon Nakhon province, a semi-rural area located in the Northeast of Thailand, 647 km-far from Bangkok. Sakon Nakhon can be seen as a potential province to implement a novel practice to promote the retirement well-being of teachers because there is one regional center of education across the country.

Participants

Teachers who were going to retire were recruited as the key informants (KIs). In all, 167 teachers who currently worked in government primary schools would retire mandatorily in the fiscal year 2017. Thus, the research purposively selected the following criteria: teachers who were 1-year to retire mandatorily in 2017 and teachers who were not administrators of the regional education office. Concerning their heterogeneous characteristics, maximized variation technique was applied by varying sex (male, female), school location (rural, semi-rural areas), and career position (school administrator and general teacher). According to the criteria, the Provincial Education Human Resources Section staff recommends the first two KIs purposively. Then, the following KIs were picked out consecutively by snowball technique. Lastly, 19 KIs have enrolled in this study.

Research instrument

Acquiring the data from KIs was done by face-to-face, in-depth interview. An in-depth interview guideline with three main themes was constructed as the following: 1) What were the perception and awareness of changes after retirement? 2) What did you plan and prepare for retirement? And 3) How did you prepare for retirement? Each theme included 1-2 main

questions with 2-3 probe questions. This guideline was reviewed accordingly by the three experts in health promotion, gerontology, and qualitative research.

Data collection procedure

The data collection was conducted after KI was informed about the study's information and confidentiality protocol. Individuals voluntarily decided to enroll in the study and signed a consent form before an interview. The interview took place at KIs' convenient location and time during June – July 2016. Regarding trustworthiness, the interview protocol was set to guide the interviewers, duration of interview (1 hour±15 minutes/person), and interview environment.

Data analysis

Data were analyzed using thematic analysis; audio records were transcribed verbatim by the first author. Each KI confirmed a typewritten transcript to validate the contents and meaning. Two researchers individually read through the contents to get the general sense and coding to ensure its accuracy. Then categorized themes have emerged.

Ethical consideration

The Ethical Review Committee approved the study's protocol for the Human Research Faculty of Public Health, Mahidol University, COA. No. MUPH 2016-092.

RESULTS

Among 9 KIs, there were nine males and ten females aged 60-61 years old. Regarding the school location, they were currently working; six were in the municipality, three were in semi-rural, and ten were in rural areas. 7 KIs were the school directors, and 12 were general teachers. Most of them graduated with 13 bachelor's degrees, while 5 and 1 KIs graduated master's degrees and doctoral degrees. 6 KIs reported that they were healthy without being diagnosed with chronic disease in terms of health status. However, 13 KIs were diagnosed with chronic health problems, including hypertension or high blood pressure, dyslipidemia, and overweight.

Retirement preparation

Once individuals perceive that retirement-related changes might affect one's health and well-being, they are setting the goal and making a concrete plan for retirement life. One teacher said, *"I knew that my income would decrease when I retire, then I calculate pension and think about the second job. Actually, my pension may be enough if I will not spend much. But I think about the job to make me busy and have something to do" (60 years old, female, general teacher)"* However, some of them had no definite goal and no plan to manage those changes. As KIs' perception, the findings emerged from various aspects of retirement preparation. What and how KIs prepared for retirement comprised these following five aspects: finance, daily life activity, social interaction, work role, and health.

1) Finance

All of KIs were aware of much-decreasing income after retirement. Almost all KIs had debt several years before retirement, which needed to return at the end of every month even after they retired. Although the current salary was enough for daily expenses, they were not sure whether a pension could serve their needs in retirement life. Thus, they had already prepared by calculating pension and having long-term savings, minimizing debt, and planning to reduce daily expenses when retiring. The GPF had given information on financial retirement choices to help teachers make a decision.

Luckily, almost all of them perceived that they were able to manage the decreasing income after retirement is not much difficult. For example,

> *"…I have calculated that I will get about million baht from the Government Pension Fund and about 20,000 baht from a cooperative (Teacher Cooperative and Saving). Then I can return debt monthly, and I still have money for other expenses… I think…we (KI and her family) are thrifty. We have a fish pond and vegetables. We had a variety of vegetables…chili, lemon, eggplants, so we didn't need to buy food. So, I do not worry about my financial status…"* (60 years old, female, general teacher)

One male said,

> *"After retirement, I planned to do a small business which will not much invest. It is just for spending my free time. My income will decrease exactly. I have calculated already. Um…for me, I think it will not be too difficult to handle financial uncertainty. Pension will be enough if there is no emergency cost…"* (60 years old, male teacher)

However, a few KIs perceived difficulty in managing much-decreased income. One KI said,

> *"…Only my pension will not be enough for a daily expense. My wife cannot work because she got health problems. My salary is not enough, so I needed to take a loan. Now I try to minimize debt, but I am still in trouble. As I calculated, I will need more than 12,000 baht per month after retiring to cover all the costs. The GPF gave us unclear information. My salary is now about 54,000 baht, and my pension will reduce to 34,000 baht. How can I manage it? I am so worried, but I still have no idea to get more income."* (60 years old, male teacher)

Unfortunately, almost all of them had not planned for unexpected expenses after retirement, which their health care cost only depends on government benefits.

2) Daily life activity

All KIs realized increasing free time after retirement that they needed to plan something to do. If they have nothing to do, they will feel bored and depressed. Luckily, more than half of them had a specific plan for meaningful free time activity after retirement, such as spending time with family, gardening, starting a new job, doing hobbies and handicrafts, making merit and

religious activity, and traveling. In contrast, eight of KIs had no idea for enjoying their daily life and felt much worried.

For example, one female expressed:

> *"…I may get bored because I just stay at home the whole day. Unlike before retirement, I go to school every day. I may feel lonely because my children go to work and my grandchild to go to school. I have to stay a whole day with only my couple…"* (60 years old, female teacher).

3) Work role

Almost all KIs perceived a very high value of work role and is meaningful. They felt much loss of self-worth if they leave from work. A variety of preparation have emerged as follows: mental coping had undertaken in almost all KIs, e.g., thinking as it is a normal stage of life as the Buddhist believes, avoiding much contact with students before retirement. Some of them had actively planned to contribute to the others after retirement (for example, volunteer teacher, health care volunteer, a donation to school, and job training for junior). In contrast, the others still had no idea how they contributed to the others to help them keep self-worth.

One teacher said:

> *"…I feel a loss of my teacher role. I think that I will retire soon. I am so sad that I cannot continue my work…I will miss my job. I am a bit worried about coping with this feeling. I have transferred roles and responsibilities to junior teachers. I shared with them my experience of doing a job. I will send the letter to the school director to allow me to help the juniors after retiring..."* (60 years old, female, general teacher)

4) Social activity

Before retirement, social engagement routinely happened in schools. So that, most of KIs were aware of less social interaction after retirement. They are also concerned about the negative consequences of psychological health if social activity declines in retirement life. Only 4 KIs had undoubtedly decided to join the community club or school activity after retiring to manage this change. For example, one male said,

> *"…I thought that relationship with friends will not change after retirement. I had already planned for it. I had a group of friends who had been retired earlier than me. So, we had usually met each other..."* (60 years old, male teacher).

Many of them wanted to engage in social activity, but they had no access to the information of the existing social movements in their community. Meanwhile, one of them was not concerned and was not aware of the loss of social interaction and its consequences after retirement. One female said:

> *"…After retirement, my friends and I might lose our relationship. We have no retirees' group. I do not plan to join any club. If there is any group for job training, I may join.*

I may help them to teach community people to do some handicraft. After retirement, I might meet only some relatives…" (60 years old, female, general teacher)

Notably, 4 of KIs had never thought about the social change after retirement. One of them was not concerned and was not aware of the loss of social interaction and its consequences after retirement. Unfortunately, 2 of them had prepared to detach from the social activity.

5) Health

All KIs expected to get a healthy body and mind in retirement life. But almost all of them were not aware that lifestyle changes after retiring might affect their health. Nearly all KIs thought that they might be healthier after retirement because they did not get stress from work and would have much time to relax.

For example, one KI said,

"…After retiring, there will be no more stress from work to do and not hurry. So, I think I will be healthier and relaxed. I can do anything I want. I just want to wake up late and live at home peacefully…." (60 years old, female, general teacher)

Only one was worried about getting much stress due to adjusting to many changes after retirement. Therefore, she planned to keep herself engaged inactive lifestyles.

Many KIs perceived that they had adequately prepared for health, so they planned to continue their health behaviors with no adjustment. Most of them had decided to continue the same health behaviors. The actual plan for being healthy retirees with healthy lifestyles was not reported. The findings revealed only 2 of them had planned to do more exercise in their free time after retirement. Moreover, only one KI had planned to do active brain activity to prevent physical dependency and premature dementia.

Measures of retirement preparation

The findings revealed the different ways had been taken to prepare for retirement. All KIs officially received retirement information from the government and GPF by letters or printed materials. Financial management choices were informed, such as retirement savings, lumpsum allowance, and other benefits for making decisions and creating an active plan. Other measures were sharing and discussing retirement issues and planning with friends, seniors, and family, especially couples. One female said

"…I observed my husband, who had already retired for three years. He performed desirable lifestyles as he exercised daily, ate healthily, and relaxed. So, I want to be like him…then I plan to follow what he did…." (60 years old, female, general teacher)

Another said,

"…The school gave me the letters about what I will receive once I retire. I will get the allowance. The staff (education office staff) showed me how to calculate pension. I also asked seniors who have already retired about what I should do and plan to retire happily. I heard

many stories or experiences from others comparing the difference between who was happy or not. I learned from them then decided to invest in a small apartment for rent. It will be long-term income for the family after I retire" (60 years old, male, general teacher)

Once I got information from various sources, my own decision was made for retirement goals and plans.

While active seeking for retirement information by oneself rarely existed, only 4 KIs had sought retirement and health-related information from several sources (TV programs, sharing with friends, social media, reading books, and websites). A retirement decision was set based on their contexts. One teacher said,

"I was a DJ, so I like to search much information to talk with my listeners. I read about health information, and they like it. Therefore, I had accessed many health information such as dangers from shampoo, food supplements, walking for health and biological clock. I followed the biological time when to wake up, sleep and eat..." (61 years old, male, school director).

Most of KIs mentioned that they wanted to attend a health seminar or class if it would be available. Unluckily, the existing retirement seminar was arranged in Bangkok (the capital city). So, they were not able to join the events. One female said,

The director told me about the retirement seminar last most. I want to join, but that was in Bangkok…it is too far. I have to pay for transportation, hotel, and others if I attend. So, without any support from the government or school, I decided not to go there..." (60 years old, female, general teacher).

DISCUSSION

In concordance to Noone's study, our findings revealed that teachers perform retirement preparation through the stages of perceived changes, set the goal, make a plan and take specific action to manage the altering in retirement. Only a few teachers are able to get through an entire process, while some teachers are facing the difficulty. Like other country populations, most pre-retirees were not ready to achieve retirement goals (Asokumar & Jais, 2018). Various dimensions of retirement preparation, including finance, daily life activity, and role adjustment, were revealed in this present study which is in line with others (Lee & Law, 2004; Blakeley & Ribeiro, 2008; Petkoska & Earl, 2009).

Decreasing income is a significant retirement concern among teachers; then, they had taken tangible responses. Our study aligns with Blakeley and Ribeiro (2008), revealing that Canadian nurses had relied on pension and long-term savings; however, nurses also bought private health insurance to add to the government benefits. Kim *et al.* (2005) suggested more complex financial preparation activities than teachers had done, covering taxes, inflation, and health care cost. Therefore, broader activities should be encouraged for better financial security after retiring teachers, wildly unexpected expenses.

Teachers are aware of free time activity, social interaction, and role adjustments. These dimensions of retirement preparations are consistent with a psychosocial component reviewed by Blakeley and Ribeiro (2008). In this study, teachers had no idea enjoying their free time and engaging in social activity. So, enhancing the ability to handle these psychological changes should be done as suggested by Osuji and Nweze (2014).

Being a healthy retiree is a desirable goal in retirement life, but awareness of retirement lifestyle changes on health is insufficient, especially on physical fitness and cognitive decline. The findings contradict Blakeley and Ribeiro (2008) and Lee and Law (2004), [in] which pre-retirees were undertaking healthier behaviors for retirement preparation. However, teachers lacked awareness of being healthy retirees, and they had no plan for a healthy lifestyle adjustment. Actually, retirement influences one's health behaviors, so this stage of life is an excellent opportunity to promote healthy and active aging (Stenholm & Vahtera, 2017).

Rather than formal retirement preparation like seminars or classes, teachers take informal talking with friends and family and search for information in media. This is similar to Earl's study, which indicated that a small number of pre-retirees were attending an official program or advice for retirement (Earl & Archibald, 2014). The contexts of Thai teachers in rural areas are difficult to access. The evidence revealed significant benefits of a set of activities in the pre-retirement program. So, developing an effective retirement program is necessary, and it should be accessible for these pre-retired teachers.

CONCLUSION

A few years before retirement, teachers are aware of several changes after retirement and are undertaking the process of retirement preparation. However, they lack the skills to manage changes after retirement to be healthy retirees. The achievement of independence and living with active lifestyles policy will be unaccomplished. Thus, pre-retirement preparation should facilitate behavioral changes to manage healthy lifestyles by considering awareness and skills improvement.

APPENDIX

Table 1

The general characteristics and health status of key informants (KIs)

Pseudonym	Gender	Age (Years old)	Marital status	Educational level	Health status
1. School Directors					
1) Prasart	Male	61	Married	Master degree	Overweight
2) Thawan	Male	60	Married	Bachelor degree	None
3) Warun	Female	58	Married	Doctoral degree	Overweight
4) Chaya	Male	57	Married	Doctoral degree	Hypertension
5) Sanan	Female	57	Married	Master degree	Dyslipidemia
6) Tep	Male	56	Married	Doctoral degree	Dyslipidemia, Overweight
7) Sar	Female	54	Single	Doctoral degree	Overweight
2. General teachers					
8) Nam	Female	61	Widow	Bachelor degree	None
9) Don	Female	61	Married	Bachelor degree	Hypertension, Overweight
10) Mon	Female	60	Married	Bachelor degree	None
11) Chawee	Female	60	Married	Bachelor degree	None
12) Nim	Female	60	Married	Bachelor degree	None
13) Wilailuk	Female	60	Married	Master degree	Hypertension
14) Moon	Female	60	Married	Bachelor degree	None
15) Wisut	Male	60	Married	Bachelor degree	Hypertension
16) Thana	Male	60	Married	Bachelor degree	High blood pressure
17) Prajam	Male	60	Married	Bachelor degree	Hypertension Overweight Dyslipidemia
18) Kong	Male	60	Married	Bachelor degree	Overweight
19) Jan	Male	60	Single	Bachelor degree	Overweight

REFERENCES

Aguilera, M. de, Pérez, J. de, Delgado, D., Contreras, M., Acosta, M., & Pozos, B. E. (2013). Educational preparation of older adults and their families for retirement. *Advances in Applied Sociology, 3*(06), 237–245. https://doi.org/10.4236/aasoci.2013.36032

Asokumar, A, & Jais, J. (2018). Determinant of Employees' Retirement Planning: A Review of Malaysian Retirement Plans. *Global Business and Management Research, suppl. Special Issue; 10 (3),* 658-668.

Atchley, R. C. (1976). *The sociology of retirement.* Cambridge: Sch- enkman.

Atchley, R. C. (1982). Retirement: Leaving the World of Work. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science, 464*(1), 120-131. https://doi.org/10.1177/0002716282464001011

Behncke, S. (2009). How Does Retirement Affect Health? *SSRN Electronic Journal. 2453.* http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1426740

Benchawan, P. (2015). The Preparation before the Retirement. *Princess of Naradhiwas University Journal of Humanities and Social Sciences, 2*(1), 82-92.

Blakeley, J. & Ribeiro, V. (2008). Are nurses prepared for retirement? *Journal of Nursing Management, 16*(6), 744-752.

Chan, M.L., Gustafsson, L., & Liddle, J. (2015). An intervention to support professional driver retirement transition: Results of a pilot study for older taxi drivers in Singapore. *British Journal of Occupational Therapy, 78*(6), 391-400.

Cohen-Mansfield, J., & Regev, I., (2016). Retirement Preparation Programs: An Examination of Retirement Perceptions, Self-Mastery, and Well-Being. *Research on Social Work Practice, 28*(4), 428–37.

Earl, J.K. & Archibald, H. (2014). Retirement Planning is more than just accumulating resources. *European Journal of Management, 14*(2), 21-36

Foster, L., & Walker, A. (2021). Active Ageing across the Life Course: Towards a Comprehensive Approach to Prevention. *BioMed research international, 2021,* 6650414. https://doi.org/10.1155/2021/6650414

Gorry, A., Gorry, D., & Slavov, S.N. (2018) Does retirement improve health and life satisfaction? *Health Economics. 2018*; 27: 2067– 2086. https://doi.org/10.1002/hec.3821

Hauff, J.C., Carlander, A., Gärling, T. & Nicolini, G. (2020). Retirement Financial Behaviour: How Important Is Being Financially Literate? *Journal of Consumer Policy, 43*, 543–564. https://doi.org/10.1007/s10603-019-09444-x

Kalache, A., & Gatti, A. (2003). Active ageing: a policy framework. *Advances in Gerontology,11*, 7-18.

Kim, J., Kwon, J., & Anderson, E. A. (2005). Factors Related to Retirement Confidence: Retirement Preparation and Workplace Financial Education. *Financial Counseling and Planning, 16*(2), 77–89

Lee, W. K. M., & Law, K. W.-k. (2004). Retirement planning and retirement satisfaction: The need for a national retirement program and policy in Hong Kong. *Journal of Applied Gerontology, 23*(3), 212–233. https://doi.org/10.1177/0733464804268591

Liotta, G., Canhao, H., Cenko, F., Cutini, R., Vellone, E., Illario, M., *et al.* (2018). Active Ageing in Europe: Adding Healthy Life to Years. *Frontiers in medicine, 5,* 123. https://doi.org/10.3389/fmed.2018.00123

Nishimura, Y., Oikawa, M. & Motegi, H. (2018). What Explains the Difference in the Effect of Retirement on Health? Evidence from Global Aging Data. *Journal of Economic Surveys, 32*, 792-847.

Noone, J. H., Stephens, C., & Alpass, F. M. (2009). Preretirement Planning and Well-Being in Later Life: A Prospective Study. *Research on Aging, 31*(3), 295-317.

Noone, J. H., Stephens, C., & Alpass, F. (2010). The Process of Retirement Planning Scale (PRePS): development and validation. *Psychological assessment, 22*(3), 520–531. https://doi.org/10.1037/a0019512

Office of the Civil Service Commission. (2019). *Actions of measures to Civil service administratration and improvement (2014-2019): Thai civil servant teachers and educational personnel.* https://www.ocsc.go.th/sites/default/files/attachment/article/press_release_12_02_2526_praednchiiaecchngmaatrkaar_khpr._khruu.pdf

Osuji, C. U., & Nweze, T. (2014). A review of factors influencing teachers' perceptions and attitudes towards retirement. *Journal of Educational Policy and Entrepreneurial Research, 1*(2), 130-143.

Parry, J., Um, J., & Zaidi, A. (2018). Monitoring active ageing in the Asia-Pacific region: Recommendations for future implementation of the MIPAA. *International Journal of Ageing in Developing Countries, 2*(2), 82-98.

Petkoska, J., & Earl, J. K. (2009). Understanding the influence of demographic and psychological variables on retirement planning. *Psychology and aging, 24*(1), 245.

Wang, M., Henkens, K., & van Solinge, H. (2011). Retirement adjustment: A review of theoretical and empirical advancements. *American psychologist, 66*(3), 204.

WHO. (2021, October 4). *Aging and Health.* https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health

Wongsala, M., Anbäcken, E. M., & Rosendahl, S. (2021). Active ageing - perspectives on health, participation, and security among older adults in northeastern Thailand - a qualitative study. *BMC geriatrics, 21*(1), 41.

Stenholm, S., & Vahtera, J. (2017). Does retirement benefit health? *Preventive medicine, 100*, 294–295. https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2017.05.007

Sci2.3-25

เลขที่อนุสิทธิบัตร 18590

อสป/200 - ข

อนุสิทธิบัตร

อาศัยอำนาจตามความในพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522
ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542
อธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญาออกอนุสิทธิบัตรฉบับนี้ให้แก่

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

สำหรับการประดิษฐ์ตามรายละเอียดการประดิษฐ์ ข้อถือสิทธิ และรูปเขียน (ถ้ามี) ดังที่ปรากฏในอนุสิทธิบัตรนี้

เลขที่คำขอ 1703002245

วันขอรับอนุสิทธิบัตร 25 ตุลาคม 2560

ผู้ประดิษฐ์ นายศุภกร อาจหาญ และคณะ

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์ ชุดทดสอบผ้าย้อมครามธรรมชาติ

ให้ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรนี้มีสิทธิและหน้าที่ตามกฎหมายว่าด้วยสิทธิบัตรทุกประการ

ออกให้ ณ วันที่ 28 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2564

หมดอายุ ณ วันที่ 24 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2566

(นายวุฒิไกร ลีวีระพันธุ์)
อธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญา
ผู้ออกอนุสิทธิบัตร

พนักงานเจ้าหน้าที่

หมายเหตุ
1. ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรต้องชำระค่าธรรมเนียมรายปีเริ่มตั้งแต่ปีที่ 5 ของอายุอนุสิทธิบัตร มิฉะนั้น อนุสิทธิบัตรนี้จะสิ้นอายุ
2. ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรจะขอชำระค่าธรรมเนียมรายปีล่วงหน้าโดยชำระทั้งหมดในคราวเดียวได้
3. ภายใน 90 วันก่อนวันสิ้นอายุอนุสิทธิบัตร ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรมีสิทธิขอต่ออายุอนุสิทธิบัตรได้ 2 คราว มีกำหนดคราวละ 2 ปี โดยยื่นคำขอต่ออายุ ต่อพนักงานเจ้าหน้าที่
4. การอนุญาตให้ใช้สิทธิตามอนุสิทธิบัตรและการโอนอนุสิทธิบัตรต้องทำเป็นหนังสือและจดทะเบียนต่อพนักงานเจ้าหน้าที่

002583

Ref.256401024085306

0.6

Sci2.3-26

KKU Journal for Public Health Research
Vol.14 No.3 July – September 2021

วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ปีที่ 14 ฉบับที่ 3 เดือน กรกฎาคม – กันยายน 2564

นิพนธ์ต้นฉบับ

ภาวะพฤฒพลังของผู้สูงอายุในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

นำพร อินสิน[1], กาญจนา วงษ์สวัสดิ์[1], สาวิตรี วังคะฮาด[2], ยิ่งยง เสนากัง[2], ช่อผกา เหวียนวัน[2], ธงชัย ทาต้อง[2]*

วันที่ได้รับต้นฉบับ: 2 กุมภาพันธ์ 2564
วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 31 มีนาคม 2564

** ผู้รับผิดชอบบทความ*
(1) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
(2) นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

บทคัดย่อ

แนวคิดพฤฒพลังเป็นแนวทางหนึ่งในการรับมือกับสังคมผู้สูงอายุในระยะยาว โดยมุ่งเน้นให้ผู้สูงอายุพึ่งพาตนเองได้และใช้ศักยภาพของตนเพื่อทำประโยชน์แก่สังคมส่วนรวม การวิจัยเชิงสำรวจนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการรับรู้ภาวะพฤฒิพลังของผู้สูงอายุในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่จริงในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร จำนวน 393 คน สุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน เก็บรวมรวบข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามเพื่อให้ประเมินรับรู้ภาวะพฤฒิพลังของตนเองสามด้าน ประกอบด้วยด้านการสุขภาพดี ด้านการดำเนินชีวิตอย่างมีส่วนร่วม และด้านหลักประกันและความมั่นคง การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 63.82 มีการรับรู้ภาวะพฤฒพลังในภาพรวมอยู่ในระดับสูง นอกจากนี้ สำหรับภาวะพฤฒพลังรายองค์ประกอบ พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการับรู้ภาวะพฤฒพลังด้านสุขภาพดี ด้านความสามารถในการดำเนินชีวิตอย่างมีส่วนร่วม และด้านหลักประกันและความมั่นคงอยู่ในระดับสูง ร้อยละ 70.58 57.65 และ 67.35 ตามลำดับ จากผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่า ยังมีผู้สูงอายุจำนวนหนึ่งที่ต้องได้รับการส่งเสริมภาวะพฤฒิพลังด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการดำเนินชีวิตอย่างมีส่วนร่วม ทั้งนี้ เพื่อให้ผู้สูงอายุสามารถพึ่งพาตนเองได้และนำไปสู่การใช้ศักยภาพของตนเองเพื่อสร้างคุณค่าแก่สังคมต่อไป

คำสำคัญ: *พฤฒพลัง, ผู้สูงอายุ, การมีส่วนร่วมทางสังคม, หลักประกันความมั่นคง*

KKU Journal for Public Health Research
Vol.14 No.3 July – September 2021

วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ปีที่ 14 ฉบับที่ 3 เดือน กรกฎาคม – กันยายน 2564

Original Article

Active Ageing of Older adults in Amphoe Mueang Sakhon Nakhon

Numporn Insin[(1)], Kanjana Vongsawat[(1)], Sawittree Wangtahat[(2)], Yingyong Senagung[(2)], Chorpaka Weanwan[(2)], Tongchai Tatong[(2)]*

Received Date: Febuary 2, 2021
Accepted Date: March 31, 2021

** Corresponding author*
(1) Health Science Program, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University
(2) Bachelor of Science Student in Public Health, Sakon Nakhon Rajabhat University

Abstract

Active ageing framework is one strategy to deal with aged society in long-term which focuses on independent in older adults. The framework also encouraged the potentials of older adults to contribute to the public benefits. Thus, active older adults help the society. This survey research was to assess active ageing among older adults in Amphoe Mueang, Sakon Nakhon. The samples were 393 older adults living and currently registered in Office of District Public Health by using multi-stage random sampling. The data were collected by self-rate structured questionnaire regarding active ageing. The questionnaire comprised three dimensions according to active ageing framework including health, participation and security. Data were analyzed by descriptive statistics. The results revealed that 63.82% of the samples had overall perception of active ageing at high level. Meanwhile, 70.58%, 57.65%, and 67.35% of the samples had perception of health, participation, and security at high levels, respectively. These results revealed that the supports of society to be active ageing is still required for many of older adults in all dimensions, especially participation. Consequently, older adults will be independent, and then they can contribute to their society.

Keywords: *Active Ageing, Older Adults, Social Participation, Security*

บทนำ

สังคมไทยจัดเป็นสังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ โดยในปี 2563 ประเทศไทยมีผู้สูงอายุร้อยละ 17.57 ของจำนวนประชากรทั้งหมด (กรมกิจการผู้สูงอายุ, 2563) มีการคาดการณ์ว่าแนวโน้มของผู้สูงอายุจะมากกว่าร้อยละ 20 ในปี พ.ศ. 2564 ซึ่งหมายถึงการเป็นสังคมผู้สูงอายุเต็มรูปแบบ (จิราภรณ์ การะเกตุ, 2562) สัดส่วนผู้สูงอายุที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้ ทำให้รัฐต้องเผชิญกับภาระค่าใช้จ่ายเพื่อจัดหาสวัสดิการผู้สูงอายุอย่างเพียงพอ มีผู้สูงอายุถึงร้อยละ 5.20 ที่ต้องพึ่งพาผู้อื่นในการทำกิจวัตรประจำวันของตนเอง และสัดส่วนภาวะพึ่งพิงนี้จะเพิ่มขึ้นตามอายุ (มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย, 2560) เมื่อผู้สูงอายุต้องพึ่งพาผู้อื่นทางกายแล้ว ก็อาจจะส่งผลให้ต้องพึ่งพาผู้อื่นทางเศรษฐกิจด้วย

ผู้สูงอายุจำนวนมากยังเป็นบุคคลที่ยังมีศักยภาพและมีบทบาทในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคม สามารถทำประโยชน์ให้กับส่วนรวมได้ (เฉลิมศรี เหล่าสุนทร และคณะ, 2562; ปาริชาต ญาตินิยม, 2547) องค์การอนามัยโลก ได้กำหนดกรอบแนวคิดพฤฒพลัง (Active ageing framework) ขึ้น เพื่อให้รัฐนำไปกำหนดนโยบายเพื่อส่งเสริมผู้สูงอายุให้มีศักยภาพและสร้างคุณค่าแก่ส่วนรวม (Kalache & Gatti, 2003) โดยมีองค์ประกอบหลักสามประการ คือ สุขภาพดี มีส่วนร่วมทางสังคม และมีหลักประกันความมั่นคง อย่างไรก็ตาม ตัวชี้วัดภาวะพฤฒพลังมีความหลากหลายและใช้แตกต่างกันไปในการศึกษาต่างๆ (Zaidi et al., 2017)

ประเทศไทยนำกรอบแนวคิดพฤฒพลังมาพัฒนาดัชนีพฤฒพลังผู้สูงอายุไทย (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2560) ประกอบด้วย 14 ตัวชี้วัด จากการประเมินดัชนีพฤฒพลังของผู้สูงอายุทุกจังหวัดทั่วประเทศ พบว่าระดับค่าดัชนีภาวะพฤฒิพลังของผู้สูงอายุอยู่ในระดับปานกลาง (0.685) สำหรับผู้สูงอายุจังหวัดสกลนครมีค่าดัชนีพฤฒพลังที่สูงกว่าค่าเฉลี่ย (0.725) และสูงสุดเป็นอันดับ 7 ของประเทศ แต่เมื่อพิจารณารายองค์ประกอบจะพบว่า ค่าดัชนีพฤฒพลังด้านการมีส่วนร่วมทางสังคมและด้านหลักประกันความมั่นคงยังค่อนข้างต่ำ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2560) สะท้อนให้เห็นว่าผู้สูงอายุในจังหวัดสกลนครจำนวนหนึ่งควรได้รับการส่งเสริมภาวะพฤฒพลังให้อยู่ในระดับสูงขึ้น ในขณะที่มีการศึกษาที่พบประเด็นปัญหาภาวะพฤฒพลังของผู้สูงอายุที่อยู่ในระดับต่ำและควรพัฒนา โดยเฉพาะด้านหลักประกันความมั่นคง (ยมนา ชนะนิล, พรชัย จูลเมตต์, & นัยนา พิพัฒน์วณิชชา, 2563)

การประเมินด้วยดัชนีพฤฒพลังผู้สูงอายุไทยเป็นการใช้ข้อมูลทุติยภูมิและรายงานผลภาพกว้าง ทำให้การศึกษาภาวะพฤฒพลังของผู้สูงอายุในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนครยังมีข้อจำกัดและต้องการการศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียดแต่ละองค์ประกอบย่อยที่สะท้อนบริบทของคนในพื้นที่ อันจะนำไปสู่การกำหนดแนวทางในการส่งเสริมพฤฒพลังแต่ละด้านได้อย่างเหมาะสมต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อประเมินการรับรู้ภาวะพฤฒพลังของผู้สูงอายุในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

วิธีดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัยเป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey research) แบบภาคตัดขวาง

2. ประชากร ได้แก่ ผู้สูงอายุที่ขึ้นทะเบียนผู้สูงอายุของสำนักงานสาธารณสุขอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ปี 2561 จำนวน 22,557 คน (สำนักงานสาธารณสุขอำเภอเมืองสกลนคร, 2561)

3. กลุ่มตัวอย่าง กำหนดเกณฑ์คัดเข้า คือ ผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่จริงในพื้นที่ ณ ช่วงระยะเวลาที่เก็บข้อมูล (เดือนกันยายน-เดือนตุลาคม พ.ศ. 2561) ที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป และกำหนดเกณฑ์การคัดออก คือ ผู้สูงอายุที่ป่วยติดเตียงหรือเป็นผู้ป่วยระยะท้ายตาม

ทะเบียนรายชื่อของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตรับผิดชอบ หรือผู้สูงอายุที่ไม่สามารถให้ข้อมูลได้ การกำหนดขนาดตัวอย่างใช้สูตรการคำนวณหาขนาดตัวอย่างเพื่อประมาณค่าสัดส่วนกรณีทราบจำนวนประชากร (ปุญญพัฒน์ ไชยเมล์, 2556) ดังนี้

$$n = \frac{N z^2_{\alpha/2} p(1-p)}{(e^2(N-1))+((z^2_{\alpha/2} p(1-p))}$$

การวิจัยนี้อ้างอิงค่าสัดส่วนผู้สูงอายุที่มีภาวะพฤฒพลังอยู่ในระดับสูง จากงานวิจัยของ สุภจักษ์ แสงประจักษ์สกุล (2558) คิดเป็นร้อยละ 34.2 และใช้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05 ได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 340 คน การสุ่มตัวอย่างใช้การสุ่มแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage random sampling) โดยสุ่มตำบลมา 8 ตำบลจากทั้งหมด 16 ตำบล โดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย จากนั้นผู้วิจัยสุ่มหมู่บ้านตัวอย่างตำบลละ 1-2 หมู่บ้าน ได้หมู่บ้านตัวอย่างทั้งหมด 14 หมู่บ้าน และเลือกกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุแต่ละหมู่บ้านโดยวิธีการสุ่มอย่างง่ายตามจำนวนที่คำนวณไว้ ซึ่งแบ่งตามสัดส่วนประชากรผู้สูงอายุแต่ละหมู่บ้าน

4. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรมตามกรอบแนวคิดพฤฒพลังขององค์การอนามัยโลก (Kalache & Gatti, 2003) แบบสอบถามแบ่งเป็น 2 ตอน ได้แก่ 1) ข้อมูลทั่วไป จำนวน 8 ข้อ เป็นข้อคำถามแบบเลือกตอบและเติมคำตอบ และ 2) การรับรู้ภาวะพฤฒพลัง จำนวน 38 ข้อ แบ่งเป็น 2.1) ข้อคำถามด้านสุขภาพดี 10 ข้อ 2.2) ด้านการมีส่วนร่วมทางสังคม 10 ข้อ และ 2.3) ด้านหลักประกันความมั่นคง 18 ข้อ

ข้อคำถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 4 ระดับการรับรู้ว่า ข้อความนั้นตรงกับความเป็นจริงตามที่กลุ่มตัวอย่างรับรู้มากน้อยเพียงใด คือ จริง ค่อนข้างจริง จริงบางครั้ง ไม่จริงเลย

เกณฑ์การให้คะแนนรายข้อระบุเป็นคะแนนตั้งแต่ 1-4 ที่สอดคล้องกับข้อความเชิงบวก (26 ข้อ) หรือข้อความเชิงลบ (12 ข้อ) ส่วนเกณฑ์การแบ่งระดับพฤฒพลังทั้งภาพรวมและรายองค์ประกอบ ผู้วิจัยกำหนดแบบอิงเกณฑ์ตามร้อยละของคะแนน ดังนี้

ร้อยละ 80-100 ระดับสูง
ร้อยละ 60-79 ระดับปานกลาง
น้อยกว่าร้อยละ 60 ระดับต่ำ

แบบสอบถามถูกประเมินคุณภาพด้านความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน และทดสอบความเชื่อมั่นโดยหาค่าสัมประสิทธิ์อัลฟ่าของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient, α) ในภาพรวม 38 ข้อ ได้ค่า α=0.82 และรายองค์ประกอบมีค่า α อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ด้านสุขภาพดี α=0.71 ด้านการมีส่วนร่วมทางสังคม α=0.83 ด้านหลักประกันความมั่นคง α=0.65)

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยใช้วิธีการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างทุกคนตามข้อคำถามในแบบสอบถาม โดยใช้เวลาประมาณ 20-25 นาทีต่อคน การดำเนินงานวิจัยยึดหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ตาม Declaration of Helsinki กลุ่มตัวอย่างได้รับการชี้แจงวัตถุประสงค์ ประโยชน์และผลกระทบที่อาจเกิดจากการเข้าร่วมการวิจัยทั้งโดยวาจาและเป็นลายลักษณ์อักษร เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างสามารถตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยได้โดยสมัครใจ มีการลงนามในแบบยินยอมเมื่อกลุ่มตัวอย่างสมัครใจเข้าร่วมการวิจัย นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังดำเนินการในประเด็นรักษาความลับของกลุ่มตัวอย่างทุกขั้นตอนเพื่อไม่ให้กลุ่มตัวอย่างได้รับผลกระทบใด ๆ จากการเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้

6. การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่ามัธยฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศหญิง ร้อยละ 70.20 มีอายุอยู่ในช่วง 60-69 ปี ร้อยละ 57.30 (Median=68.00 ปี

Min=60 ปี Max=97 ปี) กลุ่มตัวอย่างเกือบทั้งหมดนับถือศาสนาพุทธ ร้อยละ 92.90 จบการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษา ร้อยละ 83.50 สมรสร้อยละ 47.30 และหม้ายร้อยละ 41.70 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่ได้ประกอบอาชีพ ร้อยละ 39.20 และเป็นเกษตรกรร้อยละ 36.60 นอกนั้นเป็นข้าราชการ ค้าขายหรือรับจ้างทั่วไป กลุ่มตัวอย่างประมาณครึ่งหนึ่งมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 1,000–5,000 บาท ร้อยละ 52.60 และมีรายได้น้อยกว่า 1,000 บาท (Median=2,000 บาท Min=600 บาท Max=50,000 บาท) ร้อยละ 29.00 กลุ่มตัวอย่างประมาณครึ่งหนึ่งไม่มีโรคประจำตัว ร้อยละ 50.60

การประเมินการรับรู้ภาวะพฤฒิพลัง พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ภาวะพฤฒพลังในภาพรวมอยู่ในระดับสูง ร้อยละ 63.82 เมื่อพิจารณารายองค์ประกอบพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ภาวะพฤฒพลังแต่ละองค์ประกอบอยู่ในระดับสูงเรียงตามลำดับดังนี้ ด้านสุขภาพดี (ร้อยละ 70.58) ด้านหลักประกันความมั่นคง (ร้อยละ 67.35) และด้านการมีส่วนร่วมทางสังคม (ร้อยละ 57.65) ดังแสดงในตารางที่ 1

เมื่อพิจารณาประเด็นภาวะพฤฒพลังในแต่ละองค์ประกอบเป็นรายข้อ พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการรับรู้ในระดับมาก เช่น ด้านสุขภาพดี: “ท่านสามารถรับประทานอาหารเองได้ โดยไม่ต้องมีคนป้อน” ด้านการมีส่วนร่วมทางสังคม: “ท่านทำกิจกรรมร่วมกับคนในชุมชน เช่น บุญเบิกฟ้า บุญผะเหวด แห่ปราสาทผึ้ง บุญข้าวสาก เป็นต้น” “ท่านร่วมทำกิจกรรมกับคนในครอบครัว เช่น รับประทานอาหาร นั่งดูโทรทัศน์ เป็นต้น” และด้านหลักประกันความมั่นคง: “ท่านมีบุตรหลานหรือผู้ดูแลอย่างใกล้ชิดเมื่อเจ็บป่วย” ดังแสดงในตารางที่ 2

อย่างไรก็ตามมีบางประเด็นที่กลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ในระดับน้อย เช่น ด้านสุขภาพดี: “ท่านสามารถทำงานบ้านได้โดยไม่รู้สึกเหนื่อยจนเกินไป” ด้านการมีส่วนร่วมทางสังคม: “ท่านชักชวนให้คนในชุมชนทำกิจกรรมร่วมกัน” และด้านหลักประกันความมั่นคง: “ท่านมีรายได้เพียงพอต่อค่าใช้จ่ายของตนเอง” หรือ “ท่านมีเงินออมเก็บไว้ใช้ในยามฉุกเฉินหรือยามจำเป็น” ดังแสดงในตารางที่ 2

บทสรุปและอภิปรายผล

ข้อค้นพบจากการวิจัยนี้บ่งชี้ให้เห็นว่า กลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนครส่วนใหญ่มีการรับรู้ภาวะพฤฒพลังในภาพรวมระดับสูง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานดัชนีพฤฒพลังผู้สูงอายุไทยที่พบว่ามีค่าดัชนีอยู่ในระดับที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2560) อย่างไรก็ตาม ข้อสังเกตจากงานวิจัยนี้พบว่า ยังมีกลุ่มตัวอย่างอีกประมาณหนึ่งในสามที่มีการรับรู้ภาวะพฤฒพลังโดยรวมอยู่ในระดับปานกลางหรือต่ำ โดยความแตกต่างของระดับการรับรู้ภาวะพฤฒพลังนี้ สามารถอธิบายได้จากหลายปัจจัยที่เคยมีการศึกษามาก่อน เช่น อายุ รายได้ การมีงานทำ เป็นต้น (นงลักษณ์ บุญเยีย & นิทรา กิจธีระวุฒิวงษ์, 2563; สุภจักษ์ แสงประจักษ์สกุล, 2558)

นอกจากนี้ ผลการประเมินการรับรู้ภาวะพฤฒพลังรายองค์ประกอบทั้งสามด้านยังพบว่าแนวโน้มของระดับการรับรู้ภาวะพฤฒพลังที่กลุ่มตัวอย่างประเมินตนเองสอดคล้องกับค่าดัชนีพฤฒพลังผู้สูงอายุไทย (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2560) คือ ด้านสุขภาพดีมีค่าสูงสุด รองลงมาคือด้านหลักประกันความมั่นคง ในขณะที่ด้านการมีส่วนร่วมทางสังคมมีค่าต่ำสุด สะท้อนให้เห็นว่า การให้ผู้สูงอายุได้ประเมินตนเองสอดคล้องกับข้อมูลตัวชี้วัดที่เป็นข้อมูลทุติยภูมิ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ประเมินองค์ประกอบด้านสภาพที่เอื้อต่อการมีภาวะพฤฒพลัง จึงไม่สามารถที่พิจารณาความสอดคล้องกับค่าดัชนีพฤฒพลังในองค์ประกอบย่อยนี้ได้

สำหรับองค์ประกอบด้านสุขภาพดีนั้น การรับรู้ภาวะพฤฒพลังในรายข้อ สะท้อนให้เห็นว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่รับรู้ถึงการมีสุขภาพแข็งแรง สุขภาพจิตที่ดี และสามารถพึ่งพาตนเองได้ ยกเว้นเพียงบางประเด็น เช่น

ความวิตกกังวลใจ หรือความเครียดที่อาจมีเป็นครั้งคราว จะเห็นได้ว่า ถึงแม้กลุ่มตัวอย่างครึ่งหนึ่งจะมีสุขภาพไม่ดีหากมองในแง่การมีโรคประจำตัว แต่ก็ยังรับรู้ภาวะพฤฒพลังของตนเองในระดับสูง อย่างไรก็ตาม การประเมินองค์ประกอบด้านสุขภาพดีอาจครอบคลุมถึงประเด็นด้านอื่นๆ เช่น การมีกิจกรรมการทางกาย การออกกำลังกาย การมองเห็น การได้ยิน ที่ปรากฏในการทบทวนวรรณกรรมของมาสริน ศุกลปักษ์ & กรัณฑรัตน์ บุญช่วยธนาสิทธิ์ (2560) และอาจทำให้ผลการประเมินแตกต่างไปจากที่ปรากฏในงานวิจัยนี้ได้

เมื่อพิจารณารายข้อขององค์ประกอบด้านหลักประกันความมั่นคง จะเห็นได้ว่า ประเด็นที่กลุ่มตัวอย่างบางส่วนยังรับรู้ถึงความมั่นคงน้อย จะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทางกายภาพของบ้านและชุมชน เช่น การจัดวางสิ่งของในบ้าน การมีไฟฟ้าส่องสว่าง ความปลอดภัยบนท้องถนน นอกจากนี้ กลุ่มตัวอย่างกว่าครึ่งรับรู้ว่ารายได้ไม่เพียงพอต่อการใช้จ่าย และไม่มีเงินออมไว้ใช้ในยามฉุกเฉินหรือจำเป็น ซึ่งสนับสนุนผลการศึกษาของยมนา ชนะนิล, พรชัย จูลเมตต์, & นัยนา พิพัฒน์วณิชชา (2020) ที่พบว่ามิติด้านความมั่นคงทางการเงินมีค่าเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดของผู้สูงอายุในจังหวัดอุบลราชธานี นอกจากนี้ การศึกษาของ Worawet (2009) ระบุว่าถึงแม้ประเทศไทยจะมีนโยบายจัดหาสวัสดิการทางการเงินสำหรับผู้สูงอายุอย่างหลากหลาย แต่ความต้องการความช่วยเหลือทางการเงินจากรัฐยังคงเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยครั้งนี้ที่มีข้อสังเกตว่าผู้สูงอายุยังคงมีปัญหาเรื่องเงินออมหรือค่าใช้จ่ายที่เพียงพอแม้จะได้รับการสนับสนุนสวัสดิการจากรัฐ เช่น เบี้ยยังชีพ แล้วก็ตาม ดังนั้น การสนับสนุนเรื่องเงินออมหรือการวางแผนทางการเงินของผู้สูงอายุในระยะยาวอาจจำเป็นที่จะต้องดำเนินการตั้งแต่ก่อนเข้าสู่วัยสูงอายุ

ข้อค้นพบจากการวิจัยนี้ สะท้อนว่า องค์ประกอบด้านการมีส่วนร่วมทางสังคม อาจเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและควรได้รับการส่งเสริมมากที่สุด ทั้งนี้เพราะเป็นองค์ประกอบที่กลุ่มตัวอย่างมีภาวะพฤฒพลังในระดับสูงเพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้น กลุ่มตัวอย่างจำนวนหนึ่งสะท้อนถึงการไม่ได้ร่วมคิด สนับสนุน หรือเป็นส่วนหนึ่งการกิจกรรมในครอบครัวหรือชุมชน อันจะทำให้ผู้สูงอายุตระหนักในคุณค่าของตนเองได้ การศึกษาของ Yang, Meng, & Dong (2020) บ่งชี้ว่าการมีสุขภาพดีและการมีหลักประกันความมั่นคงนั้นส่งผลต่อความสมัครใจที่จะเข้าร่วมกิจกรรมทางสังคมของผู้สูงอายุอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การกำหนดนโยบายส่งเสริมภาวะพฤฒพลังสำหรับผู้สูงอายุในพื้นที่อาจต้องคำนึงถึงการพัฒนาทั้งสามองค์ประกอบไปพร้อมๆ กัน เช่น การศึกษาที่ผ่านมาของฐาณญา สมภู่ & คณิต เขียววิชัย (2562)

ข้อเสนอแนะหรือการนำไปใช้ประโยชน์

การส่งเสริมภาวะพฤฒพลังทั้งสามองค์ประกอบยังคงมีความจำเป็นสำหรับผู้สูงอายุในอำเภอเมืองจังหวัดสกลนคร โดยเฉพาะในผู้สูงอายุบางกลุ่มและในบางประเด็นที่ยังมีระดับการรับรู้ภาวะพฤฒพลังระดับต่ำ นอกจากนี้ งานวิจัยในครั้งต่อไป อาจวิเคราะห์หาปัจจัยที่กำหนดระดับภาวะพฤฒพลังของผู้สูงอายุในอำเภอเมืองจังหวัดสกลนคร ซึ่งจะช่วยให้ระบุปัจจัยที่สำคัญเพื่อให้กำหนดแนวทางส่งเสริมภาวะพฤฒพลังทั้งระยะสั้นและระยะยาวสำหรับผู้สูงอายุที่เหมาะกับบริบทของพื้นที่ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานสาธารณสุขอำเภอเมืองสกลนครที่อนุเคราะห์ให้ข้อมูลจำนวนผู้สูงอายุปี 2561 และอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

กรมกิจการผู้สูงอายุ. (2563). **สถิติผู้สูงอายุ.** ค้นเมื่อ 31 มกราคม 2564, จาก http://www.dop.go.th/th/know/1

จิราภรณ์ การะเกตุ (2562). **ประเทศไทยกับสังคมผู้สูงอายุ.** ค้นเมื่อ 31 มกราคม 2564, จาก https://il.mahidol.ac.th/upload/img/2019-05-15-052430.pdf

ฐาณญา สมภู่, & คณิต เขียววิชัย. (2562). การพัฒนารูปแบบการสร้างเสริมภาวะพฤฒิพลังของชมรมผู้สูงอายุไทย. **วารสารวิชาการศิลปศาสตร์ประยุกต์, 12**(1), 35-45.

นงลักษณ์ บุญเยีย, & นิทรา กิจธีระวุฒิวงษ์. (2563). ปัจจัยทำนายการสูงวัยอย่างมีพลังของผู้สูงอายุ อำเภอเมือง จังหวัดชัยนาท. **วารสารพยาบาลทหารบก, 21**(1), 224-234.

ปาริชาต ญาตินิยม. (2547). **ลักษณะภาวะพฤฒพลัง: กรณีศึกษาผู้สูงอายุไทยที่มีชื่อเสียง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาพยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต คณะพยาบาลศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปุญญพัฒน์ ไชยเมล์. (2556). การกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการวิจัยเชิงพรรณนาในงานสาธารณสุข. **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 16**(2), 9-18.

มาสริน ศุกลปักษ์, & กรัณฑรัตน์ บุญช่วยธนาสิทธิ์. (2560). องค์ประกอบด้านสุขภาพตามแนวคิดสภาวะพฤฒพลังของผู้สูงอายุ: การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ. **วารสารวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ, 11**(ฉบับพิเศษ), 53-63.

มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย. (2560). **สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2560.** กรุงเทพฯ: บโรงพิมพ์เดือนตุลา.

ยมนา ชนะนิล, พรชัย จูลเมตต์, & นัยนา พิพัฒน์วณิชชา. (2563). ภาวะพฤฒพลังของผู้สูงอายุในชุมชน จังหวัดอุบลราชธานี. **วารสารพยาบาลกระทรวงสาธารณสุข, 30**(2), 83-92.

เฉลิมศรี เหล่าสุนทร, วรรณะ รัตนพงษ์, จันจิรา วิชัย, & นาวิน พรมใจสา. (2562). กลยุทธ์การใช้ศักยภาพของผู้สูงอายุเพื่อพัฒนาชุมชนท้องถิ่นในจังหวัดเชียงราย. **วารสารมหาจุฬาวิชาการ, 6**(ฉบับพิเศษ), 124-139.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2560). **ดัชนีพฤฒพลังผู้สูงอายุไทย.** กรุงเทพฯ: เท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชั่น.

สุภจักษ์ แสงประจักษ์สกุล. (2558). ปัจจัยกำหนดระดับวุฒิวัยของผู้สูงอายุไทย. **วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์, 21**(1), 139-167.

Kalache, A., & Gatti, A. (2003). Active ageing: A policy framework. **Advances in Gerontology, 11**, 7-18.

Worawet, S. (2009). Poverty and financial security of the elderly in Thailand. **Ageing International, 33**(1), 50-61.

Yang, Y., Meng, Y., & Dong, P. (2020). Health, security and participation: A structural relationship modeling among the three pillars of active ageing in China. **International Journal of Environmental Research and Public Health, 7**(19), 7255.

Zaidi, A., Gasior, K., Zolyomi, E., Schmidt, A., Rodrigues, R., & Marin, B. (2017). Measuring active and healthy ageing in Europe. **Journal of European Social Policy, 27**(2), 138-157.

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามระดับภาวะพฤฒพลังในภาพรวมและรายองค์ประกอบ (n = 340)

ภาวะพฤฒพลัง	จำนวน (ร้อยละ)		
	ระดับต่ำ	ระดับปานกลาง	ระดับสูง
ภาวะพฤฒพลังในภาพรวม (ช่วงคะแนน 38-152)	4	119	217
($\bar{X}$ =123.74 S.D.=13.09)	(1.17)	(35.00)	(63.82)
รายองค์ประกอบ			
ด้านสุขภาพดี (ช่วงคะแนน 10-40)	12	88	240
($\bar{X}$ =33.42 S.D.=4.67)	(3.53)	(25.88)	(70.58)
ด้านความสามารถในการดำเนินชีวิตอย่างมีส่วนร่วม (ช่วงคะแนน 10-40)	52	92	196
($\bar{X}$ =31.17 S.D.=6.50)	(15.29)	(27.06)	(57.65)
ด้านหลักประกันและความมั่นคง (ช่วงคะแนน 18-72)	6	105	229
($\bar{X}$ =59.15 S.D.=6.44)	(1.76)	(30.88)	(67.35)

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามระดับการรับรู้ภาวะพฤฒพลังเป็นรายข้อ (n=340)

ข้อความ	จำนวน (ร้อยละ)			
	จริง	ค่อนข้างจริง	จริงบางครั้ง	ไม่จริง
องค์ประกอบที่ 1 ด้านสุขภาพดี				
1. ท่านรู้สึกว่าร่างกายของท่านมีกำลังในการทำงานอยู่เสมอ	132	72	87	49
	(38.82)	(21.18)	(25.59)	(14.41)
2. ท่านรู้สึกว่าตนเองอ่อนแอ ไม่แข็งแรงเท่ากับคนอื่นที่อายุใกล้เคียงกัน *	43	48	92	157
	(12.65)	(14.12)	(27.06)	(46.18)
3. ท่านสามารถทำงานบ้านได้โดยไม่รู้สึกเหนื่อยจนเกินไป	104	80	94	61
	(30.59)	(23.53)	(27.65)	(17.94)
4. ร่างกายของท่านเจ็บป่วยจนเป็นอุปสรรคในการทำกิจกรรมต่างๆ *	40	48	102	150
	(11.76)	(14.12)	(30.00)	(44.12)
5. ท่านสามารถลุก ยืน เดินไปมาขึ้นหรือลงบันไดได้เอง โดยไม่ต้องมีคนช่วยพยุงหรือแบกหาม	306	11	6	17
	(90.00)	(3.24)	(1.76)	(5.00)
6. ท่านทำกิจวัตรประจำวัน เช่น อาบน้ำ ล้างหน้า แปรงฟัน ใส่เสื้อผ้าได้ด้วยตนเอง โดยไม่ต้องพึ่งพาความช่วยเหลือจากคนอื่น	329	4	2	5
	(96.76)	(1.18)	(0.59)	(1.47)
7. ท่านสามารถรับประทานอาหารได้เอง โดยไม่ต้องมีคนป้อน	333	3	1	3
	(97.94)	(0.88)	(0.29)	(0.88)
8. ท่านรู้สึกผ่อนคลาย ไม่มีความวิตกกังวลหรือเครียดจนเกินไป	179	64	57	40
	(52.65)	(18.82)	(16.76)	(11.76)
9. ท่านรู้สึกสดชื่นแจ่มใสอยู่เสมอ	208	74	48	10
	(61.18)	(21.76)	(14.12)	(2.94)
10. ท่านรู้สึกโดดเดี่ยว เหงา ถูกทอดทิ้งให้อยู่ลำพังคนเดียว *	20	24	40	256
	(5.88)	(7.06)	(11.76)	(75.29)
องค์ประกอบที่ 2 ด้านการมีส่วนร่วมทางสังคม				
1. ท่านช่วยแสดงความคิดเห็นหรือหาทางออกเมื่อครอบครัวมีปัญหา	141	105	52	42
	(41.47)	(30.88)	(15.29)	(12.35)

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามระดับการรับรู้ภาวะพฤฒพลังเป็นรายข้อ (n=340) (ต่อ)

ข้อความ	จำนวน (ร้อยละ)			
	จริง	ค่อนข้างจริง	จริงบางครั้ง	ไม่จริง
องค์ประกอบที่ 2 ด้านการมีส่วนร่วมทางสังคม (ต่อ)				
2. ท่านร่วมกันพูดคุยแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารกับคนในครอบครัว	189 (55.59)	87 (25.59)	36 (10.59)	28 (8.24)
3. ท่านเป็นกำลังสำคัญในการดูแลหรือเป็นที่พึ่งพาของคนในครอบครัว	186 (54.71)	69 (20.29)	42 (12.35)	43 (12.65)
4. ท่านคอยกระตุ้นหรือชักชวนให้คนในครอบครัวทำกิจกรรมร่วมกัน	137 (40.29)	96 (28.24)	56 (16.47)	51 (15.00)
5. ท่านร่วมทำกิจกรรมกับคนในครอบครัว เช่น รับประทานอาหาร นั่งดูโทรทัศน์ เป็นต้น	238 (70.01)	52 (15.29)	35 (10.29)	15 4.41)
6. ท่านช่วยแสดงความคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาหรือพัฒนาชุมชน	159 (46.76)	70 (20.59)	61 (17.94)	50 (14.71)
7. ท่านร่วมพูดคุยแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารต่างๆ ร่วมกับคนในชุมชน	179 (52.65)	90 (26.47)	43 (12.65)	28 (8.24)
8. ท่านชักชวนให้คนในชุมชนทำกิจกรรมร่วมกัน	115 (33.82)	69 (20.29)	52 (15.29)	104 (30.59)
9. ท่านมีส่วนร่วมในการพัฒนาชุมชนให้มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น	144 42.35	82 24.12	62 18.24	52 15.29
10. ท่านทำกิจกรรมร่วมกับคนในชุมชน เช่น บุญเบิกฟ้า บุญผะเหวด แห่ปราสาทผึ้ง บุญข้าวสาก เป็นต้น	248 (72.94)	43 (12.65)	24 (7.06)	25 (7.35)
องค์ประกอบที่ 3 ด้านหลักประกันความมั่นคง				
1. ท่านรู้สึกกลัวหรือระแวงว่าจะโดนคนทำร้ายร่างกายเมื่อต้องเดินคนเดียวในยามกลางคืน *	4 (1.18)	34 (10.00)	34 (10.00)	268 (78.82)
2. ในครอบครัวของท่านมีการใช้ความรุนแรงทำร้ายร่างกายทุบตีกัน *	2 (0.59)	4 (1.18)	7 (2.06)	327 (96.18)
3. ท่านรู้สึกถูกรุกล้ำความเป็นส่วนตัว เช่น ถูกลักลอบเข้าบ้าน เพื่อนบ้านส่งเสียงดังเอะอะในยามกลางคืน เป็นต้น *	11 (3.24)	20 (5.88)	40 (11.76)	269 (79.12)
4. ชุมชนของท่านมีความเสี่ยงต่อภัยธรรมชาติต่างๆ เช่น น้ำท่วม ภัยแล้ง ไฟไหม้ เป็นต้น*	13 (3.82)	41 (12.06)	78 (22.94)	208 (61.18)
5. บ้านเรือนของท่านมีของวางเกะกะทำให้ท่านเสี่ยงต่อการสะดุดหกล้ม *	28 (8.24)	53 (15.59)	93 (27.35)	166 (48.82)
6. หนทางในชุมชนของท่านมีหลุม บ่อ ที่ทำให้ท่านเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ *	30 (8.82)	60 (17.65)	96 (28.24)	154 (45.29)
7. ชุมชนของท่านไม่มีไฟส่องสว่างข้างถนน หรือไฟส่องสว่างข้างถนนไม่เพียงพอ *	63 (18.53)	66 (19.41)	68 (20.00)	143 (42.06)
8. ท่านมีรายได้เพียงพอต่อค่าใช้จ่ายของตนเอง	83 (24.41)	74 (21.76)	94 (27.65)	89 (26.18)
9. ท่านมีเงินออมเก็บไว้ใช้ในยามฉุกเฉินหรือยามจำเป็น	120 (35.29)	48 (14.12)	20 (5.88)	152 (44.71)

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามระดับการรับรู้ภาวะพฤฒพลังเป็นรายข้อ (n=340) (ต่อ)

ข้อความ	จำนวน (ร้อยละ)			
	จริง	ค่อนข้างจริง	จริงบางครั้ง	ไม่จริง
10. ท่านสามารถใช้สิทธิที่ท่านมีได้อย่างสะดวก เช่นประกันสุขภาพสิทธิบัตรทอง ประกันสังคม สิทธิทหารผ่านศึก เป็นต้น	244 (71.76)	75 (22.06)	12 (3.53)	9 (2.65)
11. ท่านได้รับบริการส่งเสริมสุขภาพที่เหมาะสม เช่น กิจกรรมออกกำลังกาย ให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพ เป็นต้น	208 (61.18)	22 (6.47)	80 (23.53)	30 (8.82)
12. ท่านได้รับบริการป้องกันปัญหาสุขภาพที่เหมาะสม เช่น การฉีดวัคซีนไข้หวัดใหญ่ การตรวจคัดกรองมะเร็ง เบาหวาน ความดันโลหิต	234 (68.82)	53 (15.59)	28 (8.24)	25 (7.35)
13. ท่านมีความพอใจในสวัสดิการผู้สูงอายุที่ได้รับ เช่น เบี้ยยังชีพผู้สูงอายุ บำเหน็จบำนาญ เป็นต้น	228 (67.06)	68 (20.00)	22 (6.47)	21 (6.18)
14. ท่านรู้สึกว่าเวลาไปรับบริการด้านสุขภาพที่สถานพยาบาลใกล้บ้านเจ้าหน้าที่ให้ความสนใจคนอื่นมากกว่าท่าน	30 (8.82)	30 (8.82)	37 (10.88)	243 (71.47)
15. ชุมชนที่ท่านอาศัยอยู่มีความห่างไกลจากสถานพยาบาล	43 (12.65)	45 (13.24)	53 (15.59)	199 (58.53)
16. ท่านได้รับบริการในช่องทางด่วนในโรงพยาบาลของรัฐในฐานะที่เป็นผู้สูงอายุ	128 (37.65)	72 (21.18)	51 (15.00)	89 (26.18)
17. ท่านมีบุตร หลาน หรือผู้ดูแลอย่างใกล้ชิดเมื่อเจ็บป่วย	279 (82.06)	45 (13.24)	13 (3.82)	3 (0.88)
18. ท่านสามารถร้องขอเพื่อนบ้านหรือคนในชุมชนให้ช่วยเหลือท่าน ได้ในยามจำเป็น	272 (80.00)	45 (13.24)	11 (3.24)	12 (3.53)

หมายเหตุ * *ข้อความเชิงลบ*

0.6

Sci2.3-27

นิพนธ์ต้นฉบับ

พฤติกรรมและแรงจูงใจในการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครของผู้สูงอายุ ในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

นำพร อินสิน*, จรินทร์ทิพย์ ชมชายผล*, อภิญญา มะลิต้น**, อภิยาพร ชมภูจันทร์**, น้ำฝน วงอินตา**, ธนกร สิงห์สุดี**

*สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

**หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

numporn@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงสำรวจนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจพฤติกรรมและแรงจูงใจในการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครของผู้สูงอายุในเขตอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร กลุ่มตัวอย่างจำนวน 393 คน ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอนจากผู้สูงอายุที่อยู่อาศัยในพื้นที่และอยู่ในทะเบียนของสำนักงานสาธารณสุขอำเภอเมืองสกลนคร ปี 2562 เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มัธยฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด

ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นหญิง ร้อยละ 59.0 อายุ 60-69 ปี ร้อยละ 63.4 สถานภาพสมรส ร้อยละ 68.2 และมีอาชีพหลักเป็นเกษตรกร ร้อยละ 64.9 กลุ่มตัวอย่างเคยเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครในหนึ่งปีที่ผ่านมา ร้อยละ 86.8 ค่ามัธยฐานของระยะเวลาการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครอยู่ที่ 2 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ (ค่าต่ำสุด = 1 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ และค่าสูงสุด = 8 ชั่วโมงต่อสัปดาห์) แรงจูงใจภายใน เป็นแรงจูงใจระดับสูงที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัคร ได้แก่ การเห็นคุณค่าภายในตนเองและการเห็นอกเห็นใจผู้อื่น ในขณะที่แรงจูงใจภายนอก ได้แก่ การรับรู้ประโยชน์ที่ตนได้รับและการมีเครือข่ายทางสังคม เป็นแรงจูงใจระดับปานกลาง

การสร้างแรงจูงใจภายในและภายนอกอาจใช้เป็นกลยุทธ์ที่ส่งเสริมให้ผู้สูงอายุเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครมากขึ้นได้ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุที่ยังไม่เคยเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัคร

คำสำคัญ: กิจกรรมอาสาสมัคร, ผู้สูงอายุ, พฤฒิพลัง

Article info:
Received: Jan 28, 2021
Revised: Mar 11, 2021
Accepted: Mar 22, 2021

Faculty of Public Health Ubon Ratchathani Rajabhat University

Original article

Volunteering behaviors and motivation on volunteering of older adults in Amphoe Mueang Sakon Nakhon

Numporn Insin*✉, Jarinthip Chomchaipol*, Apinya Maliton**, Apiyaporn Chompoochan**, Namfon Wonginta**, Thanakorn Singsudee**
*Health Science Program, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Sakon Nakhon University
**Bachelor of Science in Public Health, Sakon Nakhon Rajabhat University
✉ numporn@snru.ac.th

Abstract

This survey research purposed to explore the volunteering engagement and motivations on volunteering in older adults in Amphoe Mueang Sakon Nakhon. Older adults, who were currently living and were in the list of Office of Mueang District Public Health in 2019, were recruited to be the samples. 393 older adults were selected by using multi-stage random sampling. Data collection was done by questionnaire. Data was analyzed by descriptive statistics including frequency, percentage, mean, standard deviation, median, minimum and maximum.

The findings revealed that most of the samples were female (59.0%), age 60-69 years old (63.4%), married (68.2%) and most of them were farmers (64.9%). 86.8% of the samples had actively participated volunteering activities within a year. The median of duration for volunteering was 2 hours per week (min =1, and max = 8 hours per week). Intrinsic motivations for volunteering including self-esteem and empathy were at high level. Meanwhile, extrinsic motivations including perceived benefits and social connectedness were at moderate level.

Either intrinsic and extrinsic motivations can be applied to promote volunteering behaviors in older adults, especially those who had never engaged in volunteering activity.

Keywords: Volunteering, older adults, active ageing

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
Ubon Ratchathani Rajabhat University

บทนำ

องค์การสหประชาชาติได้คาดการณ์ไว้ว่าในปี ค.ศ. 2040 ประชากรผู้สูงอายุโลกจะมีจำนวน 1,738 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 19.0 ของประชากรโลกทั้งหมด ในปี พ.ศ.2562 ประเทศไทยมีผู้สูงอายุประมาณ 11.6 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 17.5 ของประชากรทั้งหมด (มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย, 2562) เมื่อผู้สูงอายุไทยมีอายุยืนยาวขึ้น ส่งผลให้ประชากรวัยแรงงานต้องรับภาระดูแลผู้สูงอายุในครอบครัวมากขึ้น ในขณะเดียวกัน รัฐต้องรับภาระในการจัดหาสวัสดิการเพื่อรองรับจำนวนผู้สูงอายุที่มากขึ้นด้วย

วัยสูงอายุไม่ได้เป็นเพียงแค่วัยแห่งภาวะพึ่งพิงเท่านั้น เพราะยังมีผู้สูงอายุจำนวนมากที่มีสุขภาพดีทั้งร่างกายและจิตใจ มีความรู้ความสามารถ มีประสบการณ์ตลอดจนมีทักษะต่าง ๆ ในการช่วยเหลือสังคมได้ จึงได้มีการนิยามผู้สูงอายุเหล่านี้ว่าเป็นผู้ที่มีภาวะ “Active ageing หรือ พฤฒิพลัง” (Kalache & Gatti, 2003) ในปี ค.ศ. 2002 องค์การอนามัยโลกได้กำหนด Active Ageing Framework ไว้เป็นแนวทางให้สังคมโลกนำไปประยุกต์ใช้เพื่อส่งเสริมภาวะพฤฒิพลังของสูงอายุในสังคมให้สามารถพึ่งพาดูแลตนเอง และสามารถทำประโยชน์แก่ครอบครัว และสังคมได้อีกด้วย (Kalache & Gatti, 2003) กรอบแนวคิดพฤฒิพลังได้ระบุเป้าหมายของผู้สูงอายุที่มีภาวะพฤฒิพลังไว้สามประการหลักด้วยกัน ได้แก่ 1) สุขภาพดี 2) มีส่วนร่วมทางสังคม และ 3) มีหลักประกันความมั่นคงในชีวิต สำหรับประเทศไทยก็มีการกำหนดนโยบายด้านผู้สูงอายุที่สอดคล้องกับแนวคิดภาวะพฤฒิพลังนี้เช่นกัน โดยปรากฏในแผนพัฒนาผู้สูงอายุแห่งชาติฉบับที่ 2 (พ.ศ.2545-2564) ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 พ.ศ.2552 ที่มีวิสัยทัศน์ประการหนึ่งว่า “ผู้สูงอายุเป็นบุคคลที่มีประโยชน์ต่อสังคมและสมควรให้คงคุณค่าไว้ให้นานที่สุด” (คณะกรรมการผู้สูงอายุแห่งชาติ กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์, 2553)

จากรายงานดัชนีพฤฒิพลังผู้สูงอายุไทยปี พ.ศ. 2560 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2560) พบว่า ดัชนีพฤฒิพลังผู้สูงอายุไทยมีค่าเท่ากับ 0.685 (ช่วงคะแนน 0-1) ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง สำหรับดัชนีแยกรายองค์ประกอบพบว่าด้านสุขภาพมีค่าสูงสุด (0.797) รองลงมาคือ ด้านหลักประกันความมั่นคง (0.751) ในขณะที่ด้านการมีส่วนร่วมทางสังคมมีค่าน้อยที่สุด (0.502) ผลรายงานนี้สะท้อนให้สังคมไทยได้ตระหนักว่า ผู้สูงอายุไทยยังต้องการการสนับสนุนให้มีภาวะพฤฒิพลังสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสนับสนุนให้มีส่วนร่วมทางสังคม เมื่อผู้สูงอายุมีภาวะพฤฒิพลังสูงขึ้นแล้ว จะได้นำศักยภาพที่มีมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อครอบครัวและสังคม นอกจากนี้ ยังทำให้ผู้สูงอายุเพิ่มการรับรู้คุณค่าของตนเองและเป็นการส่งเสริมคุณภาพชีวิตในระยะยาวอีกด้วย

การเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัคร (Volunteering activity) เป็นรูปแบบการมีส่วนร่วมทางสังคมที่ปรากฏในสังคมไทยรูปแบบหนึ่ง กิจกรรมอาสาสมัครเป็นกิจกรรมที่ต้องสละเวลาของตนเองเพื่อมุ่งทำประโยชน์แก่ผู้อื่นและสังคมโดยไม่ได้รับค่าตอบแทน (Bonsdorff & Rantanen, 2011) กิจกรรมอาสาสมัครมักจะเป็นกิจกรรมที่ทำให้บุคคลได้ออกไปพบปะเพื่อนและทำความรู้จักผู้คนที่หลากหลาย จากการวิจัยที่ผ่านมาสะท้อนให้เห็นว่า การที่ผู้สูงอายุเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครนั้นส่งผลดีต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิต จากการทบทวนวรรณกรรมของ Bonsdorff & Rantanen (2011) ค้นพบว่า การเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครมีผลทำให้ผู้สูงอายุมีการรับรู้ภาวะสุขภาพตนเอง การทำงานและเคลื่อนไหวร่างกาย ตลอดจนความพึงพอใจในชีวิตสูงขึ้น และยังช่วยลดภาวะซึมเศร้าได้อีกด้วย นอกจากนี้ การทำกิจกรรมอาสาสมัครทำให้ผู้สูงอายุมีความผาสุกเพิ่มขึ้น (Morrow-Morrow-Howell, Hinterlong, Rozario & Tang, 2003; Pavelek, 2013) และรับรู้ในคุณค่าของตนเองมากขึ้น (Greenfield & Marks, 2004) อย่างมีนัยสำคัญ ผู้สูงอายุที่เข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครเป็นกิจวัตรยังมีอัตราตายลดลงเมื่อเทียบกับผู้สูงอายุที่ไม่เข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครอีกด้วย (Musick, Herzog & House, 1999) ดังนั้น หากสังคมสนับสนุนหรือกระตุ้นให้ผู้สูงอายุออกมาทำกิจกรรมอาสาสมัครมากขึ้น ไม่เพียงแค่ช่วยส่งเสริมภาวะพฤฒิพลังเท่านั้น แต่น่าจะส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้สูงอายุในระยะยาวอีกด้วย

การศึกษาที่ผ่านมานั้น มีการศึกษาที่เกี่ยวกับการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครในกลุ่มวัยต่าง ๆ เช่น กลุ่มวัยรุ่น (กฤตยา ทัพวงษ์, 2552) และวัยผู้ใหญ่ (กนกวรรณ นิ่มทัศนศิริ, ญาณิศา เผื่อนเพาะ, ธนยศ ดอกดวง และพิทักษ์ ศิริวงศ์, 2557) อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่เจาะจงในกลุ่มผู้สูงอายุไทยยังมีจำกัด ดังนั้น การศึกษาพฤติกรรมการเข้า

ร่วมกิจกรรมอาสาสมัครของผู้สูงอายุ จะเป็นข้อค้นพบที่สำคัญที่สะท้อนให้สังคมเห็นถึงสถานการณ์ปัจจุบันและอาจชี้แนะแนวทางในการส่งเสริมกิจกรรมอาสาสมัครสำหรับผู้สูงอายุไทยได้ การศึกษาของ Pavelek (2013) และ การศึกษาของ Rouse & Clawson (1992) พบว่า มีแรงจูงใจที่ทำให้ผู้สูงอายุเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครอย่างหลากหลาย และแรงจูงใจที่สำคัญ คือ ความภาคภูมิใจและการเห็นคุณค่าในตนเอง และความสนุกสนานที่จะเรียนรู้สิ่งใหม่ ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับแรงจูงใจในการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครของผู้สูงอายุไทยจึงน่าจะช่วยกำหนดกลยุทธ์ที่เหมาะสมเพื่อส่งเสริมการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครให้มากขึ้นได้

อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร มีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป ร้อยละ 12.98 (สำนักงานสาธารณสุขอำเภอเมืองสกลนคร, 2561) จากรายงานพบว่า ผู้สูงอายุในพื้นที่จำนวนหนึ่งเป็นผู้ที่มีศักยภาพ และบางครั้งมีการทำกิจกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อสังคมท้องถิ่นที่อาศัยอยู่ แต่ก็ยังมีผู้สูงอายุอีกจำนวนมากที่ไม่ได้เข้าร่วมกิจกรรมทางสังคม หรือกิจกรรมอาสาสมัครใด และขาดโอกาสที่จะช่วยเหลือสังคมตามแนวทางที่ตนมีศักยภาพ (กองสวัสดิการสังคม เทศบาลนครสกลนคร, 2561) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสำรวจพฤติกรรมการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครและแรงจูงใจในการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครของผู้สูงอายุในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบกิจกรรมหรือจัดหาสิ่งสนับสนุนให้ผู้สูงอายุมีส่วนร่วมในกิจกรรมอาสาสมัครมากขึ้น ทั้งนี้ การเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครจะทำให้ผู้สูงอายุเห็นคุณค่าในตนเอง ส่งผลให้สังคมเป็นสังคมผู้สูงอายุที่มีภาวะพฤฒิพลังต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อสำรวจพฤติกรรมการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครและแรงจูงใจในการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครของผู้สูงอายุในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey research) แบบภาคตัดขวาง โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ประชากร ได้แก่ ผู้สูงอายุขึ้นทะเบียนผู้สูงอายุของสำนักงานสาธารณสุขอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ปี 2562 จำนวน 22,835 คน (สำนักงานสาธารณสุขอำเภอเมืองสกลนคร, 2561)

2. กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผู้สูงอายุที่มีขึ้นทะเบียนผู้สูงอายุของสำนักงานสาธารณสุขอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ปี 2562 โดยกำหนดเกณฑ์คัดเข้าคือ ผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่จริงในพื้นที่ ณ ช่วงระยะเวลาที่เก็บข้อมูล (เดือนกันยายน – เดือนตุลาคม พ.ศ.2562) และกำหนดเกณฑ์การคัดออก เมื่อเป็นผู้สูงอายุที่ป่วยติดเตียงหรือเป็นผู้ป่วยระยะท้าย โดยการกำหนดขนาดตัวอย่างจากการคำนวณโดยใช้สูตรการคำนวณหาขนาดตัวอย่างเพื่อประมาณค่าสัดส่วนกรณีทราบจำนวนประชากร (ปุญญพัฒน์ ไชยเมล์, 2556) ดังนี้

$$n = \frac{N z^2_{\alpha/2} p(1-p)}{(e^2(N-1))+((z^2_{\alpha/2} p(1-p))}$$

การวิจัยนี้อ้างอิงค่าสัดส่วนผู้สูงอายุที่เข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครจากงานวิจัยของ Morrow-Howell *et al.* (2003) คิดเป็นร้อยละ 34.5 และใช้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05 จำนวนกลุ่มตัวอย่างขั้นต่ำที่ได้จากการคำนวณจะบวกเพิ่มอีกร้อยละ 10 ได้เป็นขนาดกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 393 คน การสุ่มตัวอย่างใช้การสุ่มแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage random sampling) โดยแบ่งกลุ่มผู้สูงอายุตามตำบล จำนวน 16 ตำบล แล้วสุ่มอย่างง่ายให้ได้ตำบลตัวอย่างมาจำนวน 8 ตำบล หลังจากนั้น ผู้วิจัยคำนวณจำนวนหมู่บ้านตัวอย่างตามสัดส่วนจำนวนประชากรผู้สูงอายุได้ตำบลละ 1-2 หมู่บ้าน เลือกหมู่บ้านโดยการสุ่มอย่างง่าย และเลือกกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุแต่ละหมู่บ้านโดยการสุ่มอย่างง่ายตามรายชื่อตามจำนวนที่คำนวณไว้

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรม แบ่งเป็น 3 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพสมรส ระดับการศึกษา อาชีพหลัก และโรคประจำตัว เป็นข้อคำถามเป็นแบบเลือกตอบและเติมคำตอบ

ตอนที่ 2 พฤติกรรมการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัคร ได้แก่ ประสบการณ์การเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครในรอบหนึ่งปีที่ผ่านมา จำนวนชั่วโมงที่เข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครต่อสัปดาห์ และรูปแบบกิจกรรมอาสาสมัครที่เข้าร่วม เป็นข้อคำถามเป็นแบบเลือกตอบและเติมคำตอบจำนวน 3 ข้อ

ตอนที่ 3 แรงจูงใจในการทำกิจกรรมอาสาสมัคร เป็นข้อคำถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 4 ระดับ เพื่อให้ประเมินความรู้สึกของตนเกี่ยวกับแรงจูงใจด้านต่าง ๆ ที่ส่งผลหรืออาจส่งผลต่อการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัคร มาตราส่วนประมาณค่ากำหนดตั้งแต่ จริง (4 คะแนน) ถึง ไม่จริงเลย (1 คะแนน) ข้อคำถามมีจำนวน 15 ข้อ ประกอบด้วย การเห็นคุณค่าภายในตนเอง จำนวน 3 ข้อ การเห็นอกเห็นใจผู้อื่น จำนวน 3 ข้อ การรับรู้ประโยชน์ที่ตนได้รับ จำนวน 6 ข้อ เครือข่ายทางสังคม จำนวน 3 ข้อ ระดับแรงจูงใจเป็น 3 ระดับโดยใช้การแบ่งแบบอันตรภาคชั้น ดังนี้ คะแนน 1.00 – 1.75 หมายถึง มีแรงจูงใจระดับต่ำมาก คะแนน 1.76 – 2.50 หมายถึง มีแรงจูงใจระดับต่ำ คะแนน 2.51 – 3.25 หมายถึง มีแรงจูงใจระดับปานกลาง และคะแนน 3.26 – 4.00 หมายถึง มีแรงจูงใจระดับสูง

4. การตรวจสอบเครื่องมือวิจัย มีการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาด้วยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) เมื่อทบทวนและปรับแก้ไข (ร่าง) แบบสอบถามตามผู้เชี่ยวชาญแล้ว คณะผู้วิจัยจึงนำ (ร่าง) แบบสอบถามไปทดลองเก็บข้อมูลในกลุ่มผู้สูงอายุ 30 คน ในอำเภออื่นใกล้เคียงเพื่อทดสอบความเชื่อมั่นของข้อคำถามเกี่ยวกับแรงจูงใจในการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัคร ได้ค่าสัมประสิทธิ์อัลฟ่าของครอนบาคเท่ากับ 0.76

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิจัยนี้ยึดหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ตาม Declaration of Helsinki การเก็บรวบรวมข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างเป็นไปตามความสมัครใจ โดยคณะผู้วิจัยมีการชี้แจงข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัย ประโยชน์และผลกระทบของงานวิจัยที่อาจเกิดขึ้น เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างสามารถตัดสินใจเข้าร่วมหรือปฏิเสธที่จะเข้าร่วมการวิจัยได้โดยอิสระ คณะผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยตามแบบสอบถามทีละข้อ ใช้เวลาประมาณ 30-40 นาทีต่อคน หากมีข้อคำถามใดที่ผู้ตอบไม่สะดวกใจ หรืออึดอัดใจ สามารถข้ามข้อคำถามนั้นได้ และสามารถยุติการตอบแบบสอบถามได้ทันทีตามความประสงค์ของกลุ่มตัวอย่าง กระบวนการจัดเก็บข้อมูลส่วนตัวเป็นความลับทั้งระหว่างการวิจัยและการนำเสนอรายงานการวิจัย ไฟล์ข้อมูลและแบบสอบถามจะเก็บไว้โดยมีเพียงคณะผู้วิจัยเท่านั้นที่เข้าถึงข้อมูลได้

6. การวิเคราะห์ข้อมูล คณะผู้วิจัยตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบสอบถามทุกฉบับ แล้วนำไปวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่ามัธยฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด

บทสรุปและอภิปรายผล

กลุ่มตัวอย่างจำนวน 393 คน ส่วนใหญ่เป็นหญิง คิดเป็นร้อยละ 59.0 ค่ามัธยฐานของอายุกับ 67 ปี (อายุต่ำสุด 60 ปี และอายุสูงสุดเท่ากับ 98 ปี) ส่วนใหญ่มีสถานภาพสมรสคิดเป็นร้อยละ 68.20 เป็นหม้าย/หย่า หรือแยกกันอยู่ คิดเป็นร้อยละ 29.5 ที่เหลือเป็นโสด คิดเป็นร้อยละ 2.30 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการศึกษาสูงสุดในระดับการศึกษาประถมศึกษาคิดเป็นร้อยละ 93.6 และประกอบอาชีพเป็นเกษตรกรคิดเป็นร้อยละ 64.1 เกษียณอายุราชการ 24.5 ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว 6.3 นอกนั้นประกอบอาชีพ รับจ้างทั่วไป กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่มีโรคประจำตัว คิดเป็นร้อยละ 66.9 และมีโรคประจำตัวคิดเป็นร้อยละ 33.1 กลุ่มที่มีโรคประจำตัวพบว่าเป็นโรคเรื้อรัง ได้แก่ เบาหวาน ความดันโลหิตสูง คิดเป็นร้อยละ 89.3

พฤติกรรมการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัคร พบว่า กลุ่มตัวอย่างได้เข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครอย่างน้อยหนึ่งครั้งในช่วง 1 ปีที่ผ่านมา คิดเป็นร้อยละ 86.8 ส่วนใหญ่ใช้เวลาในการทำกิจกรรมการอาสาสมัคร 2 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ (น้อยที่สุด 1 ชั่วโมง และมากที่สุด 8 ชั่วโมง) พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครที่วัด โบสถ์ หรือศาสนสถานที่ตนเองเคารพนับถือ คิดเป็นร้อยละ 96.77 และร่วมกิจกรรมอาสาสมัครหรืองานต่าง ๆ ที่จัดในชุมชนที่ท่านอยู่อาศัย จำนวนร้อยละ 94.13 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

แรงจูงใจในการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า กลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมหรือน่าจะเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครจากแรงจูงใจภายในในระดับสูงและ

ปานกลาง ได้แก่ แรงจูงใจด้านการเห็นคุณค่าภายในตนเป็นแรงจูงใจระดับสูง เช่น การเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครทำให้ตนเองมีคุณค่ามากขึ้น ($\bar{X}$ = 3.75, S.D. = 0.60) ทำให้มองตนเองในดีมากขึ้น ($\bar{X}$ = 3.66, S.D. = 0.61) และแรงจูงใจด้านการเห็นอกเห็นใจผู้อื่น เช่น การเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครทำให้รู้สึกว่าการช่วยเหลือผู้อื่นเป็นสิ่งสำคัญ ($\bar{X}$ = 3.81, S.D. = 0.47) รู้สึกสงสารและอยากช่วยเหลือผู้อื่น ($\bar{X}$ = 3.79., S.D. = 0.50) และรู้สึกเห็นอกเห็นใจคนที่กำลังลำบาก ($\bar{X}$ = 3.81, S.D. = 0.45)

ส่วนแรงจูงใจภายนอก ผลการวิจัยพบว่า เป็นแรงจูงใจที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครในระดับสูง ได้แก่ แรงจูงใจด้านการรับรู้ประโยชน์ที่ตนเองได้รับ เช่น รู้สึกว่าการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครทำให้ได้คลายเครียดหรือลืมความกังวลเกี่ยวกับปัญหาของตนเอง ($\bar{X}$ = 3.62., S.D. = 0.64) และระดับปานกลาง เช่น ได้ประสบการณ์และเรียนรู้เรื่องใหม่ ๆ ($\bar{X}$ = 3.23., S.D. = 0.69) และแรงจูงใจด้านการมีเครือข่ายทางสังคมอยู่ในระดับปานกลาง เช่น การมีคนรู้จักบอกเล่าประสบการณ์ที่น่าสนใจการทำกิจกรรมอาสาสมัครให้ฟังเป็นการจูงใจให้เข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครได้ ($\bar{X}$ = 3.22., S.D. = 0.96) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ผลการวิจัยครั้งนี้ จะเห็นได้ว่ากลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุในอำเภอเมืองจังหวัดสกลนคร เคยมีประสบการณ์การเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครในรอบหนึ่งปีที่ผ่านมาถึงร้อยละ 86.8 นับได้ว่าผู้สูงอายุกลุ่มนี้มีส่วนร่วมในสังคมตามมุมมองแนวคิดพฤฒิพลัง แต่อย่างไรก็ตาม รายงานดัชนีภาวะพฤฒิพลังผู้สูงอายุไทย พบว่า ผู้สูงอายุในจังหวัดสกลนคร มีค่าดัชนีการมีส่วนร่วมอยู่ที่ 0.571 จัดเป็นระดับปานกลางเท่านั้น การที่ข้อค้นพบไม่เป็นไปในแนวทางเดียวกันอาจอธิบายได้ว่าตัวชี้วัดในดัชนีพฤฒิพลังผู้สูงอายุไทยด้านการมีส่วนร่วมไม่ได้บรรจุเรื่องของการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครเข้าไว้ด้วย มีเพียงประเด็นด้านการมีงานทำ ด้านการเข้าร่วมกิจกรรมชมรมผู้สูงอายุ ด้านการเข้าร่วมกิจกรรมของชุมชนหรือหมู่บ้าน และด้านการให้ความช่วยเหลือดูแลสมาชิกในครัวเรือนเท่านั้น

การศึกษาที่ผ่านมาในสหรัฐอเมริกา พบว่า ผู้สูงอายุเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครเพียงร้อยละ 36.0 (Greenfield and Marks, 2004) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่ากลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุในงานวิจัยนี้ แต่ยังไม่อาจสรุปได้ว่าผู้สูงอายุทั้งสองพื้นที่มีพฤติกรรมการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครที่แตกต่างกัน เนื่องจากรูปแบบการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครในสหรัฐอเมริกาเป็นการเก็บข้อมูลเฉพาะกิจกรรมที่ทำร่วมกับองค์กรอาสาสมัครอย่างเป็นทางการที่ต้องทำอย่างน้อยหนึ่งครั้งต่อเดือน แต่ไม่นับรวมกิจกรรมอาสาสมัครอื่น ๆ ที่ทำในรูปแบบไม่เป็นทางการด้วย แต่ผลการวิจัยนี้ก็แสดงให้เห็นแนวโน้มที่ดีว่า ผู้สูงอายุในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนครมีสัดส่วนการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครที่ค่อนข้างสูง บ่งบอกถึงการที่มีผู้สูงอายุมีภาวะพฤฒิพลัง และสามารถทำประโยชน์ให้กับสังคมที่ตนอาศัยอยู่ได้

สำหรับความถี่ของการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัคร พบว่า กลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุทำกิจกรรมอาสาสมัคร 2 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Morrow-Howell *et al.* (2003) ที่พบว่า ผู้สูงอายุในสหรัฐอเมริกามีส่วนร่วมในกิจกรรมอาสาสมัครเฉลี่ย 71.5 ชั่วโมงต่อปี หรืออาจคิดเป็นจำนวนน้อยกว่า 2 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ผลการศึกษาในครั้งนี้มีความถี่การเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครมากกว่าเล็กน้อย อาจเป็นเพราะว่าบริบททางศาสนาพุทธ มีกิจกรรมทางศาสนาทุกวันหรือทุกสัปดาห์ จึงทำให้ผู้สูงอายุมีโอกาสออกมาทำกิจกรรมทำนุบำรุงศาสนาอย่างสม่ำเสมอ

ผลจากการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า การที่กลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครนั้น มีแรงจูงใจที่สำคัญมาจากการเห็นคุณค่าภายในตนและความเห็นอกเห็นใจผู้อื่น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pavelek (2013) ที่พบว่าแรงจูงใจที่สำคัญ ได้แก่ การไม่เห็นแก่ตัว อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Pavelek ได้ให้ข้อเสนอแนะไว้ว่าบุคคลควรได้รับการสนับสนุนให้ทำตั้งแต่วัยเรียน ซึ่งจะทำให้บุคคลนั้นเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครได้อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเข้าสู่วัยสูงอายุ นำไปสู่การเป็นอาสาสมัครตลอดชีวิต (Lifelong volunteer) ได้

การได้ออกมาทำกิจกรรมอาสาสมัครทำให้ผู้สูงอายุเกิดความรู้สึกภาคภูมิใจ เห็นคุณค่าในตนเองว่าเป็นที่ต้องการของผู้อื่นและสังคม ในขณะที่ผู้สูงอายุบางส่วนยังไม่ได้เข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครและใช้ศักยภาพที่ตนเองมีออกมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม ดังนั้น เราจึงควรส่งเสริมให้ผู้สูงอายุได้ออกมาใช้ความรู้ ทักษะและประสบการณ์ของตนเองให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมได้อย่างมีความสุขและมี

คุณค่า ซึ่งสิ่งนี้ได้สนับสนุนแผนพัฒนาผู้สูงอายุผู้สูงอายุแห่งชาติฉบับที่ 2 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 (คณะกรรมการผู้สูงอายุแห่งชาติ กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์, 2553) ที่กำหนดวิสัยทัศน์ด้านการพึ่งพาผู้สูงอายุว่า "ผู้สูงอายุเป็นบุคคลที่มีประโยชน์ต่อสังคมและสมควรให้คงคุณค่าไว้ให้นานที่สุด"

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ภาครัฐ ภาคเอกชน หรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องควรส่งเสริมให้ผู้สูงอายุมีส่วนร่วมทางสังคมมากขึ้นผ่านการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัคร โดยอาจใช้กลยุทธ์ที่กระตุ้นด้วยแรงจูงใจ โดยอาจเน้นแรงจูงใจภายในเป็นหลัก เช่น การกระตุ้นให้เห็นคุณค่าภายในตนเองเมื่อได้ทำประโยชน์ต่อผู้อื่น การสะท้อนให้เห็นข้อดีของตนเองและรับรู้ว่าตนเองเป็นที่ต้องการของสังคม เป็นต้น และอาจเสริมด้วยแรงจูงใจภายนอก เช่น การมีกลุ่มเครือข่ายทางสังคมในการทำกิจกรรมอาสาสมัคร หรือมีการเปิดพื้นที่ให้ผู้สูงอายุได้ทำกิจกรรมอาสาสมัครตามศักยภาพของตนเอง

2. การวิจัยในครั้งต่อไป อาจหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครของผู้สูงอายุ เพื่อใช้เป็นกลยุทธ์ในการส่งเสริมการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครมากขึ้น และอาจมีการติดตามภาวะสุขภาพและคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุที่เข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานสาธารณสุขอำเภอเมืองสกลนครที่อนุเคราะห์ให้ข้อมูลจำนวนผู้สูงอายุปี 2562 และขอขอบคุณชมรมผู้สูงอายุเทศบาลนครสกลนครที่อนุเคราะห์ให้ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกิจกรรมอาสาสมัคร

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี Ubon Ratchathani Rajabhat University

เอกสารอ้างอิง

กนกวรรณ นิ่มทัศนศิริ, ญาณิศา เผื่อนเพาะ, ธนยศ ดอกดวง และ พิทักษ์ ศิริวงศ์. (2557). การให้ความหมาย ที่มาของความหมายและแนวทางในการเป็นอาสาสมัครกู้ภัยมูลนิธิสุขศาลานุเคราะห์ จังหวัดนครปฐม. **วารสารวิชาการ** Veridian E-Journal. 7(1): 181-190.

กองสวัสดิการสังคม เทศบาลนครสกลนคร. (2561). **รายงานผลการดำเนินงานศูนย์ผู้สูงอายุ จังหวัดสกลนคร ปี 2561.** สกลนคร.

กฤตยา ทัพวงษ์. (2552). **พฤติกรรมอาสาของนิสิตนักศึกษาในกรุงเทพมหานคร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประชากรศาสตร์ วิทยาลัยประชากรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คณะกรรมการผู้สูงอายุแห่งชาติ กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. (2553). **แผนผู้สูงอายุแห่งชาติฉบับที่ 2 (พ.ศ.2545 - 2564).** Retrieved December. 30 2020, from http://www.dop.go.th/download/laws/law_th_20152309144546_1.pdf

ปุญญพัฒน์ ไชยเมล์. (2556). การกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการวิจัยเชิงพรรณนาในงานสาธารณสุข. **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ.** 16(2): 9-18.

มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย. (2562). **สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2562.** Retrieved December. 30 2020, from https://thaitgri.org/?p=39387

สำนักงานสาธารณสุขอำเภอเมืองสกลนคร. (2561). **จำนวนผู้สูงอายุอำเภอเมืองสกลนคร.** Retrieved January. 14 2018, from http://cupsakol.org/muanghol/

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2560). **ดัชนีพฤฒพลังผู้สูงอายุไทย.** กรุงทพฯ : เท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชั่น.

Bonsdorff & Rantanen (2011). Benefits of formal voluntary work among older people. A review. **Aging Clinical and Experimental Research.** 23(3): 162-169.

Greenfield &Marks (2004). Formal Volunteering as a Protective Factor for Older Adults' Psychological Well-Being. **Journal of Gerontology: SOCIAL SCIENCES.**59B(5): S258–S264.

Kalache & Gatti. (2003). Active ageing: a policy framework. **Advances in Gerontology**. 11:7-18.

Morrow-Howell, Hinterlong, Rozario & Tang. (2003). Effects of Volunteering on the Well-Being of Older Adults. **Journal of Gerontology: SOCIAL SCIENCES.** 58B(3): S137–S145.

Musick, Herzog & House. (1999). Volunteering and Mortality Among Older Adults: Findings from a National Sample. **Journal of Gerontology: SOCIAL SCIENCES**. 54B(3): S173-S18O.

Pavelek. (2013). Understanding the motivation for senior volunteering; Can volunteering of the elderly enhance their individual and social life? A qualitative research on senior volunteering. **Journal of Education, Psychology and Social Sciences.** 1(1): 54-59.

Rouse & Clawson. (1992). Motives and Incentives of Older Adult Volunteers. **Journal of Extension.** 30(3): 9-12.

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามพฤติกรรมการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัคร (n=393)

พฤติกรรมการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัคร	จำนวน (ร้อยละ)
1. พฤติกรรมการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครในรอบหนึ่งปีที่ผ่านมา (คน)	341 (86.80)
2. ระยะเวลาการทำกิจกรรมอาสาสมัคร (จำนวนชั่วโมง/สัปดาห์) (n=341)	
มัธยฐาน (ค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด)	2 (1, 8)
3. รูปแบบการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัคร	
การเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครที่วัด โบสถ์ หรือ ศาสนสถานที่ตนเองเคารพนับถือ (n=341)	330 (96.77)
การร่วมกิจกรรมอาสาสมัครหรืองานต่างๆ ที่จัดในชุมชนที่อยู่อาศัย (n=341)	321 (94.13)
การเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครที่ชมรม โรงเรียนผู้สูงอายุหรือกลุ่มกิจกรรมต่างๆ ที่สนใจ (n=341)	34 (9.97)
การเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครที่โรงเรียนหรือสถานศึกษาต่างๆ (n=341)	33 (9.67)
การเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัครที่โรงพยาบาลหรือสถานสงเคราะห์เด็ก สตรี คนชรา หรือ ผู้ด้อยโอกาสต่างๆ (n=341)	13 (3.81)

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามระดับแรงจูงใจในการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัคร (n=393)

ข้อความ	จำนวน (ร้อยละ)				ค่าเฉลี่ยของคะแนน (ช่วงคะแนน 1-4)	ระดับแรงจูงใจ
	จริง	ค่อนข้างจริง	จริงบางครั้ง	ไม่จริงเลย	$\bar{x}$, S.D.	
1. แรงจูงใจภายใน						
การเห็นคุณค่าภายในตน						
1. รู้สึกว่าตนเองมีคุณค่ามากขึ้น	327 (83.20)	38 (9.70)	25 (6.40)	3 (0.70)	3.75, 0.60	สูง
2. มองตัวเองในแง่ดีมากขึ้น	290 (73.80)	76 (19.30)	25 (6.40)	2 (0.50)	3.66, 0.61	สูง
3. รู้สึกว่าตนเองเป็นที่ต้องการของผู้อื่น	273 (69.50)	87 (22.10)	30 (7.60)	3 (0.80)	3.60, 0.66	สูง
การเห็นอกเห็นใจผู้อื่น						
1. รู้สึกว่าการช่วยเหลือผู้อื่นเป็นสิ่งสำคัญ	334 (85.00)	45 (11.50)	14 (3.50)	0 (0.00)	3.81, 0.47	สูง

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามระดับแรงจูงใจในการเข้าร่วมกิจกรรมอาสาสมัคร (n=393) (ต่อ)

ข้อความ	จำนวน (ร้อยละ)				ค่าเฉลี่ยของคะแนน (ช่วงคะแนน 1-4)	ระดับแรงจูงใจ
	จริง	ค่อนข้างจริง	จริงบางครั้ง	ไม่จริงเลย		
2. รู้สึกสงสารและอยากช่วยเหลือผู้อื่น	324 (82.40)	55 (14.00)	13 (3.30)	1 (0.30)	3.79, 0.50	สูง
3. รู้สึกเห็นอกเห็นใจคนที่กำลังลำบาก	331 (84.20)	51 (13.00)	11 (2.80)	0 (0.00)	3.81, 0.45	สูง
2. แรงจูงใจภายนอก						
การรับรู้ประโยชน์ที่ตนได้รับ						
1. ได้คลายเครียดหรือลืมความกังวลเกี่ยวกับปัญหาของตนเอง	275 (70.00)	90 (22.80)	25 (6.40)	3 (0.80)	3.62, 0.64	สูง
2. ได้ทำกิจกรรมที่ตนเองรักและชอบ	197 (50.10)	162 (41.20)	31 (7.90)	3 (0.80)	3.41, 0.66	สูง
3. ได้ประสบการณ์และเรียนรู้เรื่องใหม่ๆ	146 (37.20)	199 (50.60)	42 (10.70)	6 (1.50)	3.23, 0.69	ปานกลาง
4. ได้ลองทำสิ่งใหม่ๆ ที่ไม่เคยทำมาก่อน	126 (32.10)	208 (52.90)	49 (12.50)	10 (2.50)	3.15, 0.72	ปานกลาง
5. ได้ทำงานกับคนหลากหลายมากขึ้น	158 (40.20)	192 (48.90)	40 (10.10)	3 (0.80)	3.28, 0.67	สูง
6. ได้มีเพื่อนใหม่ ต่างเพศ ต่างวัย ต่างอาชีพ	147 (37.40)	187 (47.60)	46 (11.70)	13 (3.30)	3.19, 0.76	ปานกลาง
เครือข่ายทางสังคม						
1. มีคนรู้จักบอกเล่าประสบการณ์ที่น่าสนใจการทำกิจกรรมอาสาสมัครให้ฟัง	200 (50.90)	113 (28.80)	45 (11.50)	35 (8.90)	3.22, 0.96	ปานกลาง
2. มีเพื่อนหรือคนใกล้ชิดอยากให้ทำกิจกรรมอาสาสมัคร	174 (44.30)	109 (27.70)	70 (17.80)	40 (10.20)	3.06, 1.01	ปานกลาง
3. มีคนในครอบครัวชักชวนไปทำกิจกรรมอาสาสมัคร	144 (36.60)	71 (18.10)	70 (17.80)	108 (27.50)	2.64, 1.23	ปานกลาง

Sci2.3-28

นิพนธ์ต้นฉบับ

ภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ (PTSD) ของผู้ประสบอุทกภัยในจังหวัดสกลนคร

ภูวสิทธิ์ ภูลวรรณ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ohoowasitmu@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงสำรวจมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความชุกและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญของผู้ประสบอุทกภัย จังหวัดสกลนคร กลุ่มตัวอย่างคือประชากรที่พักอาศัยอยู่ในเขตการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติกรณีฉุกเฉินในอำเภอวานรนิวาส อำเภอเมืองสกลนคร อำเภอพรรณานิคม อำเภอนิคมน้ำอูน จำนวน 241 คน ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบตัวแปรเชิงเดี่ยว (Univariate analysis) p-value<0.05 และความสัมพันธ์ด้วยสถิติถดถอยพหุโลจิสติกส์ (Multiple logistic regression) นำเสนอค่า Adjusted odds ratio (ORadj) ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% CI และ p-value

ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญร้อยละ 10.8 และโรคประจำตัว (ORadj = 3.17, 95%CI: 1.23-8.13) มีความสัมพันธ์กับภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value <0.05)

จากการศึกษานี้ ข้อเสนอแนะว่า ผู้ที่มีภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญควรได้รับการดูแลที่เหมาะสม และประชาชนที่มีโรคประจำตัวควรได้รับการติดตามและคัดกรอง เพื่อความรวดเร็วในการประเมินภาวะดังกล่าว

คำสำคัญ : ภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ, ผู้ประสบอุทกภัย, สกลนคร

Faculty of Public Health Journal
Ubon Ratchathani Rajabhat University

Article info:
Received: Oct 29, 2020
Revised: Dec 27, 2020
Accepted: Jan 11, 2021

Original article

Posttraumatic stress disorder among flooding victims in Sakon Nakhon Province

Phoowasit Phoolawan
Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University
kongkangku69@gmail.com

Abstract

This research was survey research. The aim of study was assess prevalence and factor associated with posttraumatic stress disorder among flooding victims in Sakon Nakhon Province. The sample were 214 who have flooding Victims in Wanon Niwat District. Mueang Sakon Nakhon District Phanna Nikhom District and Nikhom Nam Un District. They were selected by multistage random sampling method. The research instrument was a questionnaire. Data were analyzed by descriptive statistics and Inferential Statistics. Univariate analysis and multiple logistic regression were used for identifying risk factors and presenting adjusted odds ratio (ORadj), 95% CI, significance level at p-value.

The results found that flooding Victims had posttraumatic stress disorder 10.8 percent and underlying disease (ORadj = 3.17, 95%CI: 1.23-8.13) was significant associated with posttraumatic stress disorder.

Therefore, public health organization should be follow-up and screening risk groups, especially those with underlying diseases. for further follow-up care.

This finding suggests that persons suffering from acute post-traumatic stress should receive appropriate care and people with underlying diseases should be follow-up and screening for speed in assessing such conditions.

Keywords: Posttraumatic stress disorder, flooding victims, sakon nakhon province

คณะสาธารณสุขศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
Faculty of Public Health, Ubon Ratchathani Rajabhat University
Ubon Ratchathani Rajabhat University

บทนำ

กรมอุตุนิยมวิทยาได้จำแนกภัยพิบัติธรรมชาติที่เกิดขึ้นในประเทศไทยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันไว้ 8 ชนิด คือ พายุหมุนเขตร้อน แผ่นดินไหว อุทกภัย พายุฟ้าคะนองหรือพายุฤดูร้อน แผ่นดินถล่ม คลื่นพายุซัดฝั่ง ไฟป่า และฝนแล้ง (กรมอุตุนิยมวิทยา, ม.ป.ป.) ภัยธรรมชาติทั้ง 8 ประเภทข้างต้นนี้ ส่วนใหญ่เป็นภัยที่เกิดขึ้นเป็นประจำ และบางประเภทนานๆ เกิดขึ้นครั้งหนึ่ง เช่น แผ่นดินไหว เป็นต้น จากสถิติภัยพิบัติแต่ละประเภทในรอบ 20 ปี พบว่าภัยพิบัติที่สร้างความเสียหายมากที่สุดคือ ภัยจากน้ำท่วม ซึ่งพบว่าในช่วง พ.ศ. 2532 – 2554 มีจำนวนครั้งที่เกิดเหตุการณ์มากกว่า 40,000 ครั้ง เสียชีวิตมากกว่า 2,000 คน รวมมูลค่าความเสียหายประมาน 12,591,810 ล้านบาท (ศูนย์อำนวยการบรรเทาสาธารณภัย กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย และโครงการสุขภาพคนไทย, 2555)

นอกจากนี้ เหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติดังกล่าวยังส่งผลเสียต่อสุขภาพจิตและก่อให้เกิดโรคทาง จิตเวชซึ่งส่งผลต่อการดำเนินชีวิตของผู้ได้รับผลกระทบ ไปจนถึงระดับครอบครัว ชุมชน และสังคม โดยเหตุการณ์ภัยพิบัติจะส่งผลกระทบทางจิตใจรุนแรงกว่าความเครียดจากสถานการณ์ทั่ว ๆไป ทำให้สภาพจิตใจของผู้ได้รับผลกระทบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและรุนแรงจนเกิดเป็นอาการต่าง ๆ เช่น ตกใจ หวาดกลัว ย้อนระลึกถึงเหตุการณ์นั้นซ้ำ ๆ ฝันร้ายถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ทุกข์ใจอย่างยิ่งเมื่อพบสิ่งที่สะกิดใจ หรือทำให้ย้อนรำลึกถึงเหตุการณ์นั้น ๆ มีปฏิกิริยาไวในการระแวดระวังและตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่เกี่ยวข้องกับ เหตุการณ์เกินระดับปกติ โดยแสดงอาการตื่นตัว สะดุ้ง บ่อยกว่าปกติ นอนหลับยาก ตั้งสมาธิลำบาก และมีอารมณ์หงุดหงิดแปรปรวนง่าย สิ้นหวัง ซึมเศร้า ปฏิเสธผลของเหตุการณ์ และแยกตัวออกจากผู้อื่น ไม่รับรู้ และแสดงความรู้สึกที่เกิดขึ้นจากการผ่านเหตุการณ์ สะเทือนใจ พยายามหลีกเลี่ยงผู้คนหรือสถานการณ์ที่ เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ (ธีร์จุฑา จรัสโยธินนุวัฒน์, 2547; Bryant, 2000; Litz, 2000; Norris, 1992; Norris, 2001) รวมทั้งโรคทางจิตเวชที่เกิดขึ้นตามมา เช่น โรคเครียดแบบเฉียบพลัน (Acute stress disorder, ASD) โรคเครียดภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ (Posttraumatic stress disorder, PTSD) โรคซึมเศร้า (Major depressive disorder, MDD) พฤติกรรมการฆ่าตัวตาย (Suicide risk) การติดสารเสพติด (Substance use disorders, SUD) เป็นต้น (American Psychitric Association, 1994) อุบัติการณ์ของอาการทางจิตหรือโรคจิตเวชจาก เหตุการณ์ภัยพิบัติ ตามเกณฑ์วินิจฉัยของสมาคมจิตแพทย์อเมริกัน (American Psychitric Association, 1994 พบว่าสามารถเกิดขึ้นได้ร้อยละ 15 - 40 ของผู้ประสบภัย ส่วนองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2003)คาดการณ์ว่าในสถานการณ์ความขัดแย้งรุนแรงที่เกิดขึ้นทั่วโลก ผู้ได้รับผลกระทบมีปัญหาทางสุขภาพจิตรุนแรงรวมถึงเกิดโรคเครียดภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ (Posttraumatic stress disorder, PTSD) ร้อยละ 10 และมีปัญหาในการดำเนินชีวิตร้อยละ 10

จากการทบทวนวรรณกรรมปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะเครียดภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ (Posttraumatic stress disorder, PTSD) ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพสมรส การสนับสนุนทางสังคม ลักษณะเหตุการณ์ โรคร่วมทางจิตเวช (Liu, A., et al, 2006; นพพร และคณะ, 2560)

ในห้วงเวลาตั้งแต่วันที่ 17 – 18 กรกฎาคม 2560 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีฝนตกชุกหนาแน่นและมีฝนตกหนักถึงหนักมากหลายพื้นที่เป็นผลมาจากพายุโซนร้อน "ตาลัส" (Talas) ที่ได้อ่อนกำลังลงกลายเป็นพายุดีเปรสชั่น ส่งผลให้จังหวัดสกลนครมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นและมีฝนที่ตกสะสม หลังจากนั้นพายุโซนร้อน "เซินกา (SONCA)" ที่อ่อนกำลังลงเป็นพายุดีเปรสชั่นและเคลื่อนเข้าปกคลุมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ วันที่ 26 กรกฎาคม 2560 ก่อนจะอ่อนกำลังลงเป็นหย่อมความกดอากาศต่ำทำให้เกิดฝนฟ้าคะนองร้อยละ 80-100 ของพื้นที่โดยมีฝนตกเป็นบริเวณกว้างและมีฝนตกหนักถึงหนักมากหลายพื้นที่ส่งผลให้ตั้งแต่วันที่ 28 กรกฎาคม 2560 (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน, 2560) ได้เกิดวิกฤตน้ำท่วมใหญ่สกลนคร พ.ศ. 2560 ในรอบ 43 ปี โดยน้ำได้เข้าท่วมพื้นที่ 18 อำเภอ 124 ตำบล 1,509 หมู่บ้าน 43 ชุมชน ประชาชนได้รับผลกระทบ 136,582 ครัวเรือน 431,277 คน ผู้เสียชีวิต 11 ราย พื้นที่การเกษตรเสียหาย 892,793 ไร่ จากสถานการณ์ข้างต้น การค้นหาขนาดของปัญหาและผู้ที่มีความเสี่ยงเพื่อนำไปสู่การ

สร้างเสริมสุขภาพจิตที่ดีสามารถใช้ชีวิตได้อย่างมีความสุขจึงเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาถึงความชุกและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ (PTSD) ของผู้ประสบอุทกภัยในจังหวัดสกลนคร

วัตถุประสงค์การวิจัย

1.เพื่อศึกษาขนาดของความชุกภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญของผู้ประสบอุทกภัย จังหวัดสกลนคร

2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญของผู้ประสบอุทกภัย จังหวัดสกลนคร

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้ เป็นวิจัยเชิงสำรวจแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional study)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยครั้งนี้เป็น ประชากรที่พักอาศัยอยู่ในเขตการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติกรณีฉุกเฉินในอำเภอวานรนิวาส อำเภอเมืองสกลนคร อำเภอพรรณานิคม อำเภอนิคมน้ำอูน

เกณฑ์การคัดเข้า

เป็นผู้ที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำท่วม เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2560 และยินดีเข้าร่วมการศึกษา

การคำนวณขนาดตัวอย่าง (Lemeshow, 1990)

$$n = \frac{Z^{2}_{\alpha/2} P(1-P)}{d^2}$$

n = ขนาดตัวอย่าง

α = ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

$Z_{\alpha/2}$ = สัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น = 1.96 for 95% CI

P = สัดส่วนค่าความชุกของภาวะเครียดเฉียบพลัน, เท่ากับ 0.06 (Boonyamalik, 2013)

d = ค่าความกระชับของการประมานค่า

เมื่อ $Z_{\alpha/2} = 1.96$, P = 0.06, และ d = 0.03

$$n = \frac{(1.96)^2(0.06)\ (1-0.06)}{(0.03)^2}$$

$$= 241$$

วิธีการสุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้ใช้การสุ่มแบบหลายขั้นตอน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.ทำการสุ่มอำเภอที่อยู่ในเขตการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติกรณีฉุกเฉินในจังหวัดสกลนคร โดยวิธีการสุ่มอย่างง่ายได้แก่ อำเภอวานรนิวาส อำเภอเมืองสกลนคร อำเภอพรรณานิคมและอำเภอนิคมน้ำอูน

2.ทำการสุ่มแบบบังเอิญโดยมีเกณฑ์ในการคัดเข้าคือ เป็นผู้ที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำท่วม เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2560 และยินดีเข้าร่วมการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้และวิธีการตรวจสอบคุณภาพ

เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือในงานวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย 4 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปได้แก่ เพศ ศาสนา สถานภาพสมรส ระดับการศึกษา อาชีพ โรคประจำตัว อายุและรายได้ จำนวน 9 ข้อ

ส่วนที่ 2 แบบคัดภาวะซึมเศร้าและความเสี่ยงต่อการฆ่าตัวตาย (DS8) (Tangseree, 2013) จำนวน 8 ข้อ 2 ตัวเลือก แบ่งเป็น ภาวะซึมเศร้า ข้อ 1-6 และความเสี่ยงต่อการฆ่าตัวตาย ข้อ 7-8 โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน มี เท่ากับ 1 คะแนน ไม่มี เท่ากับ 0 คะแนน การแปลผล ภาวะซึมเศร้า 3 คะแนนขึ้นไป หมายถึง มีภาวะซึมเศร้า สำหรับความเสี่ยงต่อการฆ่าตัวตาย 1 คะแนนขึ้นไป หมายถึง มีความเสี่ยงติ่การฆ่าตัวตาย

ส่วนที่ 3 แบบประเมินภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ (PTSD) (กระทรวงสาธารณสุข, 2557) จำนวน 8 ข้อ 2ตัวเลือกโดยมีเกณฑ์การให้คะแนน ไม่ใช่ เท่ากับ 0 คะแนน ใช่ เท่ากับ 1 คะแนน การแปลผล 4 คะแนนขึ้นไป หมายถึง มีภาวะเครียดเฉียบพลันภายกลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ

ส่วนที่ 4 แบบประเมินการสนับสนุนทางสังคม (Piboon, 2012) จำนวน 15 ข้อ 7 ตัวเลือก โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง เท่ากับ 1 คะแนน ไม่เห็นด้วย เท่ากับ 2 คะแนน ค่อนข้างที่ไม่เห็นด้วย 3 คะแนน เฉยๆ เท่ากับ 4 คะแนน ค่อนข้างเห็นด้วย เท่ากับ 5 คะแนน เห็นด้วย 6 คะแนน เห็นด้วยอย่างยิ่ง เท่ากับ 7 คะแนน การแปลผล 15-45 คะแนน หมายถึง แรงสับสนุนสังคมต่ำ 46-75 คะแนน หมายถึง แรงสับสนุนสังคมปานกลาง 76 คะแนนขึ้นไป หมายถึง แรงสับสนุนสังคมสูง

วิธีการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

1. ทดสอบความตรงของเนื้อหา (Content validity) ของแบบสอบถามที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจากการทบทวนแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้พิจารณาตรวจสอบความตรงของเนื้อหาและความถูกต้องเหมาะสมของข้อคำถามเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขต่อไป

2. การหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามไปทดลองใช้กับบุคคลที่พักอาศัยอยู่ในเขตการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติกรณีฉุกเฉินที่ไม่ได้เป็นกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปหาระดับความเชื่อมั่นด้วยการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค พบว่าเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา มีค่า Cronbach's alpha coefficient ดังนี้ ส่วนที่ 2 แบบคัดภาวะซึมเศร้าและความเสี่ยงต่อการฆ่าตัวตาย (DS8) เท่ากับ 0.82 ส่วนที่ 3 แบบประเมินภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ (PTSD) เท่ากับ 0.84 และส่วนที่ 4 แบบประเมินการสนับสนุนทางสังคม เท่ากับ 0.78

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง เริ่มทำการเก็บข้อมูลโดยแนะนำตัวและแจ้งวัตถุประสงค์การวิจัยพร้อมทั้งขอความร่วมมือในการเข้าร่วมวิจัย เมื่อประชากรที่ศึกษายินดีเข้าร่วมวิจัย ผู้วิจัยจะแจกแบบสอบถามให้และเก็บรวบรวมกลับนำมาวิเคราะห์ข้อมูลในภาพรวมต่อไป โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงเดือนกรกฎาคม – กันยายน 2561

การวิเคราะห์ข้อมูล

แบบสอบถามที่ครบสมบูรณ์ จะนำมาลงข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์และใช้โปรแกรมทางสถิติสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ การวิเคราะห์สถิตินั้นแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 สถิติพรรณนา (Descriptive analysis) เพื่ออธิบายคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาและนำเสนอความชุกของปัญหาสุขภาพจิต ประกอบด้วย การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ส่วนที่ 2 สถิติเชิงอนุมาน (Inferential statistic)

1) Univariate analysis วิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างหยาบระหว่างปัจจัยด้านต่างๆ กับปัญหาสุขภาพจิต โดยคำนวณค่า Odds ratio (Crude OR) และกำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2) Multivariate analysis วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ กับปัญหาสุขภาพจิต โดยใช้ Multiple logistic regression ด้วยวิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบ enter และคำนวณค่า Odds ratios เมื่อควบคุมตัวแปรกวนและกำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

บทสรุปและอภิปรายผล

ผลการศึกษา

คุณลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศหญิง ร้อยละ 72.6 ศาสนาพุทธ ร้อยละ 95.4 มีสถานภาพสมรสคู่ ร้อยละ 56.4 ระดับการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. ร้อยละ 38.6 อาชีพเกษตรกร ร้อยละ 37.3 ไม่มีโรคประจำตัว ร้อยละ 77.2 อายุอยู่ในช่วง 41-60 ปี ร้อยละ 44.0 รายได้อยู่ในช่วง 5,000 – 10,000 บาท ร้อยละ 49.0 มีภาวะซึมเศร้าร้อยละ 21.6 ไม่มีความเสี่ยงฆ่าตัวตาย ร้อยละ 100.0 และมีแรงสนับสนุนทางสังคมสูงร้อยละ 76.3 (ตารางที่ 1)

ความชุกของภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ

กลุ่มตัวอย่างมีภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญร้อยละ 10.8 (ตารางที่ 2)

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ

ขั้นที่ 1 ทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความเครียดโดยการวิเคราะห์อย่างหยาบ (Univariate analysis) พบ อายุ รายได้ ระดับการศึกษาและโรคประจำตัวมีความสัมพันธ์กับภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ

ขั้นที่ 2 ทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ โดยการวิเคราะห์ควบคุมตัวแปรที่มีอิธิพลต่อภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ (Multivariate analysis) พบโรคประจำตัว (OR_{adj} = 3.17, 95%CI: 1.23-8.13) มีความสัมพันธ์กับภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญเมื่อควบคุมตัวแปรที่มีอิธิพลต่อภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ

อภิปรายผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้พบความชุกภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญร้อยละ 10.8 ซึ่งมากกว่าการศึกษาปัญหาสุขภาพจิตของผู้ประสบอุทกภัย จังหวัดอุตรดิตถ์ ปี 2549: การติดตามดูแล ระยะยาว 1 ปี ซึ่งพบว่าผู้ที่เป็นโรคเครียดภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ ร้อยละ 6.61 (Boonyamalik, 2013) และน้อยกว่าการศึกษาความผิดปกติทางจิตใจภายหลังภยันตรายในเด็กและวัยรุ่นที่ประสบภัยพิบัติทางธรรมชาติ:การเรียนรู้จากโครงการช่วยเหลือนักเรียนที่ประสบภัยสึนามิ 5 ปี ในโรงเรียน อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา พบค่าความชุกของโรค PTSD ร้อยละ 15.1 (Piyasil, V., et al., 2011) ซึ่งค่าความชุกที่แตกต่างกันเกิดขึ้นจาก ช่วงเวลาที่ทำการวัดเพราะโรค PTSD จะมีความเกี่ยวเนื่องกับระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ ถ้าวัดในช่วงเวลาใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจะทำให้ค่าที่ได้สูงขึ้น ขนาดความรุนแรงของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ถ้าเป็นเหตุการณ์ที่มีความสูญเสียและรุนแรงมากค่าที่ได้จะสูง กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้ค่าความชุกที่ได้ในแต่ละการศึกษาแตกต่างกันไปด้วย

จากการศึกษาพบว่าโรคประจำตัวมีความสัมพันธ์กับภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ โดยคนที่ไม่มีโรคประจำตัวมีความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญเป็น 3.17 เท่าของคนที่มีโรคประจำตัว ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การมีโรคประจำตัวจะทำให้เกิดความวิตกกังวลและความเครียดเกิดขึ้นเนื่องจากกลุ่มคนมีโรคประจำตัวจะต้องมีการดูแลตนเองและระมัดระวังตนเองมากกว่าในกลุ่มคนที่ไม่มีโรคประจำตัว รวมถึงการรับรู้ความเสี่ยงในการเกิดโรคแทรกซ้อนที่ตามมา ทำให้เมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมเกิดขึ้นกลุ่มคนที่มีโรคประจำตัวจะมีโอกาสเป็นภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญได้มากกว่ากลุ่มที่ไม่มีโรคประจำตัว

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ควรมีการติดตามและคัดกรองผู้ประสบอุทกภัยในจังหวัดสกลนครอย่างต่อเนื่อง เพื่อสามารถส่งต่อในการวินิจฉัยและดูแลรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาครั้งนี้เป็นวิจัยเชิงปริมาณควรมีการศึกษาเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาข้อมูลเชิงลึก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มตัวอย่างผู้ประสบภัยพิบัติจังหวัดสกลนครและทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

Faculty of Public Health
คณะสาธารณสุขศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
Ubon Ratchathani Rajabhat University

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. (2557). คู่มือเยียยาจิตใจผู้ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์ทางการเมือง. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

กรมอุตุนิยมวิทยา. (ม.ป.ป). **ภัยธรรมชาติในประเทศไทย**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.tmd.go.th/info/risk.pdf. (16 กุมภาพันธ์ 2561).

ธีร์จุฑา จรัสโยธินนุวัฒน์.(2547). **ประสบการณ์ความสะเทือนใจของผู้ประสบเหตุการณ์ไฟไหม้ : กรณีศึกษาชุมชนในเขตบางยี่ขัน**. ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นพพร ตันติรังสี และคณะ. (2560). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับโรคเครียดหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ: การสำรวจระบาดวิทยาสุขภาพจิตของคนไทยระดับชาติ ปี พ.ศ.๒๕๕๖.**วารสารสุขภาพจิตของประเทศไทย**, 25(2), 122-135.

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน.(2560). **ข้อมูลจากข่าวสรุปลักษณะอากาศประจำวันเดือน กรกฎาคม 2560**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.tmd.go.th/warningwindow.php?wID=6107. (5 ตุลาคม 2561).

ศูนย์อำนวยการบรรเทาสาธารณภัย กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย และ โครงการสุขภาพคนไทย. (2555). **มหาอุทกภัยในรอบ 100 ปี สัญญาณเตือนให้ปรับตัว สุขภาพคนไทย 2555** . นครปฐม: สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล.

American Psychitric Association. (1994). **Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorder**. 4th ed. Washington DC: American Psychiatric Association.

Boonyamalik, P., Suksawang, S., & Swangwongsin, S. (2013). A One-year Cohort Study in Mental Health Problems of the Flooding Victims in Uttaradit, 2005. **Journal of the Psychiatric Association of Thailand**, 57(2), 165-174.

Bryant, R. A., et al. (2000). A prospective study of psychophysiological arousal, acute stress disorder, and posttraumatic stress disorder. **Journal of abnormal psychology**, 109(2), 341–344

Lemeshow, S., Hosmer, D. W., Klar, J., Lwanga, S. K., & World Health, O. (1990). **Adequacy of sample size in health studies**: Chichester: Wiley.

Litz, B. T., et al. (2000). Emotional processing in posttraumatic stress disorder. **Journal of abnormal psychology**, 109(1), 26–39.

Liu, A., et al. (2006). An epidemiologic study of posttraumatic stress disorder in flood victims in Hunan China. **Canadian journal of psychiatry**, 51(6), 350–354.

Norris F. H. (1992). Epidemiology of trauma: frequency and impact of different potentially traumatic events on different demographic groups. **Journal of consulting and clinical psychology**, 60(3), 409–418.

Norris, F. H., Perilla, J. L., & Murphy, A. D. (2001). Postdisaster stress in the United States and Mexico: a cross-cultural test of the multicriterion conceptual model of posttraumatic stress disorder. **Journal of abnormal psychology**, 110(4), 553–563.

Piboon, K., et al. (2012). A causal model of depression among older adults in Chon Buri Province, Thailand. **Issues in mental health nursing**, 33(2), 118-126.

Piyasil, V., et al. (2011). Tsunami Disaster in Thailand: A 5-Year Follow-Up. **J Med Assoc Thai**, 94, 3.

Tangseree, T., et al. (2013). Development for depression and suicidal risk screening test (version 2009). **Journal of the Psychiatric Association of Thailand**, 54(3), 287-298.

World Health Organization. (2003). **Mental health in emergencies: Mental and social aspects of health of populations exposed to extreme stressors**. [online]. Retrieved from https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/67866/WHO_MSD_MER_03.01.pdf (28 May 2019).

ตารางที่ 1 จำนวน และร้อยละ ของผู้ประสบอุทกภัย จำแนกตามคุณลักษณะของประชากร (n = 241)

ตัวแปร	จำนวน(คน)	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	66	27.4
หญิง	175	72.6
ศาสนา		
พุทธ	230	95.4
คริสต์	8	3.3
อิสลาม	3	1.2
สถานภาพสมรส		
โสด	75	31.1
คู่	136	56.4
หย่าร้าง/หม้าย/แยกกันอยู่	30	12.4
ระดับการศึกษา		
ไม่ได้รับการศึกษา	8	3.3
ประถมศึกษา	77	32.0
มัธยมศึกษาตอนต้น	31	12.9
มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช.	93	38.6
อนุปริญญา/ปวส.หรือเทียบเท่า	11	4.6
ปริญญาตรีหรือสูงกว่า	21	8.7
อาชีพ		
เกษตรกร	90	37.3
ค้าขาย	41	17.0
รับจ้างทั่วไป	32	13.3
พนักงานบริษัท	4	1.7
พนังงานรัฐวิสาหกิจ	2	0.8
รับราชการ	7	2.9
ธุรกิจส่วนตัว	21	8.7
ไม่ได้ประกอบอาชีพ	12	5.0
นักศึกษา	32	13.3
โรคประจำตัว		
มี	55	22.8
ไม่มี	186	77.2
อายุ		
< 20 ปี	20	8.3
20 – 40 ปี	74	30.7
41 – 60 ปี	106	44.0
> 60 ปี	41	17.0

$\bar{X}$ = 43.75, SD = 16.59, Max = 86 Min = 18

Faculty of Public Health
คณะสาธารณสุขศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
Ubon Ratchathani Rajabhat University

ตารางที่ 1 จำนวน และร้อยละ ของผู้ประสบอุทกภัย จำแนกตามคุณลักษณะของประชากร (n = 241) (ต่อ)

ตัวแปร	จำนวน(คน)	ร้อยละ
รายได้		
< 5,000 บาท	70	28.7
5,000 – 10,000 บาท	118	49.0
> 10,000 บาท	53	22.3
$\bar{x}$ = 8024.75, SD = 6,096.57, Max = 30,000 Min = 500		
ภาวะซึมเศร้า		
มี	52	21.6
ไม่มี	189	78.4
ความเสี่ยงฆ่าตัวตาย		
มี	0	0.0
ไม่มี	241	100.0
แรงสนับสนุนทางสังคม		
ต่ำ	0	0.0
ปานกลาง	57	23.7
สูง	184	76.3

ตารางที่ 2 ความชุกของภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ (n = 241)

ตัวแปร	จำนวน(คน)	ร้อยละ
ภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ		
มี	26	10.8
ไม่มี	215	89.2

ตารางที่ 3 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะเครียดเฉียบพลันภายหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ

ปัจจัย	Crude		Adjust**		P-value
	OR	95%CI	OR	95%CI	
ระดับการศึกษา					
ต่ำกว่ามัธยมศึกษา	1		1		
มัธยมศึกษาขึ้นไป	2.36	1.04-5.38	0.93	0.35-2.61	0.93
โรคประจำตัว					
ไม่มี	1		1		
มี	4.11	1.77-9.53	3.17	1.23-8.13	0.01*
อายุ					
< 40 ปี	3.96	1.31-11.88	1.41	0.40-5.09	0.57
≥ 40 ปี	1		1		
รายได้					
< 5,000 บาท	1		1		
5,000 – 10,000 บาท	1.37	0.56-3.37	0.46	0.10-2.15	0.32
> 10,000 บาท	2.91	0.75-11.30	0.42	0.10-1.73	0.23

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ p-value <0.05

**ปัจจัยถูกควบคุมโดยปัจจัยในตาราง

Faculty of Public Health Ubon Ratchathani Rajabhat University

Sci2.3-29

Study of the Incidence, Clinical Features, and Management of Adult Exfoliative Dermatitis in Sakon Nakhon Hospital, Thailand

Phatphitcha Jedee MD,
Numporn Insin,
Sasiwan Tassana-iem.

ABSTRACT:

JEDEE P*, INSIN N**, TASSANA-IEM S**. STUDY OF THE INCIDENCE, CLINICAL FEATURES, AND MANAGEMENT OF ADULT EXFOLIATIVE DERMATITIS IN SAKON NAKHON HOSPITAL, THAILAND. THAI J DERMATOL 2021;37:99-108.

*DIVISION OF DERMATOLOGY, DEPARTMENT OF MEDICINE, SAKON NAKHON HOSPITAL, THAILAND.

**DEPARTMENT OF HEALTH SCIENCE PROGRAM, FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, SAKON NAKHON RAJABHAT UNIVERSITY, SAKON NAHKON, THAILAND.

Background: Exfoliative dermatitis is the clinical finding of generalized erythema and scaling of the skin affecting more than 90% of the total body surface area. Prospective studies of exfoliative dermatitis are few in the literature. The aim of this study was to analyze the incidence, clinical features, and management of exfoliative dermatitis patients.

From: Division of Dermatology, Department of Medicine, Sakon Nakhon Hospital, Thailand.
Corresponding author: Phatphitcha Jedee MD, email: phatphitcha.jedee@gmail.com

Received: 15 January 2021 Revised: 30 June 2021 Accepted: 29 July 2021

Materials and Methods: This prospective study was performed at Sakon Nakhon Hospital, Thailand, and included 32 patients who were diagnosed with exfoliative dermatitis in January-December 2019. Then the patients were followed up for 12 months. The incidence, clinical features, laboratory investigations, treatments, and outcomes were collected.

Results: Hospital incidence in 1 year of exfoliative dermatitis was 160 cases/100,000 dermatological outpatients or 32 cases/year. The mean age was 50 years old. Psoriasis was the most frequent etiology of exfoliative dermatitis. All patients had pruritus and erythematous plaques with scales. Other common clinical features were nail alterations and fever. Abnormal laboratory investigations were anemia, leukocytosis, eosinophilia, and high erythrocyte sedimentation rate. Combinations of systemic drugs (systemic steroids, methotrexate, cyclosporine, acitretin) and topical drugs were the main treatments. The comparison between psoriasis and eczema groups in exfoliative dermatitis showed that the eczema group had higher ages, higher eosinophilia, lower serum total protein, shorter durations of treatments, lower percentages of last body surface area, and higher numbers of complete clearance patients than the psoriasis group.

Conclusion: This study had high hospital incidence of exfoliative dermatitis in Thailand. Exfoliative dermatitis usually presented generalized scaly erythema of the skin. Multiple skin disorders could cause exfoliative dermatitis. Complete physical examinations and investigations should be performed in each patient.

Key words: Exfoliative dermatitis, incidence, clinical features, management, outcome

Introduction

Exfoliative dermatitis(ED) or erythroderma, is characterized by generalized scaly erythema of the skin, affecting more than 90% of our total body surface area(BSA). The incidence of ED varies between 0.9 cases per 100,000 persons in the Netherlands and 1-2 cases per 100,000 persons in Finland[1,2]. In Thailand, hospital incidences of ED are 4.9 cases/year per 100,000 dermatological outpatients and 9 cases/year[3,4].

Exacerbation of previous skin disorders (e.g. psoriasis, eczema, atopic dermatitis, pityriasis rubra pilaris, pemphigus vulgaris (PV), pemphigus foliaceus), drug eruption, and cutaneous T cell lymphoma (CTCL) can cause ED[5,6]. Although generalized scaly erythema of the skin is the main symptom in ED, patients may present other symptoms (e.g. fever, arthritis, nail change, conjunctivitis, lymphadenopathy)[6,7]. Abnormal investigations are anemia, leukocytosis, eosinophilia, and high erythrocyte sedimentation

rate (ESR)[6,7]. Thus, complete physical examinations and investigations should be performed in each ED patient. Treatments include systemic drugs, topical drugs, phototherapy, and supportive treatment. However, the treatments are different due to the etiology of individual patients. Currently, prospective studies of ED are rare in the literature. The aim of this study was to analyze the incidence, clinical features, and management of ED patients.

Methods

This prospective study was performed at the Division of Dermatology, Department of Medicine, Sakon Nakhon Hospital, Thailand. A total of 32 new patients who were diagnosed with ED in January-December 2020 were included in this study. Then all the patients were followed up for 12 months. The inclusion criteria for the patients in this study were as follows: (1) was at least 18 years old, (2) had generalized scaly erythema skin in at least 90% of BSA, (3) was diagnosed with ED by a dermatologist, (4) gave permission to record demographic data, clinical features, investigations, treatments, and outcomes. The only exclusion criterion was that the patient did not allow the recording of data. The data collected from the patients included demographic data (e.g. sex, age, underlying disease), clinical features (e.g. pruritus, pain, burning, skin sign, arthritis, nail alterations, fever, lymphadenopathy, hepatitis), laboratory investigations (e.g. blood count, blood chemistry, ESR), treatments (systemic drugs, topical drugs, durations of treatments, and outcome (percentages of last BSA, complete clearance). Finally, all data of the 32 patients were analyzed in the study due to complete follow up records for 12 months. No missing data were detected.

Statistical analyses were performed with SPSS version 25. Categorical variables were described as frequency and percentages, while continuous variables were expressed as mean, standard deviation (SD), and median, depending on the distribution of the data. Differences between groups were tested by Fisher's exact test, Student t-test, and Mann-Whitney test. A two-sided p-value of <0.05 was considered statistically significant.

The study was approved by the local ethics committee and followed the principles of the Declaration of Helsinki. Consent forms of all the participants were obtained.

Results

All 32 patients had a complete follow up for 12 months. There were 18 males and 14 females, with a male-to-female ratio of 1.3. The mean age was 50 years, and 23 (72%) patients had previous skin disorders (15 psoriasis, 6 eczema, 1 atopic dermatitis, 1 PV). The most frequent etiology associated with ED was psoriasis (17 patients, 53%), followed by eczema (10 patients, 31%), drug reaction with eosinophilia and systemic symptoms (DRESS) syndrome, PV, lupus

erythematous/dermatomyositis (LE/DM) overlap, and extensive dermatophytosis with seborrheic dermatitis with autosensitization (Table 1). There was no evidence of idiopathic or malignancy-associated ED in this study.

As shown in Table 1, all patients had pruritic scaly erythematous plaques, while 1 patient had erosion, 5 patients had pain and a burning rash, and 3 patients had a pustular rash. Other common clinical features were nail alterations (26 patients) and fever (10 patients). Hepatitis, edema, generalized lymphadenopathy, arthritis, conjunctivitis, and oral mucositis were found in some patients.

Laboratory abnormalities are also summarized in Table 1, including anemia, leukocytosis, eosinophilia (high percentages of eosinophil, high eosinophil count), and high ESR. Skin biopsies were performed in 19 patients. Results of the skin biopsies were psoriasis, eczema, LE/DM, and drug eruption. There were no reports of CTCL from histopathology.

Table 1 The demographic data, clinical features, and laboratory investigations in exfoliative dermatitis patients

Number of patients	32 patients
Male: Female	18:14 (ratio 1.3:1)
Ages (mean±SD)	50±17.7 years
Cause of exfoliative dermatitis	
Psoriasis	17 (53.1%)
Eczema	10 (31.3%)
DRESS syndrome	2 (6.3%)
Pemphigus vulgaris	1 (3.1%)
LE/DM overlap	1 (3.1%)
Extensive dermatophytosis with seborrheic dermatitis with autosensitization	1 (3.1%)
Previous skin disorders	**23 patients (71.9%)**
- Psoriasis	15 (46.9%)
- Eczema	7 (21.9%)
- Pemphigus vulgaris	1 (3.1%)

Table 1 The demographic data, clinical features, and laboratory investigations in exfoliative dermatitis patients (continue)

Number of patients	32 patients
Main Symptoms	
Pruritic erythema rash with scale	32 (100%)
Pain/burning rash	5 (15.6%)
Pustular rash	3 (9.4%)
Erosion	1 (3.1%)
Other symptoms	
Nail alterations	26 (81.3%)
Fever	10 (31.3%)
Hepatitis	5 (15.6%)
Edema	4 (12.5%)
Conjunctivitis	4 (12.5%)
Generalized lymphadenopathy	3 (9.4%)
Arthritis	3 (9.4%)
Oral mucositis	1 (3.1%)
Investigation	
Hb (mean±SD)	11.9±2.5 g/dL
WBC (mean±SD)	11,140.3±3,128.3 /mm^3
Eosinophil %, median (min-max)	6.5 (0-37) %
Eosinophil count, median (min-max)	562.8 (0-4,935.8) /mm^3
Albumin (mean±SD)	3.5±0.6 g/dL
Total protein (mean±SD)	7.2±0.7 g/dL
ESR, median (min-max)	36.5 (7-119) mm/h
Skin biopsy	**19 patients (59.4%)**
Eczema	10 (31.3%)
Psoriasis	7 (21.9%)
Interface dermatitis (LE/DM)	1 (3.1%)
Drug eruption	1 (3.1%)

SD, standard deviation; DRESS, drug reaction with eosinophilia and systemic symptoms; LE, lupus erythematosus; DM, dermatomyositis; Hb, hemoglobin; WBC, white blood cell; ESR, erythrocyte sedimentation rate

Table 2 The demographic data, clinical features, laboratory investigations, treatments, and outcomes of 32 patients with exfoliative dermatitis according to etiology

	Psoriasis	Eczema	DRESS syndrome	LE/DM overlap	PV	Extensive dermatophytosis
Number of patients	17	10	2	1	1	1
Ages, years	44	58.8	57	61	27	63
Other diagnosis	PSA	AI, sepsis	ARF	-	-	AI
Hb, g/dL	12.1	11.7	8.6	10.6	13.5	15.2
WBC, /mm^3	10,875.9	11,465	8,650	9,380	13,160	17,110
Eo, %	3	12	6.5	13	1	2
Eo count, /mm^3	368.1	961.4	562.8	1,219.4	131.6	342.2
TP, g/dL	7.4	6.7	6	8	7.8	7.9
ESR, mm/h	38	20.5	70	90	32	73
Anemia/ patients	7	7	2	1	-	-
Leukocytosis/ patients	10	7	-	-	1	1
Eosinophilia/ patients	7	8	2	1	-	-
Low TP/ patients	-	4	2	-	-	-
High ESR/ patients	12	7	2	1	1	1
Systemic Tx	MTX Acitretin CsA	MTX Pred	Dexa IV Pred	Pred AZA HCQ	Pred AZA	Itraconazole Pred
Durations of Tx,months	12	9.3	3.25	12	12	2
% of last BSA,(min-max)	40 (5-100)	0 (0-35)	0	30	20	0
Complete clearance, patients	-	6	2	-	-	1

DRESS, drug reaction with eosinophilia and systemic symptoms; LE, lupus erythematosus; DM, dermatomyositis; PV, pemphigus vulgaris; PSA, psoriatic arthritis; AI, adrenal insufficiency; ARF, acute renal failure; Hb, hemoglobin; WBC, white blood cell; Eo, eosinophil; TP, total protein; ESR, erythrocyte sedimentation rate; Tx, treatments; MTX, methotrexate; CsA, cyclosporine A; pred, prednisolone; dexa, dexamethasone; IV, intraveneous; AZA, azathioprine; HCQ, hydroxychloroquine; BSA, body surface area

As shown in Table 2, psoriasis was the predominant etiology of ED. The mean age of psoriasis patients was 44 years. This group had plaque type psoriasis (15 patients) and pustular

psoriasis (2 patients). Nail alterations were the most common among other clinical features: pitting nail, onycholysis, chronic paronychia, subungual hyperkeratosis, nail dystrophy, onychomadesis, oil spot, and beau line. Abnormal investigations were anemia, leukocytosis, and high ESR. Treatments of psoriasis included methotrexate (7.5-15 mg/week, 10 patients), acitretin (10-25 mg/day, 10 patients), cyclosporine (100-250 mg/day, 4 patients), topical steroid, topical vitamin D analogue, topical tar, emollient, and antihistamine. The mean duration of treatments was 12 months. The median BSA of the last following episode was 40% (min-max: 5-100%) and no complete clearance (0% BSA) at the 12th month.

Table 3 The comparison of demographic data, laboratory investigations, treatments, and outcomes between the psoriasis and eczema groups in exfoliative dermatitis patients

	Psoriasis (17 patients)	Eczema (10 patients)	P-value
Ages, years	44	58.8	0.036 (95%CI: -28.6 - -1.0)[1]
Percentages of eosinophil, %	3	12	0.027[2]
Eosinophil count, /mm^3	368.1	961.4	0.018[2]
Total protein, g/dL	7.4	6.7	0.02 (95%CI: 0.3-1.2)[1]
Low total protein, patients	0	4	0.012[3]
Durations of treatments, months	12	9.3	0.037 (95%CI: 0.2-5.2)[1]
Percentages of last BSA, %	40	0	0.001[2]
Complete clearance, patients	0	6	0.001[3]

1, Student t-test, 2 Mann-Whitney test, 3 Fisher's exact test

The eczema group had 10 patients (9 eczema, 1 atopic dermatitis, no evidence of contact dermatitis). The mean age was 58.8 years. Nail alterations were the most common among other clinical features (8 chronic paronychia, 1 onychomadesis). One patient had generalized lymphadenopathy (histopathology of the lymph node was reactive hyperplasia). Abnormal investigations included anemia, leukocytosis, eosinophilia, and high ESR. One patient had *Staphylococcus aureus* septicemia. Treatments of eczema were methotrexate (7.5-12.5 mg/week, 6 patients), prednisolone (20 mg/day, 3 patients), topical steroid, emollient, and antihistamine. The mean duration of treatments was 9.3 months. The median BSA of the last following episode was 0%

(min-max: 0-35%) and 6 patients had complete clearance during the treatments (Table 2).

Two patients had DRESS syndrome. The culprit drugs were allopurinol and rifampin. Other clinical features were fever, conjunctivitis, oral mucositis, hepatitis, generalized lymphadenopathy, and acute renal failure. The treatment was high dose systemic steroids and tapered off within 3 months. One patient had PV presented with generalized scaly erythema skin (100% BSA) with multiple erosions (30% BSA). The other 2 patients were cases of LE/DM overlap, and extensive dermatophytosis (Table 2).

As shown in Table 3, the comparison between the psoriasis and eczema groups showed that the mean age was higher in the eczema group (P=0.036, 95%CI: -28.6 - -1.0). High percentages of eosinophil (P=0.027), high eosinophil count (P=0.018), low serum total protein level (P=0.02), and number of low serum total protein patients (P=0.012) were statistically significant in the eczema group. The eczema group had shorter durations of treatments (P=0.037), lower percentages of last BSA (P=0.001), and higher numbers of complete clearance patients (P=0.001) than the psoriasis group.

Discussion

In two previous studies in Thailand by Leenutaphong et al. and Sakuntaphai et al. it was shown that the hospital incidences of ED were 4.9 cases/year in 100,000 dermatological outpatients[3] and 9 cases/year[4], respectively. For a period of 1 year in Sakon Nakhon, the hospital incidence of ED was 160 cases/100,000 dermatological patients or 32 cases/year. The higher incidence of ED in this study may be explained by the fact that (i) the hospital did not have a full-time position for a dermatologist before, thus patients might receive inadequate treatments that could cause the exacerbation of previous skin disorders, and (ii) some patients were referred from other hospitals due to lack of dermatologists in their hospitals. Males predominated in this study, and this finding was similar to the previous reports[4,8,9]. The mean age was 50 years. This result was similar to two studies in Thailand[3,4] and Banerjee et al[8]. Similar to the findings of previous studies[6,8,10], the most frequent etiology associated with ED in this study was psoriasis.

Nail alterations and fever were most frequent symptoms in this study. Five patients had hepatitis. During treatments, the liver function test of 4 patients became normal. This finding may be explained by the subsiding of the inflammation process. One patient had a persistently high level of AST and ALT caused by alcohol dependence. 3 patients had generalized lymphadenopathy DRESS syndrome, eczema, and extensive dermatophytosis). During the follow up, the enlarged lymph nodes of DRESS syndrome and extensive dermatophytosis patients became

normal in size. This may be because the drug allergy and infection had improved.

Abnormal investigations (Table 1) included anemia, leukocytosis, eosinophilia, and high ESR, similar to previous reports[4,5,6,10,11]. Eleven in 32 patients had hypoalbuminemia, similar to Miyashiro et al.[5] and Kondo et al.[12], but the mean of albumin was normal (3.5 g/dL). However this result was nearly hypoalbuminemia. The hypoalbuminemia occurs probably due to extensive protein loss caused by a high epidermal turnover rate[13,14].

In the comparison between the psoriasis and eczema groups, we found that the mean age was higher in the eczema group, similar to Miyashiro et al.[5] However, another study, Cesar et al., showed the mean age for eczema lower than the psoriasis group[15]. Thus, long-term prospective studies are needed in the future. High percentages of eosinophil, high eosinophil count, low serum total protein, and number of low serum total protein patients were statistically significant in the eczema group. Eosinophilia usually occurs in eczema, because eosinophilia has generally been considered to be a hallmark of allergic diseases (especially eczema group or asthma)[16]. Low serum total proteins are known to be due to protein leakage through severe skin lesions and may be combined with a low diet intake in elderly patients. The eczema group had shorter durations of treatments, lower percentages of last BSA, and higher numbers of complete clearance patients than the psoriasis group, similar to Miyashiro et al.[5] This finding showed ED from eczema has a better prognosis than ED from psoriasis. The absence of relapse or death in this study may be due to the short durations of the study and lack of malignancy-associated ED. The limitation of the study was the short duration of time that was given to carry out the research. A long-term prospective study is needed in future research.

Conclusion

This is a prospective study of exfoliative dermatitis conducted over 1 year. Psoriasis was the most frequent etiology of exfoliative dermatitis. Pruritic erythematous plaques with scales were the main symptoms. Anemia, leukocytosis, eosinophilia, and high ESR were found in most patients. The exfoliative dermatitis from the eczema group had a better prognosis than for the psoriasis group.

References

1. Sigurdsson V, Steegmans PH, van Vloten WA. The incidence of erythroderma: a survey among all dermatologists in the Netherlands. J Am Acad Dermatol 2001;45:675-8.
2. Hasan T, Jansén CT: Erythroderma: a follow-up of fifty cases. J Am Acad Dermatol 1983;8:836-40.
3. Leenutaphong V, Kulthanan K, Pohboon C, Suthipinittharn P, Sivayathorn A, Sunthonpalin P.

Erythroderma in Thai patients. J Med Assoc Thai 1999;82:743-8.

4. Sakuntaphai A. Exfoliative dermatitis: a report of 28 cases. Thai J Dermatol 1987;3:71-5.
5. Miyashiro D, Sanches JA. Erythroderma: a prospective study of 309 patients followed for 12 years in a tertiary center. Sci Rep 2020;10:9774.
6. Sehgal VN, Srivastava G. Exfoliative dermatitis: A prospective study of 80 patients. Dermatologica 1986;173:278-84.
7. Cuellar-Barboza A, Ocampo-Candiani J, Herz-Ruelas ME. A Practical Approach to the Diagnosis and Treatment of Adult Erythroderma. Actas Dermosifiliogr 2018;109:777-90.
8. Banerjee S, Ghosh S, Mandal RK. A Study of Correlation Between Clinical and Histopathological Findings of Erythroderma in North Bengal Population. Indian J Dermatol 2015;60:549-55.
9. Salami TA, Enahoro Oziegbe O, Omeife H. Exfoliative dermatitis: patterns of clinical presentation in a tropical rural and suburban dermatology practice in Nigeria. Int J Dermatol 2012;51:1086-9.
10. Khaled A, Sellami A, Fazaa B, Kharfi M, Zeglaoui F, Kamoun MR. Acquired erythroderma in adults: a clinical and prognostic study. J Eur Acad Dermatol Venereol 2010;24:781-8.
11. Sigurdsson V, Toonstra J, Hezemans-Boer M, van Vloten WA. Erythroderma. A clinical and follow-up study of 102 patients, with special emphasis on survival. J Am Acad Dermatol 1996;35:53-7.
12. Kondo RN, Gon ADS, Minelli L, Mendes M, Pontello R. Exfoliative dermatitis: clinical and etiologic study of 58 cases. An Bras Dermatol 2006;81:233-7.
13. Li J, Zheng HY. Erythroderma: a clinical and prognostic study. Dermatology 2012;225:154-62.
14. Rothe MJ, Bernstein ML, Grant-Kels JM. Life-threatening erythroderma: diagnosing and treating the "red man". Clin Dermatol 2005;23:206-17.
15. César A, Cruz M, Mota A, Azevedo F. Erythroderma. A clinical and etiological study of 103 patients. J Dermatol Case Rep 2016;10:1-9.
16. Long H, Zhang G, Wang L, Lu Q. Eosinophilic Skin Diseases: A Comprehensive Review. Clin Rev Allergy Immunol 2016;50:189-213.

0.6

Sci2.3-30

Received: 5 Nov 2021, Revised: 6 Nov 2021

Accepted: 10 Nov 2021

นิพนธ์ต้นฉบับ

ความคาดหวังต่อสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ของนักวิชาการสาธารณสุข

ศศิวรรณ ทัศนเอี่ยม[1], นำพร อินสิน[1*] วิบูลย์สุข ตาลกุล[1] กาญจนา วงษ์สวัสดิ์[2]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นวิจัยเชิงพรรณนามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) สมรรถนะปัจจุบันและความคาดหวังต่อสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ของนักวิชาการสาธารณสุข และ 2) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสมรรถนะปัจจุบันและสมรรถนะที่คาดหวังต่อสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ของนักวิชาการสาธารณสุข กลุ่มตัวอย่างได้แก่ นักวิชาการสาธารณสุข หรือเจ้าพนักงานสาธารณสุข ที่มีคำสั่งให้ปฏิบัติหน้าที่ในตำแหน่งนักวิชาการสาธารณสุขในเขตพื้นที่สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนครและมีประสบการณ์การทำงานด้านสาธารณสุขอย่างน้อย 1 ปี จำนวน 300 คน ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเป็นระบบ เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละ ค่าความต้องการจำเป็นโดยใช้ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสมรรถนะปัจจุบันและสมรรถนะที่คาดหวัง ผลการวิจัย พบว่า สมรรถนะปัจจุบันทุกด้านอยู่ในระดับปานกลาง ความคาดหวังต่อสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ทุกด้านอยู่ในระดับสูง เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ระหว่างสมรรถนะปัจจุบันและสมรรถนะที่คาดหวังรายด้าน พบว่า ด้านการรู้เท่าทันสื่อ ด้านการสื่อสาร และด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสมรรถนะปัจจุบันและสมรรถนะที่คาดหวังมากที่สุด เท่ากับ 1.15 (95%CI 1.07-1.24) 1.13 (95%CI 1.03-1.18) และ1.12 (95%CI 1.04-1.20) ตามลำดับ ดังนั้นการพัฒนากำลังคนด้านสาธารณสุขควรพัฒนาสมรรถนะด้านการรู้เท่าทันสื่อ การสื่อสาร ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเพื่อรองรับมาตรการของสาธารณสุขในพื้นที่ชุมชนที่เท่าทันต่อการเปลี่ยนแปลงในศตวรรษที่ 21

คำสำคัญ สมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ความคาดหวัง นักวิชาการสาธารณสุข

[1] อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

* Corresponding author: numporn@snru.ac.th

Original Article

Expectations of Desired Competency in the 21st Century among Public Health Technical Officer

Sasiwan Tassana-iem[1], Numporn Insin[1*], Wiboonsuk Talkul[1], Kanjana Vongsawat[2]

Abstract

This descriptive research aimed to study the current competency and expectations of desired competency in the 21st century among public health technical officer and 2) Comparison of mean difference between current competency and expectations of desired competency in the 21st century among public health technical officer. 300 samples were public health technical officer or public health officer who orders to perform duties in the position of a public health technical officer and had at least 1 year of working experiences in public health in the area of the Sakon Nakhon provincial public health office. The samples were selected by using a systematic random sampling. Data were collected by using a questionnaire developed by the researchers from the literature review. Data were analyzed by using statistics, mean, standard deviation, percentage, and the difference between the mean score between current and expected competencies. The results showed that the current competency had all aspects were moderately level. The expectations of desired competency in the 21st century had all aspects were high level. Considering the difference between current and expected competencies, the highest mean difference was the media literacy, communication, and creativity and innovation which revealed 1.15 (95%CI 1.07-1.24),1.13 (95%CI 1.03-1.18), and 1.12 (95%CI 1.04-1.20) respectively. Therefore, the media literacy, communication, and creativity and innovation competencies should be improved among health manpower to support measures of public health in community areas to respond to the changes in the 21st century.

Keywords: competency in the 21st century, expectations, public health technical officer

[1]Lecturer, Program of Health Science, Sakon Nakhon Rajabhat University

[2]Assistant professor, Program of Health Science, Sakon Nakhon Rajabhat University

* Corresponding author: numporn@snru.ac.th

บทนำ

การปรับเปลี่ยนทางสังคมที่เกิดขึ้นในศตวรรษที่ 21 เป็นยุคที่มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง วัฒนธรรม และระบบบริการสุขภาพ มีการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence; AI) เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยมนุษย์ในการดำเนินชีวิตและการทำงานในยุคดิจิทัลทั้งในภาคการผลิตและการบริการทำให้ประชาชนเข้าถึงแหล่งข้อมูลและบริการสะดวกมากขึ้นจึงมีความคาดหวังสูงต่อบริการในระบบสุขภาพ[1] การพัฒนากำลังคนด้านสาธารณสุขจึงเป็นส่วนสำคัญที่จะขับเคลื่อนระบบสุขภาพเพื่อจะส่งมอบบริการสุขภาพตอบสนองต่อความความคาดหวัง และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างก้าวกระโดด เพื่อให้ผู้รับบริการเกิดความมั่นใจในชีวิต ความพึงพอใจและประทับใจ[2]

นักวิชาการสาธารณสุขเป็นวิชาชีพหนึ่งด้านสุขภาพที่มีบทบาทลดความเสี่ยงในการเจ็บป่วยและการเกิดโรคด้วยการสร้างเสริมสุขภาพ การควบคุมและป้องกันโรค รวมทั้งการอนามัยสิ่งแวดล้อม อันจะนำไปสู่การมีสุขภาวะที่สมบูรณ์อย่างยั่งยืนของประชาชนตามพระราชบัญญัติวิชาชีพการสาธารณสุข พ.ศ. 2556[3] นอกจากนี้การเกิดโรคภัยต่าง ๆ ทั้งการระบาดของโรคอุบัติใหม่ อุบัติซ้ำ ที่ทำให้บุคลากรสุขภาพต้องปรับตัวให้เท่าทันการเปลี่ยนแปลง ทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 จึงเป็นเป้าหมายหนึ่งในยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561 – 2580[4] ซึ่งประกอบด้วยทักษะการเรียนรู้และสร้างนวัตกรรมใหม่ (Learning and Innovation Skills) เช่น หมั่นฝึกฝน พัฒนาตัวเองเรียนให้เกิดทักษะ เรียนโดยการปฏิบัติ (Learning By Doing) การคิดวิเคราะห์เรียนรู้วิธีการแก้ปัญหา มีความคิดสร้างสรรค์ มีทักษะในการสื่อสาร และทักษะแห่งความร่วมมือ การรู้เท่าทันดิจิทัล ได้แก่ การสื่อสาร สารสนเทศ และการรู้เท่าทันสื่อ (Communications, Information and Media Literacy) และทักษะชีวิตและอาชีพ (Life and Career Skills) เช่น ทักษะการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล ทักษะทางสังคม การมองโลกในแง่ดี การควบคุมอารมณ์ การทำประโยชน์เพื่อผู้อื่น มีภาวะผู้นำ[5] ที่จะช่วยพัฒนาและยกระดับทรัพยากรมนุษย์ที่ดี เก่ง มีคุณภาพ เป็นคนที่มีศักยภาพสูงและมีทักษะชีวิตเพื่อการประกอบอาชีพพร้อมขับเคลื่อนการพัฒนาประเทศไปข้างหน้าได้อย่างเต็มศักยภาพ[4]

จากการศึกษาที่มีมาก่อนพบว่าสมรรถนะ คือ คุณลักษณะของบุคคลเกี่ยวกับผลการปฏิบัติงานมีการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะของนักวิชาการสาธารณสุขในหน่วยบริการปฐมภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับสำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือนที่กำหนดให้นักวิชาการสาธารณสุขต้องมีความรู้และสมรรถนะหลัก 5 ด้าน ประกอบไปด้วย 1) ด้านการมุ่งสัมฤทธิ์ 2) ด้านการบริการที่ดี 3) ด้านการสั่งสมความเชี่ยวชาญในงานอาชีพ 4) ด้านการยึดมั่นในความถูกต้องชอบธรรมและจริยธรรม และ 5) ด้านการทำงานเป็นทีม ด้านการคิดวิเคราะห์ และด้านการสร้างสัมพันธภาพ[6,7] นอกจากนี้มีการศึกษาตัวชี้วัดสมรรถนะและการพัฒนานักวิชาการสาธารณสุข ซึ่งมี 5 องค์ประกอบหลัก คือ 1) ทักษะสำคัญในงานสาธารณสุขชุมชน ได้แก่ ด้านส่งเสริมสุขภาพ ด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม การเฝ้าระวังและการควบคุมโรค ด้านบำบัดรักษาเบื้องต้น ด้านสุขศึกษาและพัฒนาพฤติกรรมสุขภาพ 2) ความสามารถในการแก้ปัญหาสาธารณสุขในชุมชน ได้แก่ วิเคราะห์และประมวลปัญหาสาธารณสุข วินิจฉัยปัญหาสาธารณสุข วางแผนงานและประเมินผลการดำเนินการแก้ไขปัญหาสาธารณสุขชุมชน 3) คุณลักษณะเชิงวิชาการ ได้แก่ ด้านการวิจัยและการพัฒนานวัตกรรมสุขภาพ ด้านเทคโนโลยีและสารสนเทศระบบคิดการเชิงสุขภาพและการสื่อสารด้านสุขภาพ 4) การบริหารจัดการงานสาธารณสุขชุมชน ได้แก่ ภาวะผู้นำและการพัฒนาภาวะผู้นำและการทำงานเป็นทีม การสัมพันธภาพและเครือข่าย และ 5) ทักษะชีวิต ได้แก่ การพัฒนาตนเองเชิงวิชาชีพ การเป็นผู้นำด้านสุขภาพ วัฒนธรรม คุณธรรมจริยธรรม และจรรยาบรรณวิชาชีพ[8,9] สอดคล้องกับขอบเขตการปฏิบัติงานตามพระราชบัญญัติวิชาชีพการสาธารณสุขชุมชน[3]

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นพบว่าการปรับเปลี่ยนทางสังคมในศตวรรษที่ 21 ที่มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี นักวิชาการสาธารณสุขต้องปรับตัวให้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงโดยพัฒนาสมรรถนะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 เพื่อสอดคล้องตามเป้าหมายยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561 – 2580 แต่จากการศึกษาสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ของนักวิชาชีพการสาธารณสุขเพื่อให้รู้ถึงระดับสมรรถนะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 ที่มีอยู่ และสมรรถนะที่ควรส่งเสริมศักยภาพตามความคาดหวังของนักวิชาการสาธารณสุขยังมีอยู่อย่างจำกัด จากเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาสมรรถนะปัจจุบันและความคาดหวังต่อสมรรถนะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ของนักวิชาการสาธารณสุข เพื่อนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสร้างกรอบการพัฒนาและการจัดการศึกษาที่จะสามารถพัฒนาสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ของนักวิชาการสาธารณสุขได้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงของโลก รวมถึงได้ข้อเสนอต่อการพัฒนาหลักสูตรให้แก่ผู้เรียนในหลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์ที่จะผลิตบัณฑิตให้พร้อมกับการทำงานด้านสาธารณสุขในศตวรรษที่ 21

วัตถุประสงค์การวิจัย

1.เพื่อศึกษาสมรรถนะปัจจุบันของนักวิชาการสาธารณสุขในศตวรรษที่ 21

2.เพื่อศึกษาความคาดหวังต่อสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ของนักวิชาการสาธารณสุข

3.เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสมรรถนะปัจจุบันและความคาดหวังต่อสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ของนักวิชาการสาธารณสุข

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive research) เก็บข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม ถึง มีนาคม พ.ศ. 2564

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ นักวิชาการสาธารณสุข หรือเจ้าพนักงานสาธารณสุขที่มีคำสั่งให้ปฏิบัติหน้าที่ในตำแหน่งนักวิชาการสาธารณสุข ในเขตพื้นที่สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนครและมีประสบการณ์การทำงานด้านสาธารณสุขอย่างน้อย 1 ปี จำนวน 950 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาผู้วิจัยได้กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยเปิดตารางขนาดกลุ่มตัวอย่างของ Krejcie & Morgan[10] ระดับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ 5% ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ขนาดตัวอย่าง 274 คน และเพื่อป้องกันความเสี่ยงจากการสูญหายระหว่างการเก็บข้อมูลจึงเพิ่ม 10% ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 301 คน ได้รับแบบสอบถามคืน 300 คน คิดเป็นร้อยละ 99.7 การสุ่มตัวอย่างใช้วิธีสุ่มแบบหลายขั้นตอนโดยการสุ่มเลือก 9 อำเภอ จากทั้งหมด 18 อำเภอ จากนั้นสุ่มเลือกแบบเป็นระบบโดยนำรายชื่อทั้งหมดในเขตที่สุ่มได้มาเรียงต่อกันแบ่งสัดส่วนตามขนาดของประชากร โดยมีเกณฑ์การคัดเข้า ได้แก่ นักวิชาการสาธารณสุข หรือเจ้าพนักงานสาธารณสุข ที่มีคำสั่งให้ปฏิบัติหน้าที่ในตำแหน่งนักวิชาการสาธารณสุข ในเขตพื้นที่สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนครและมีประสบการณ์การทำงานด้านสาธารณสุขอย่างน้อย 1 ปี ยินดีร่วมการวิจัย เกณฑ์การคัดออก ได้แก่ ย้ายที่อยู่หรือที่ทำงาน หรือมีความเจ็บป่วยที่เป็นอุปสรรคต่อการให้ข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถามสมรรถนะปัจจุบันและความคาดหวังต่อสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ของนักวิชาการสาธารณสุข ครอบคลุมสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 3 ด้าน ได้แก่ 1) การเรียนรู้และนวัตกรรม 25 ข้อ 2) การรู้เท่าทันดิจิทัล 14 ข้อ และ 3) อาชีพและชีวิต 21 ข้อ ซึ่งลักษณะข้อคำถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่าแบบลิเคิร์ท 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด จำนวน 60 ข้อ เกณฑ์การแปลผลคะแนนเฉลี่ยตามแนวคิดของ John W . Best[11] คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 1 – 5 แบ่งเป็น 3 ระดับได้แก่ สมรรถนะควร

พัฒนา (คะแนนเฉลี่ย 1.0 - 2.3) สมรรถนะปานกลาง (คะแนนเฉลี่ย 2.4 – 3.7) และสมรรถนะสูง (คะแนนเฉลี่ย 3.8 – 5.0)

การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ ตรวจสอบความเที่ยงตามเนื้อหา (Content Validity) ของแบบสอบถามสมรรถนะปัจจุบันและความคาดหวังต่อสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ของนักวิชาการสาธารณสุขด้วยวิธีหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ของแบบสอบถาม (IOC: Index of Item Objective Congruence) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ได้ค่าเท่ากับ 0.96 และตรวจสอบความเชื่อมั่นของเครื่องมือวิจัย (reliability) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์อัลฟ่าของครอนบาร์ค (Cronbach's alpha coefficient) แบบสอบสมรรถนะปัจจุบัน ได้เท่ากับ 0.98 และแบบสอบถามสมรรถนะที่คาดหวัง ได้เท่ากับ 0.99

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การศึกษาเอกสาร สังเคราะห์สมรรถนะที่พึงประสงค์ในศตวรรษที่ 21 ของนักวิชาการสาธารณสุขที่เป็นสมรรถนะที่จำเป็น

2. ส่งหนังสือขออนุญาตเก็บข้อมูล และเอกสารชี้แจงขอเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่าง ไปยังสำนักงานสาธารณสุขอำเภอในจังหวัดสกลนครทางไปรษณีย์

3. เมื่อกลุ่มตัวอย่างอ่านเอกสารคำชี้แจงเข้าใจแล้ว ยินยอมโดยความสมัครใจจึงตอบแบบสอบถามแล้วจึงส่งเอกสารกลับมาให้ผู้วิจัยทางไปรษณีย์

จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

การวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เลขที่รับรอง 018/2563 ลงวันที่ 3 กันยายน พ.ศ. 2563

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป และสถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละ ค่าความต้องการจำเป็นโดยใช้ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสมรรถนะปัจจุบันและสมรรถนะที่คาดหวัง และสถิติ paired t-test

ผลการวิจัย

ลักษณะทางประชากร พบว่า ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 75.3 ส่วนใหญ่อายุ ต่ำกว่า 35 ปี คิดเป็นร้อยละ 69.3 อายุเฉลี่ย 34.7 ปี (SD = 7.94) ส่วนใหญ่ทำงานที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล คิดเป็นร้อยละ 65.7 ปี มีประสบการณ์การทำงานด้านสาธารณสุข น้อยกว่าเท่ากับ 10 ปี มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 59.7 ประสบการณ์การทำงานด้านสาธารณสุขเฉลี่ย 11.9 ปี (SD = 8.4)

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย จำแนกตามสมรรถนะปัจจุบันและความคาดหวังต่อสมรรถนะนักวิชการสาธารณสุขในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์รายด้าน
(n = 300)

สมรรถนะในศตวรรษที่ 21	สมรรถนะปัจจุบัน			สมรรถนะที่คาดหวัง			Mean difference (95%CI)
	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	
1. การเรียนรู้และนวัตกรรม	**3.32**	**0.73**	**ปานกลาง**	**4.42**	**0.57**	**สูง**	**1.10 (1.03-1.18)**
1.1 การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา	3.33	0.73	ปานกลาง	4.42	0.59	สูง	1.08 (1.01-1.15)

สมรรถนะในศตวรรษที่ 21	สมรรถนะปัจจุบัน			สมรรถนะที่คาดหวัง			Mean difference (95%CI)
	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	
1.2 การสื่อสาร	3.30	0.77	ปานกลาง	4.43	0.58	สูง	1.13 (1.03-1.18)
1.3 การทำงานร่วมกับผู้อื่น	3.40	0.76	ปานกลาง	4.44	0.59	สูง	1.04 (0.97–1.11)
1.4 ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม	3.27	0.79	ปานกลาง	4.39	0.64	สูง	1.12 (1.04-1.20)
2. การรู้เท่าทันดิจิทัล	**3.33**	**0.76**	**ปานกลาง**	**4.41**	**0.60**	**สูง**	**1.07 (1.00– 1.15)**
2.1 การรู้เท่าทันสารสนเทศ	3.56	0.76	ปานกลาง	4.41	0.61	สูง	1.05 (0.98-1.13)
2.2 การรู้เท่าทันสื่อ	3.26	0.81	ปานกลาง	4.41	0.63	สูง	1.15 (1.07-1.24)
2.3 เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร	3.36	0.81	ปานกลาง	4.40	0.63	สูง	1.04 (0.96-1.12)
3. อาชีพและชีวิต	**3.33**	**0.72**	**ปานกลาง**	**4.39**	**0.59**	**สูง**	**1.06 (0.99-1.13)**
3.1 ความยืดหยุ่นและความสามารถในการปรับตัว	3.39	0.89	ปานกลาง	4.46	0.65	สูง	1.07 (0.98-1.16)
3.2 ความคิดริเริ่มและการกำกับตนเอง	3.28	0.79	ปานกลาง	4.38	0.62	สูง	1.09 (1.01-1.17)
3.3 การปฏิสัมพันธ์ทางสังคมและข้ามวัฒนธรรม	3.38	0.72	ปานกลาง	4.37	0.60	สูง	0.99 (0.91-1.07)
3.4 การมีผลงานและความรับผิดชอบตรวจสอบได้	3.42	0.81	ปานกลาง	4.38	0.69	สูง	0.97 (0.87-1.05)
3.5 ภาวะผู้นำและความรับผิดชอบ	3.29	0.75	ปานกลาง	4.40	0.63	สูง	1.10 (1.02-1.18)

* SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สมรรถนะปัจจุบันของนักวิชาการสาธารณสุขในศตวรรษที่ 21

จากตาราง 1 พบว่า สมรรถนะปัจจุบัน 3 ด้าน อยู่ในระดับปานกลาง โดยมีค่าเฉลี่ยด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม 3.32 (SD = 0.73) ด้านการรู้เท่าทันดิจิตอล 3.33 (SD = 0.76) และด้านทักษะชีวิตและอาชีพ 3.33 (SD = 0.72) โดยสมรรถนะปัจจุบันรายด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ การรู้ทันสารสนเทศ 3.56 (SD = 0.76) การมีผลงานและความรับผิดชอบตรวจสอบได้ 3.42 (SD = 0.81) และการทำงานร่วมกับผู้อื่น 3.40 (SD = 0.76) สมรรถนะปัจจุบันรายด้านที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ การรู้เท่าทันสื่อ 3.26 (SD = 0.81) ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม 3.27 (SD = 0.79) และความคิดริเริ่มและการกำกับตนเอง 3.28 (SD = 0.79)

ความคาดหวังต่อสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ของนักวิชาการสาธารณสุข

จากตาราง 1 พบว่า ความคาดหวังต่อสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ 3 ด้านอยู่ในระดับสูง โดยมีค่าเฉลี่ยด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม 4.42 (SD =

0.57) ด้านการรู้เท่าทันดิจิตอล 4.41 (SD = 0.60) และด้านทักษะชีวิตและอาชีพ 4.39 (SD = 0.59) โดยสมรรถนะที่คาดหวังรายด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ความยืดหยุ่นและความสามารถในการปรับตัว 4.46 (SD = 0.65) การทำงานร่วมกับผู้อื่น 4.44 (SD = 0.59) และการสื่อสาร 4.43 (SD = 0.58) คาดหวังรายด้านที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ การปฏิสัมพันธ์ทางสังคมและข้ามวัฒนธรรม 4.37 (SD = 0.60) ความคิดริเริ่มและการกำกับตนเอง 4.38 (SD = 0.62) และการมีผลงานและความรับผิดชอบตรวจสอบได้ 4.38 (SD = 0.69)

ความแตกต่างระหว่างสมรรถนะปัจจุบันและความคาดหวังต่อสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ของนักวิชาการสาธารณสุข

จากตาราง 1 พบว่า สมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม มีค่าความต่างของคะแนนเฉลี่ยระหว่างสมรรถนะปัจจุบันและสมรรถนะที่ความคาดหวังมากที่สุด เท่ากับ 1.10 (95%CI 1.03-1.18) รองลงมาคือด้านการรู้เท่าทันดิจิทัล 1.07 (95%CI 1.00-1.15)

เมื่อพิจารณารายองค์ประกอบที่มีค่าความต่างของคะแนนเฉลี่ยระหว่างสมรรถนะปัจจุบันและสมรรถนะที่ความคาดหวังมากที่สุด 3 สมรรถนะแรก คือ สมรรถนะด้านการรู้เท่าทันสื่อ ค่าความแตกต่างเท่ากับ 1.15 (95%CI 1.07-1.24) รองลงมาคือสมรรถนะด้านการสื่อสาร ค่าความแตกต่างเท่ากับ 1.13 (95%CI 1.03-1.18) โดยพบว่า 1) สมรรถนะด้านการรู้เท่าทันสื่อ ที่มีค่าความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยระหว่างสมรรถนะปัจจุบันและสมรรถนะที่ความคาดหวังมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ สามารถใช้สื่อให้เกิดประโยชน์ด้านสาธารณสุข 1.23 (95%CI 1.12-1.34) สามารถวิเคราะห์สื่อ การตีความเนื้อหาของสื่อ การประเมินค่าและเข้าใจผลกระทบของสื่อ 1.18 (95%CI 1.07-1.29) และสร้างความรอบรู้ด้านสุขภาพให้กับประชาชนได้ 1.14 (95%CI 1.05-1.23) ดังแสดงในตาราง 3 2) สมรรถนะด้านการสื่อสารที่มีค่าความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยระหว่างสมรรถนะปัจจุบันและสมรรถนะที่ความคาดหวังมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ สามารถพูดในที่ชุมชนเพื่อการสื่อสารสุขภาพได้ 1.27 (95%CI 1.15-1.38) สามารถเลือกรูปแบบการศึกษาที่เหมาะสมกับปัญหาสาธารณสุขได้ 1.26 (95%CI 1.16-1.36) สามารถเลือกและใช้สื่อที่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายได้ 1.19 (95%CI 1.09-1.30) ดังแสดงในตาราง 2 และ 3) สมรรถนะด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่มีค่าความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยระหว่างสมรรถนะปัจจุบันและสมรรถนะที่ความคาดหวังมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ สามารถพัฒนาบุคคลหรือพื้นที่ต้นแบบด้านสุขภาพได้ 1.23 (95%CI 1.13-1.33) สามารถออกแบบกิจกรรมการพัฒนาคุณภาพได้ 1.11 (95%CI 1.02-1.21) และสามารถจัดกระบวนการจัดการความเสี่ยงต่อสุขภาพได้ 1.10 (95%CI 1.00-1.20) ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จำแนกตามสมรรถนะปัจจุบันและความคาดหวังต่อสมรรถนะนักวิชาการสาธารณสุขในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ด้านการสื่อสาร (n = 300)

สมรรถนะในศตวรรษที่ 21	สมรรถนะปัจจุบัน			สมรรถนะที่คาดหวัง			Mean difference (95%CI)
	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	
ด้านการสื่อสาร	**3.30**	**0.77**	**ปานกลาง**	**4.43**	**0.58**	**สูง**	**1.13 (1.03-1.18)**
1. สามารถพูดในที่ชุมชนเพื่อการสื่อสารสุขภาพได้	3.22	0.94	ปานกลาง	4.49	0.67	สูง	1.27 (1.15-1.38)

สมรรถนะในศตวรรษที่ 21	สมรรถนะปัจจุบัน			สมรรถนะที่คาดหวัง			Mean difference (95%CI)
	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	
2. สามารถเลือกและใช้สื่อที่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายได้	3.27	0.87	ปานกลาง	4.47	0.67	สูง	1.19 (1.09-1.30)
3. สามารถผลิตสื่อที่มีคุณภาพสำหรับใช้ในการสื่อสารสุขภาพได้	3.24	0.90	ปานกลาง	4.34	0.70	สูง	1.10 (0.99-1.21)
4. สามารถสร้างความตระหนักและโน้มน้าวให้กลุ่มเป้าหมายปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพได้	3.33	0.86	ปานกลาง	4.47	0.66	สูง	1.14 (1.03-1.24)
5. สามารถติดตามประเมินผลทักษะหรือพฤติกรรมของกลุ่มเป้าหมายได้	3.39	0.89	ปานกลาง	4.39	0.69	สูง	1.00 (0.89-1.10)
6. สามารถเลือกรูปแบบการศึกษาที่เหมาะสมกับปัญหาสาธารณสุขได้	3.23	0.85	ปานกลาง	4.48	0.69	สูง	1.26 (1.16-1.36)
7. สามารถให้คำแนะนำระดับบุคคล เพื่อให้มีสุขภาพอนามัยดี และมีความปลอดภัยในการทำงานได้	3.39	0.90	ปานกลาง	4.46	0.70	สูง	1.07 (0.98-1.17)
8. สามารถสื่อสารความเสี่ยงต่อสุขภาพ เพื่อได้รับความร่วมมือในการดำเนินงาน	3.32	0.92	ปานกลาง	4.42	0.72	สูง	1.10 (1.00-1.19)
9. สามารถอบรมให้ความรู้การเตรียมการรองรับอุบัติภัย การจัดการฉุกเฉินได้	3.25	0.93	ปานกลาง	4.38	0.73	สูง	1.12 (1.02-1.22)
10. สามารถให้คำปรึกษาในการป้องกันและแก้ไขปัญหาปัญหาสาธารณสุขได้ในทุกระดับ	3.39	0.91	ปานกลาง	4.45	0.71	สูง	1.06 (0.96-1.15)
11. สามารถให้คำปรึกษาการปรับปรุงสถานที่ให้เอื้อต่อการมีสุขภาพดีของผู้อยู่อาศัย และผู้ปฏิบัติงาน	3.28	0.93	ปานกลาง	4.43	0.72	สูง	1.15 (1.04-1.25)

* SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 3 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จำแนกตามสมรรถนะปัจจุบันและความคาดหวังต่อสมรรถนะนักวิชาการสาธารณสุขในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ด้านการรู้ทันสื่อ (n = 300)

สมรรถนะในศตวรรษที่ 21	สมรรถนะปัจจุบัน			สมรรถนะที่คาดหวัง			Mean difference (95%CI)
	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	
ด้านการรู้ทันสื่อ	**3.26**	**0.81**	**ปานกลาง**	**4.41**	**0.63**	**สูง**	**1.15 (1.07-1.24)**
1. สามารถสื่อสารและการใช้ข้อมูลในการตัดสินใจในการรักษาและปรับปรุงสุขภาพ	3.39	0.96	ปานกลาง	4.45	0.71	สูง	1.06 (0.96-1.16)

สมรรถนะในศตวรรษที่ 21	สมรรถนะปัจจุบัน			สมรรถนะที่คาดหวัง			Mean difference (95%CI)
	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	
2. สามารถวิเคราะห์สื่อ การตีความเนื้อหาของสื่อ การประเมินค่าและเข้าใจผลกระทบของสื่อ	3.10	0.96	ปานกลาง	4.29	0.83	สูง	1.18 (1.07-1.29)
3. สามารถใช้สื่อให้เกิดประโยชน์ด้านสาธารณสุข	3.19	0.91	ปานกลาง	4.42	0.71	สูง	1.23 (1.12-1.34)
4. สร้างความรอบรู้ด้านสุขภาพให้กับประชาชนได้	3.35	0.83	ปานกลาง	4.49	0.64	สูง	1.14 (1.05-1.23)

* SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จำแนกตามสมรรถนะปัจจุบันและความคาดหวังต่อสมรรถนะนักวิชาการสาธารณสุขในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (n = 300)

สมรรถนะในศตวรรษที่ 21	สมรรถนะปัจจุบัน			สมรรถนะที่คาดหวัง			Mean difference (95%CI)
	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	
ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม	**3.27**	**0.79**	**ปานกลาง**	**4.39**	**0.64**	**สูง**	**1.12 (1.04-1.20)**
1. สามารถสร้างทางเลือกวิธีแก้ปัญหาและความเป็นไปได้ใหม่ ๆ	3.30	0.96	ปานกลาง	4.38	0.73	สูง	1.08 (0.98-1.18)
2. สามารถแสดงความคิดที่มีประโยชน์และเหมาะสมเพื่อที่จะใช้ในการแก้ไขปัญหา และเพิ่มประสิทธิภาพงาน	3.29	0.98	ปานกลาง	4.38	0.75	สูง	1.09 (0.98-1.19)
3. สามารถออกแบบกิจกรรมการพัฒนาคุณภาพได้	3.28	0.90	ปานกลาง	4.39	0.74	สูง	1.11 (1.02-1.21)
4. สามารถจัดกระบวนการจัดการความเสี่ยงต่อสุขภาพได้	3.27	0.91	ปานกลาง	4.37	0.74	สูง	1.10 (1.00-1.20)
5. สามารถพัฒนาบุคคลหรือพื้นที่ต้นแบบด้านสุขภาพได้	3.22	0.89	ปานกลาง	4.45	0.69	สูง	1.23 (1.13-1.33)

* SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

สมรรถนะในศตวรรษ 21 ของนักวิชาการสาธารณสุข ประกอบด้วย 3 ด้านหลัก ได้แก่ การเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการรู้เท่าทันดิจิตอล และด้านทักษะชีวิตและอาชีพ จากผลการวิจัยพบว่านักวิชาการสาธารณสุขมีสมรรถนะปัจจุบันทุกด้านอยู่ในระดับปานกลาง โดยสมรรถนะด้านการรู้ทันสารสนเทศ การมีผลงานและความรับผิดชอบตรวจสอบได้ และการทำงานร่วมกับผู้อื่น มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ส่วนสมรรถนะด้านที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ การรู้เท่าทันสื่อ ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และความคิดริเริ่มและการกำกับตนเอง เนื่องจากนักวิชาการสาธารณสุขมีบทบาทสื่อสารประชาสัมพันธ์เพื่อให้ประชาชนเกิดความรู้ ความเข้าใจ และปฏิบัติตนเพื่อป้องกันโรคตามกรอบมาตรฐานวิชาชีพในพระราชบัญญัติวิชาชีพการสาธารณสุข พ.ศ. 2556[3] และจากสถานการณ์ของโลกที่มีการระบาดของโรคอุบัติใหม่ อุบัติซ้ำ ตลอดจนภัยพิบัติเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ล้วนมีความเกี่ยวข้องกับบทบาทของนักวิชาการสาธารณสุขที่ต้องใช้สื่อสารกับประชาชนทั้งสิ้น จึงมีการกล่าวถึงความจำเป็นของทักษะการสื่อสารความเสี่ยง (Risk communication) ในบุคลากรทางการแพทย์ ที่จะต้องให้ข้อมูลต่าง ๆ เพื่อการตัดสินใจของประชาชน โดยเฉพาะในช่วง ปี พ.ศ. 2562 เป็นต้นมา ที่มีการระบาดของ COVID-19[12] ทำให้นักวิชาการสาธารณสุขมีการใช้สารสนเทศได้มากขึ้นโดยมีการทำงานร่วมกับสหสาขาวิชาชีพ สอดคล้องกับการศึกษาของปริญญา จิตอร่าม[8] ที่พบว่าด้านเทคโนโลยีและสารสนเทศ ระบบคิดการเชิงสุขภาพและการสื่อสารด้านสุขภาพ การทำงานเป็นทีมเป็นองค์ประกอบตัวชี้วัดหนึ่งของสมรรถนะนักวิชาการสาธารณสุข

ความคาดหวังต่อสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ของนักวิชาการสาธารณสุข พบว่า สมรรถนะทั้ง 3 ด้านอยู่ในระดับสูง เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้องการจำเป็นโดยใช้ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสมรรถนะปัจจุบันและสมรรถนะที่คาดหวังต่อสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ของนักวิชาการสาธารณสุข พบว่าด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม และการรู้เท่าทันดิจิทัลเป็นสมรรถนะที่นักวิชาการสาธารณสุขคาดหวังมากที่สุด เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า สมรรถนะการรู้เท่าทันสื่อ การสื่อสารความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมมีค่าความต่างของคะแนนเฉลี่ยระหว่างสมรรถนะปัจจุบันและสมรรถนะที่ความคาดหวังมากที่สุด ซึ่งการรู้เท่าทันสื่อมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงที่สุดจากทุกองค์ประกอบ โดยนักวิชาการสาธารณสุขคาดหวังความสามารถใช้สื่อให้เกิดประโยชน์ด้านสาธารณสุข สามารถวิเคราะห์สื่อ การตีความเนื้อหาของสื่อ การประเมินค่าและเข้าใจผลกระทบของสื่อ และสร้างความรอบรู้ด้านสุขภาพให้กับประชาชนได้ สอดคล้องกับ Hannah Covert et al[13] ที่พบว่าสมรรถนะของผู้ปฏิบัติงานด้านสุขภาพชุมชนต้องมีสมรรถนะ การประเมินข้อมูลด้านสุขภาพทั้งระดับบุคคลและชุมชนได้ การปฏิบัติงานด้านสุขภาพในชุมชน การสื่อสารต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารด้านสุขภาพแก่ชุมชนได้ เคารพในความหลากหลายด้านสุขภาพของบุคคลและชุมชน มีความเป็นมืออาชีพ และมีความสามารถในการจัดการควบคุมโรค เนื่องจากนักวิชาการสาธารณสุขเป็นวิชาชีพที่กระทำการสาธารณสุขต่อบุคคลครอบครัว ชุมชน และอนามัยสิ่งแวดล้อม การส่งเสริมการเรียนรู้ การแนะนำและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการส่งเสริมสุขภาพการป้องกันโรค การควบคุมโรค การบำบัดโรคเบื้องต้น และการฟื้นฟูสภาพ ต่อบุคคล ครอบครัว และชุมชน โดยการผสมผสานต่อเนื่อง และเชื่อมโยงเป็นองค์รวม เป็นกรอบมาตรฐานวิชาชีพข้อหนึ่งในพระราชบัญญัติวิชาชีพการสาธารณสุข พ.ศ. 2556[3] ทักษะการรู้เท่าทันสื่อ และการสื่อสารเป็นทักษะด้านสุขภาพสำหรับผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพในศตวรรษที่ 21 (Global Health Competencies for 21st Century Health Professionals)[9] การสื่อสารใน

ศตวรรษที่ 21 ผู้สื่อสารต้องสามารถเลือกใช้วิธีการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพโดยคำนึงถึงผลกระทบที่มีต่อตนเอง ทักษะสื่อสาร ได้แก่ การสื่อสารอย่างชัดเจน สามารถถ่ายทอดความคิดและความคิดอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้วาจา การเขียน และอวัจนภาษา เลือกใช้การสื่อสารที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการสื่อสาร เช่น การแจ้งคำสั่ง กระตุ้นและชักชวน สามารถสื่อสารในรูปแบบและบริบทที่หลากหลาย การเป็นผู้ฟังอย่างตั้งใจและมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการใช้สื่อและเทคโนโลยีที่หลากหลาย[14] ซึ่งจากการเก็บข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงานสะท้อนเกี่ยวกับทักษะการสื่อสารที่เป็นปัญหา และอุปสรรคต่องานด้านสาธารณสุข ได้แก่ การเลือกใช้สื่อไม่เหมาะสมกับบริบท เช่น นำเสนอด้วยการใช้การแสดงภาพนิ่ง PowerPoint และเนื้อหาที่จะให้ความรู้หรือสื่อสารแก่ประชาชนใช้คำศัพท์เฉพาะ ศัพท์เทคนิค ทำให้ประชาชนไม่เข้าใจ รวมทั้งการเลือกสื่อไม่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย แหล่งข้อมูลข่าวที่ขาดความน่าเชื่อถือ ทำให้ผู้รับสารเข้าใจผิด โดยนักสาธารณสุขมีความคาดหวังที่ต้องการพัฒนาสมรรถนะ ได้แก่ พูดในที่ชุมชนเพื่อการสื่อสารสุขภาพ การเลือกและใช้สื่อที่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย และสร้างความตระหนักและโน้มน้าวให้กลุ่มเป้าหมายปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพได้ ซึ่งการสื่อสารวิธีต่าง ๆ เป็นการให้ความรู้ด้านสุขภาพที่มุ่งสู่เป้าหมายเหล่านี้ยังคงเป็นเครื่องมือพื้นฐานในการส่งเสริมสุขภาพและการป้องกันโรค[15] สอดคล้องกับการศึกษาของคณะอนุกรรมการวิจัยและพัฒนามาตรฐานวิชาชีพการสาธารณสุขชุมชน[16] ที่พบว่าสมรรถนะด้านการสื่อสาร เป็นองค์ประกอบหนึ่งของมาตรฐานวิชาชีพการสาธารณสุขชุมชนที่พึงประสงค์ของสังคม และสอดคล้องกับภมร ดรุณ และคณะ[17] ที่ศึกษากรอบสมรรถนะการรู้สารสนเทศด้านสุขภาพของนักวิชาการสาธารณสุขในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในประเทศไทย พบว่า การสื่อสารเป็นสมรรถนะที่สำคัญและเป็นองค์ประกอบของการรู้สารสนเทศด้านสุขภาพที่นักวิชาการสาธารณสุขควรมีสมรรถนะเกี่ยวกับวิธีการสื่อสารภายในชุมชน ใช้ความเข้าใจชุมชน เพื่อเผยแพร่สารสนเทศด้านสุขภาพที่สร้างขึ้นแบ่งปันข้อมูล เพื่อเผยแพร่สารสนเทศด้านสุขภาพที่สร้างขึ้น

นอกจากนี้สมรรถนะด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ของนักวิชาการสาธารณสุขที่มีความคาดหวังรองลงมาจากด้านการสื่อสาร โดยนักวิชาการสาธารณสุขคาดหวังถึงความสามารถพัฒนาบุคคลหรือพื้นที่ต้นแบบด้านสุขภาพได้ สามารถออกแบบกิจกรรมการพัฒนาคุณภาพได้ และสามารถจัดกระบวนการจัดการความเสี่ยงต่อสุขภาพได้ ซึ่งตามมาตรฐานการประกอบวิชาชีพการสาธารณสุขชุมชน พ.ศ. 2563[3] ผู้ประกอบวิชาชีพการสาธารณสุขชุมชนมีบทบาทสำคัญในการติดตามและประเมินผลการปฏิบัติงานเพื่อนำไปพัฒนาคุณภาพการให้บริการ วางแผนในการแก้ปัญหาด้านสุขภาพของประชาชนผู้มารับบริการโดยให้ผู้รับบริการครอบครัวและชุมชนมีส่วนร่วมในการตัดสินใจในการแก้ไขปัญหาสุขภาพของชุมชนและดูแลตนเอง สอดคล้องกับสุนทรีภรณ์ ทองไสย[18] ที่พบว่าสมรรถนะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นความสามารถส่วนบุคคลที่เกิดจากการจินตนาการทางความคิดที่แตกต่างจากความคิดเดิมหรือสิ่งใหม่ที่สร้างสรรค์ เพื่อการพัฒนาให้เกิดผลผลิตใหม่และเกิดประโยชน์มากขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการทำงานมากขึ้น และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบริการด้านการรักษาพยาบาล ก่อให้เกิดความคุ้มค่าคุ้มทุนส่งผลให้การพัฒนาระบบสุขภาพมีความเข้มแข็งมากขึ้น สอดคล้องกับรัตนา บรรณาธรรม[19] ที่พบว่าพฤติกรรมสร้างนวัตกรรม การประดิษฐ์คิดค้นวิธีการทำงานเพื่อนำมาทดแทนการแก้ไขปัญหาเดิมหรือปัญหาใหม่ที่จะเกิดขึ้นเป็นสิ่งจำเป็นในปัจจุบันเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการสร้างเสริมสมรรถนะของข้าราชการ รวมถึงการสร้าง

สภาพแวดล้อมต่อการพัฒนาและขับเคลื่อนไปสู่องค์กรนวัตกรรม

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. หน่วยงานด้านสาธารณสุขควรพัฒนาให้นักวิชาการสาธารณสุขมีสมรรถนะที่พึงประสงค์ด้านการสื่อสารสุขภาพ และสมรรถนะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยเชื่อมโยงการพัฒนาสมรรถนะให้เข้ากับงานประจำตามบทบาทวิชาชีพสาธารณสุขชุมชน

2. สถาบันการศึกษาที่เปิดสอนหลักสูตรด้านสาธารณสุข สามารถนำผลการวิจัยไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาหลักสูตรให้บัณฑิตมีสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ หรือเป็นหลักสูตรระยะสั้นเพื่อพัฒนาสมรรถนะสื่อสารสุขภาพ และสมรรถนะความคิดสร้างสรรค์เป็นการเพิ่มทักษะใหม่ (up-skill) หรือทักษะใหม่ที่จำเป็น (re-skill) ให้แก่นักวิชาการสาธารณสุขเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงาน

3. การวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยด้านลักษณะส่วนบุคคล ประสบการณ์การทำงาน กับสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ของนักวิชาการสาธารณสุข เพื่อนำข้อมูลไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบแนวทางการพัฒนาสมรรถนะโดยพิจารณาปัจจัยและความแตกต่างที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2563 แก่งานวิจัยนี้ ขอบคุณ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนคร สำนักงานสาธารณสุขอำเภอทุกแห่งในจังหวัดสกลนคร ผู้อำนวยการโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทุกแห่ง ที่ร่วมให้ข้อมูลเพื่อพัฒนาพัฒนาสมรรถนะนักวิชาการสาธารณสุขในศตวรรษที่ 21 ที่พึงประสงค์ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. อติญาณ์ ศรเกษตริน, ดาราวรรณ รองเมือง และ รุ่งนภา จันทรา. “การศึกษาพยาบาลในศตวรรษที่ 21: สมรรถนะและบทบาทของอาจารย์พยาบาล”. วารสารพยาบาลทหารบก. 20(1): 12-20; 1 มกราคม - เมษายน , 2562.
2. เยาวเรศ สมทรัพย์ และ อัชฌา วารีย์. “แบรนด์พยาบาลไทยในศตวรรษที่ 21: ความท้าทายต่อวิชาชีพพยาบาล”.วารสารพยาบาลสงขลานครินทร์. 39(3): 169 – 178; กรกฎาคม – กันยายน, 2562.
3. พระราชบัญญัติวิชาชีพการสาธารณสุขชุมชน พุทธศักราช 2556. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 130 ตอนที่ 118 ก. หน้า 19, (ลงวันที่ 16 ธันวาคม 2556).
4. Partnership for 21st Century Learning. P21 Framework definitions. [cited 2020 Feb 26]. Available from http://www.p21.org. 2015.
5. ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561 – 2580. ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 135, ตอนที่ 82 ก (ลงวันที่ 13 ตุลาคม 2561).
6. ปริทัศน์ เจริญช่าง, สุวัฒนา เกิดม่วง และ สุรินธร กลัมพากร. “สมรรถนะวิชาชีพการสาธารณสุขชุมชนของนักวิชาการสาธารณสุขที่ปฏิบัติงานในหน่วยบริการปฐมภูมิไทย”. วารสารพยาบาล กระทรวงสาธารณสุข.26(1) :40-51; มกราคม – เมษายน, 2559.
7. สำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน. คู่มือการกำหนดความรู้ ความสามารถ ทักษะ และสมรรถนะสำหรับตำแหน่ง. กรุงเทพฯ: บริษัทประชุมช่างจำกัด. 2553.

8. ปริญญา จิตอร่าม. "การพัฒนาตัวชี้วัดสมรรถนะการแก้ปัญหาและการพัฒนาสาธารณสุขชุมชนของนักสาธารณสุขชุมชน". วารสารวิชาการสาธารณสุขชุมชน. 6(1): 84 – 99; มกราคม–มีนาคม, 2563
9. Kristen Jogerst, Brian Callender, Virginia Adams, Jessica Evert, and Elise Fields. "Identifying Interprofessional Global Health Competencies for 21st- Century Health Professionals". Annals of Global Health. 81(2): 239 – 247, March – April, 2015.
10. Krejcie, R. V., and Morgan, D. W. "Determining Sample Size for Research Activities" Educational and Psychological Measurement. 30, 607 – 610, 1970.
11. Best W. John. Research in Education. Boston MA. : Allyn and Bacon, 1997.
12. Elissa M. Abrams, and Matthew Greenhawt. "Risk Communication During COVID-19". J Allergy Clin Immunol Pract. 8(6): 1791–1794, June 2020.
13. Hannah. H. Covert,a Mya Sherman,a Daniel Le,b and Maureen Y. Lichtveld. "Environmental health risk relationships, responsibility, and sources of information among Vietnamese Americans in coastal Mississippi". Health Risk Soc. 22(5-6): 362–376. October, 2020.
14. Trilling, B., & Fadel, C. "21st century skills: Learning for life in our times". San Francisco, CA: John Wiley & Sons, 2009.
15. D. Nutbeam. "Health literacy as a public health goal: a challenge for contemporary health education and communication strategies into the 21st century". Health Promotion International. 5(2): 259 – 267. 2000.
16. คณะอนุกรรมการวิจัยและพัฒนามาตรฐานวิชาชีพการสาธารณสุขชุมชน. การพัฒนามาตรฐานวิชาชีพการสาธารณสุขชุมชนที่พึงประสงค์ของสังคม. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. นนทบุรี: สภาการสาธารณสุขชุมชน; 2563. 193 หน้า.
17. ภมร ดรุณ, สมพร พุทธาพิทักษ์ผล, นิตยา เพ็ญศิริ นภา, อารีย์ ชื่นวัฒนา. "การพัฒนากรอบสมรรถนะการรู้สารสนเทศด้านสุขภาพของนักวิชาการสาธารณสุขในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในประเทศไทย". วารสารควบคุมโรค. 42(1): 67 – 78. มกราคม – มีนาคม, 2559.
18. สุนทรีภรณ์ ทองไสย. "พยาบาลกับการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์". วารสารวิทยาลัยพยาบาลพระปกเกล้า จันทบุรี. 27(1): 112 – 119. กันยายน 2558 - กุมภาพันธ์, 2559.
19. รัตนา บรรณาธรรม. "ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมสร้างนวัตกรรมของข้าราชการสำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร". วารสารวิชาการสาธารณสุข. 28(5): 915 – 924. กันยายน – ตุลาคม, 2562.

Sci2.3-31

ตัวแบบอนุกรมเวลาของปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดขอนแก่น

Time Series Modeling of the Monthly Rainfall in Khonkaen Province

ทิพรัตน์ พิพัฒน์อนุกูล [1] กนกวรรณ บุญชาญ[1] จันทร์จิรา แกะทาคำ[1]*
และ ชนัญกาญจน์ แสงประสาน[2]
Thipparat Pipatunukul[1], Kanokwan Boonchan[1], Janjira Kaetakham[1]*
and Chanankarn Seangprasan[2]

รับบทความ 15 กันยายน 2564/ ปรับแก้ไข 26 พฤศจิกายน 2564/ ตอบรับบทความ 14 กุมภาพันธ์ 2565
Received: September 15, 2021/ Revised: November 26, 2021/ Accepted: February 14, 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบอนุกรมเวลาของปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดขอนแก่น ด้วยวิธีวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบบอกซ์-เจนกินส์ ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน จากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 รวมทั้งสิ้น 72 คาบเวลา โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลชุดที่ 1 คือ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 รวมทั้งสิ้น 60 คาบเวลา เพื่อสร้างตัวแบบอนุกรมเวลา ข้อมูลชุดที่ 2 คือ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2562 รวมทั้งสิ้น 12 คาบเวลา เพื่อใช้ทดสอบความแม่นยำของตัวแบบอนุกรมเวลาของปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน ด้วยเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ต่ำสุด ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบ $ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ และตัวแบบ $ARIMA(1,1,0)(1,1,0)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ เป็นตัวแบบที่มีความเหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดขอนแก่น

คำสำคัญ : อนุกรมเวลา, บอกซ์-เจนกินส์, ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน

Abstract

The aim of this study was to build time series models of the average monthly rainfall in Khonkaen province by Box-Jenkins method. The average monthly rainfall data, composed of 72 monthly records from January 2014 to December 2018, from Upper Northeastern Meteorological Center and the data were divided into two sets. The first 60 records, from January 2014 to December 2018 were used for creating time series

[1] นักศึกษาหลักสูตร วท.บ.คณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร 680 หมู่ 11 ถนนนิตโย ตำบลธาตุเชิงชุม อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

[1] Student in Mathematics Program, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000

[2] อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาการข้อมูล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร 680 หมู่ 11 ถนนนิตโย ตำบลธาตุเชิงชุม อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

[2] Lecturer in Data Science Program, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000

* ผู้ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ Corresponding author : Thipneko@gmail.com

models. The remainder 12 records, from January 2019 to December 2019, were used for evaluating the accuracy of the models. Root Mean Square Error (RMSE) was used to compare the accuracy of model. The result was as follows: the $ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ and $ARIMA(1,1,0)(1,1,0)_{12}$ models without a constant were the appropriate models for forecasting the average monthly rainfall in Khonkaen Province.
Keywords : Time series, Box-Jenkins, The average monthly rainfall

บทนำ

ภูมิประเทศของจังหวัดขอนแก่น ส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูง พื้นที่ลุ่ม ๆ ดอน ๆ สลับกันไป และลาดเทลงสู่แม่น้ำโขงทางตอนเหนือของจังหวัดเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำชี และแม่น้ำพอง เป็นที่ตั้งของเขื่อนอุบลรัตน์ และเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญที่ใช้หล่อเลี้ยงพื้นที่การเกษตรในหลายอำเภอ เทือกเขาเพชรบูรณ์ และเทือกเขาดงพญาเย็นอยู่ทางทิศตะวันตก ส่วนเทือกเขาสันกำแพง และเทือกเขาพนมดงรักอยู่ทางทิศใต้ เป็นแนวกันไม่ให้มรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมบริเวณจังหวัดขอนแก่นได้เต็มที่ทำให้มีปริมาณฝนน้อยโดยเฉพาะบริเวณอำเภอแวงใหญ่ อำเภอแวงน้อย และอำเภอโคกโพธิ์ชัย ซึ่งมีปริมาณฝนเฉลี่ยตลอดปีต่ำกว่า 900 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่เป็นฝนเนื่องมาจากอิทธิพลของพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนตัวจากทะเลจีนใต้เข้าสู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2563)

เนื่องจากปริมาณน้ำฝนมีความสำคัญในการหล่อเลี้ยงผลผลิตทางเกษตรกรรม และพืชพันธุ์ต่าง ๆ หลายชนิด ควรมีการวางแผนเพาะปลูกให้ตรงตามปริมาณน้ำฝน เพื่อลดความเสี่ยงที่ผลผลิตจะเสียหาย โดยมีการศึกษาหลายงานวิจัย ดังเช่นงานวิจัยของวราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล(2552) ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยา และสถานีอากาศเกษตรต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยวิธีแยกส่วนประกอบ วิธีการพยากรณ์ของวินเตอร์ และวิธีการพยากรณ์ของบอกซ์-เจนกินส์ ตรวจสอบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์โดยใช้เกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ผลการวิจัยพบว่า การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาขอนแก่นในปี พ.ศ. 2550 และ 2551 จะเลือกใช้วิธีการพยากรณ์ของบอกซ์-เจนกินส์ ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ค่า MAPE ต่ำที่สุด และการศึกษาของ วรางคณา กีรติวิบูลย์(2558) ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน อำเภอเมือง จังหวัดน่านด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย และตรวจสอบความแม่นยำด้วยเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุด นอกจากนี้ยังพบการนำวิธีพยากรณ์อนุกรมเวลาด้วยวิธีของบอกซ์-เจนกินส์ไปพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่อื่น ๆ ณ ต่างประเทศ เช่น การศึกษาของ Daniel Eni และ Fola J. Adeyeye (2015) พบว่า ตัวแบบ ARIMA เชิงคูณที่มีอิทธิพลของฤดูกาล คือ $ARIMA(1,1,1)(0,1,1)$ เป็นตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนของเมืองวอร์รี่ ประเทศไนจีเรีย การศึกษาของ Sathish et al. (2017) พบว่า ตัวแบบ $ARIMA(1,1,2)(0,1,1)_{12}$ มีความเหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณรวมน้ำฝนรายเดือนในรัฐเบงกอลตะวันตก ประเทศอินเดีย การศึกษาของ M Sidiq (2018) พบว่า ตัวแบบ $ARIMA(1,1,1)_{12}$ มีความเหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในเมืองบันดุง ประเทศอินโดนีเซีย และการศึกษาของ Swain S. et al. (2018) พบว่า ตัวแบบ $ARIMA(1,2,1)(1,0,1)_{12}$ มีความเหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในเมืองคอร์ดา รัฐโอริสสา ประเทศอินเดีย จากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเหล่านี้จะเห็นว่าวิธีบอกซ์-เจนกินส์ ตัวแบบเชิงคูณที่มีอิทธิพลของฤดูกาลสามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝน สำหรับจังหวัดขอนแก่นประชาชนมีอาชีพหลักคือ เกษตรกร ซึ่งน้ำฝนเป็นปัจจัยสำคัญในการ

เพาะปลูก เพื่อให้มีข้อมูลปริมาณน้ำฝนช่วยในการวางแผนเพาะปลูกต่าง ๆ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาหาตัวแบบอนุกรมเวลาด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ เพื่อให้ได้ตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน จังหวัดขอนแก่น เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการเพาะปลูกต่าง ๆ

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบอนุกรมเวลาของปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดขอนแก่น ด้วยวิธีวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบบอกซ์-เจนกินส์ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2562 รวมทั้งสิ้น 72 คาบเวลา จากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลชุดที่ 1 คือ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2561 รวมทั้งสิ้น 60 คาบเวลา เพื่อสร้างตัวแบบอนุกรมเวลา ข้อมูลชุดที่ 2 คือ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ.2562 รวมทั้งสิ้น 12 คาบเวลา เพื่อทดสอบความแม่นยำของตัวแบบอนุกรมเวลาของปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน ด้วยเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ต่ำสุด ซึ่งทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

1. การวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบบอกซ์-เจนกินส์

ผู้วิจัยวิเคราะห์ลักษณะส่วนประกอบของอนุกรมเวลาก่อน จากนั้นจึงสร้างตัวแบบอนุกรมเวลาที่เป็นไปได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1 ศึกษาการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

ทำการวาดกราฟเพื่อศึกษาลักษณะส่วนประกอบของอนุกรมเวลา ได้แก่ อิทธิพลของแนวโน้ม (Trend: T) อิทธิพลของฤดูกาล (Seasonal variations : S) อิทธิพลของวัฏจักร (Cycle : C) และอิทธิพลของการแปรผันแบบผิดปกติ (Irregular variations : I) เบื้องต้น และทดสอบความนิ่งหรือกระบวนสเตชันนารีของข้อมูลด้วยสถิติ Augmented Dickey Fuller test (ADF test) หากข้อมูลไม่มีความนิ่ง จะทำการแปลงข้อมูลด้วยการทำผลต่างหรือผลต่างฤดูกาลก่อน จากนั้นพิจารณากราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation Function: ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) เพื่อกำหนดตัวแบบ

1.2 การกำหนดตัวแบบ (Identification)

จากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จะเห็นว่า ปริมาณน้ำฝนเป็นอนุกรมเวลาที่มีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้น การวิจัยนี้จึงศึกษาตัวแบบ ARIMA ที่มีอิทธิพลของฤดูกาล ในที่นี้คือ ตัวแบบอนุกรมเวลาเชิงคูณ $ARIMA\left(p,d,q\right)\times\left(P,D,Q\right)_s$ โดยพิจารณาลักษณะของอนุกรมเวลาว่ามีสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (PACF) เพื่อสร้างเป็นตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม ตัวแบบอนุกรมเวลาเชิงคูณเขียนแทนด้วย ตัวแบบ $ARIMA\left(p,d,q\right)\times\left(P,D,Q\right)_{12}$ ดังนี้

$$\phi_P\left(B\right)\Phi_p\left(B^s\right)\left(1-B\right)^d\left(1-B\right)^D Y_t=\delta+\theta_q\left(B\right)\Theta_Q\left(B^s\right)a_t$$

เมื่อ

Y_t คือ ข้อมูลอนุกรมเวลา ณ เวลา t

a_t คือ ค่าคลาดเคลื่อน ณ เวลา t ซึ่งมีการแจกแจงปรกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 และมีความอิสระกัน

δ คือ ค่าคงที่

s คือ จำนวนคาบฤดูกาล

d,D คือ ลำดับครั้งที่หาผลต่างแบบไม่มีฤดูกาล d และแบบมีฤดูกาล D

$\phi_p\left(B\right)=1-\phi_1B-\phi_2B^2-\ldots-\phi_pB^p$ คือ ตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองแบบไม่มีฤดูกาลอันดับ p

$\Phi_P(B)=1-\Phi_1B^s-\Phi_2B^{2s}-\ldots-\Phi_PB^{Ps}$ คือ ตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองแบบมีฤดูกาลอันดับ P

$\theta_q(B)=1-\theta_1B-\theta_2B^2-\ldots-\theta_qB^q$ คือ ตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีฤดูกาลอันดับ q

$\Theta_Q(B)=1-\Theta_1B-\Theta_2B^{2s}-\ldots-\Theta_QB^{Qs}$ คือ ตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีฤดูกาลอันดับ Q

สำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบมุกดา แม้นมินทร์(2549) ให้ข้อสังเกตว่า จำนวนอันดับของแต่ละค่าของพารามิเตอร์ มักไม่เกิน 2 เป็นแนวทางในการเลือกตัวแบบที่ดีที่สุด สำหรับการหาตัวแบบให้กับอนุกรมเวลาเชิงคูณที่เป็นอนุกรมเวลาที่มีฤดูกาล ต้องแปลงข้อมูลให้ข้อมูลมีความนิ่งก่อน จากนั้นพิจารณากราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (PACF) เพื่อกำหนดอันดับ p, q, P หรือ Q ต่อไป

1.3 การประมาณคาพารามิเตอรในตัวแบบ (Parameter estimation)

การประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ ทำได้โดยการหาค่าประมาณแบบง่ายหรือคาประมาณที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวเลข (numerical analysis) สำหรับ คาประมาณแบบง่ายจะทำโดยการสรางสมการที่มาจากความสัมพันธ์ระหว่าง ρ_k และพารามิเตอร โดยสมการที่สร้างขึ้นจะมีจำนวนพารามิเตอรที่ตองการประมาณค่า ส่วนค่าประมาณจากการวิเคราะห์ตัวเลขจะได้จากการแกสมการที่สร้างขึ้นจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) ขั้นตอนของการวิเคราะห์ตัวเลขจะตองมีการกำหนดค่าประมาณเริ่มต้น ซึ่งสวนใหญจะใชค่าประมาณแบบงาย เป็นคาเริ่มตน เมื่อการวิเคราะหสิ้นสุดจะไดคาประมาณสุดทาย ที่จะนำไปใชประโยชนในการสรางสมการพยากรณ์

1.4 การตรวจสอบตัวแบบ (Diagnostic checking)

เมื่อประมาณค่าพารามิเตอรในตัวแบบ ตองตรวจสอบทุกครั้งว่า ตัวแบบที่กำหนดนั้นมีความเหมาะสมหรือไม ด้วยการทดสอบความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกันด้วยสถิติ Box - Ljung หรือการวิเคราะห์ตัวแบบที่มีพารามิเตอรมากเกินกว่าที่ควร หากตรวจสอบพบว่า ตัวแบบนั้นเหมาะสมแลว จะใช้ตัวแบบนั้นพยากรณ์ต่อไป แต่หากตัวแบบที่กำหนดนั้นไมเหมาะสม ตองเริ่มไปทำขั้นตอนที่ 1.2 เพื่อกำหนดตัวแบบใหม่จนไดตัวแบบที่เหมาะสม หากสามารถกำหนดตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับอนุกรมเวลาใดๆ ไดมากกว่าหนึ่งตัวแบบ จะพิจารณาเลือกใช้หนึ่งตัวแบบที่เหมาะสมจากทั้งหมด โดยพิจารณาความสูญเสียสารสนเทศจาก ค่าเกณฑ์สารสนเทศเบยเซียน (Bayesian Information Criterion: BIC) ต่ำสุด

1.5 การพยากรณ์ (Forecasting)

การพยากรณ์อนุกรมเวลา โดยใช้ตัวแบบที่กำหนดและผ่านการตรวจสอบในขั้นตอนที่ผ่านมาแล้ว

2. การตรวจสอบความแม่นยำของตัวแบบ

การตรวจสอบความแม่นยำของตัวแบบหรือความคลาดเคลื่อนของตัวแบบที่ใช้พยากรณ์ พิจารณาจากเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error: RMSE) ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(Y_i - \hat{Y}_i\right)^2}{n}}$$

เมื่อ Y_i แทน ค่าข้อมูลที่แท้จริง ณ เวลา i

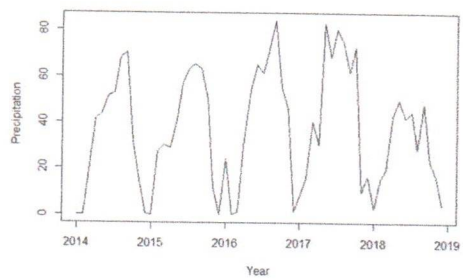
$\hat{Y}_i$ แทน ค่าพยากรณ์ ณ เวลา i

n แทน จำนวนข้อมูล

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาความเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

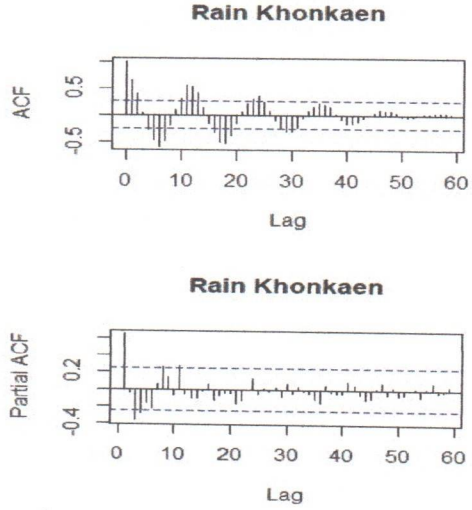
ผลการศึกษาความเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาของปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน จังหวัดขอนแก่น ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 60 คาบเวลา ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 อนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ย

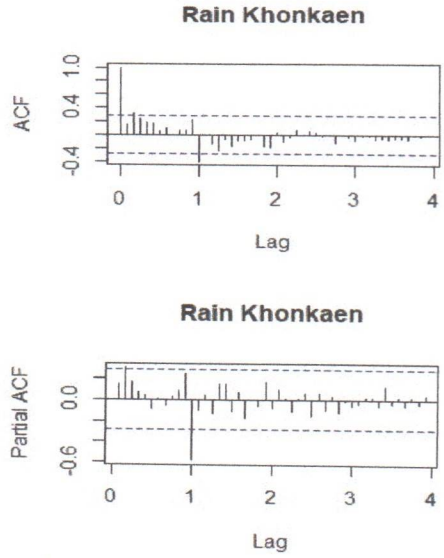
จากรูปที่ 1 พบว่า ปริมาณน้ำฝนมีค่ามากในช่วงกลางปี เดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคมของทุกปี ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน เมื่อพิจารณากราฟของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF)

และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (PACF) ของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ย ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยจังหวัดขอนแก่น

จากรูปที่ 2 พบว่า อนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ย มีส่วนประกอบของฤดูกาล จากกราฟ ACF ที่มีลักษณะเคลื่อนไหวในคาบ 12 หน่วยเวลา $(s=12)$ คล้ายกัน จึงแปลงข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนโดยหาผลต่างที่มีฤดูกาล เมื่อ $d=1, D=1$ และทดสอบความนิ่งของอนุกรมที่แปลงค่าด้วยสถิติ ADF test พบว่า ข้อมูลมีความนิ่งแล้ว จึงพิจารณากราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน ของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนที่แปลงค่าแล้ว ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (PACF) ที่หาผลต่างแล้ว

จากรูปที่ 3 กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองและฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน เมื่อหาผลต่าง d=1 และ D = 1 มีความเหมาะสมที่จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบที่เป็นไปได้ จะเห็นว่าสหสัมพันธ์ในตัวเอง ณ lag ที่ 1 และ lag ที่ 12 มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างชัดเจน นั่นคือกระบวนการ MA ที่มีฤดูกาล จึงกำหนดให้อันดับ q และอันดับ Q เป็น 1 ส่วนสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน ณ lag ที่ 2 และ lag ที่ 12 มีนัยสำคัญทางสถิติชัดเจน นั่นคือกระบวนการ AR ถึงแม้ว่า lag ที่ 1 ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนที่ได้จากข้อมูลตัวอย่าง จึงกำหนดให้อันดับ p และอันดับ P มีค่าไม่เกิน 2 เพื่อให้สามารถหาตัวแบบที่เป็นไปได้ในขั้นต่อไป

2. ผลการสร้างตัวแบบอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ย

จากการวิเคราะห์กราฟของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (PACF) ของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยที่แปลงค่าแล้วข้างต้น ผู้วิจัยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ตัวแบบที่มีพารามิเตอร์มากเกินกว่าที่ควรในการกำหนดอันดับ p q P และ Q ที่เป็นไปได้ และทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าประมาณพารามิเตอร์ในตัวแบบ ทำให้สามารถคัดเลือก

ตัวแบบอนุกรมเวลาที่คาดว่าจะเป็นไปได้ สำหรับอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ย ได้แก่ $ARIMA(0,0,0)(2,1,0)_{12}$ $ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ และ $ARIMA(1,1,0)(1,1,0)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ ผลการประมาณพารามิเตอร์เพื่อสร้างตัวแบบทั้งตัวแบบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแบบที่คาดว่าจะเป็นไปได้ เมื่อไม่มีค่าคงที่

พารามิเตอร์ในตัวแบบ	ค่าประมาณพารามิเตอร์ในตัวแบบ ARIMA (p – value)		
	$(0,0,0)(2,1,0)_{12}$	$(0,1,1)(0,1,1)_{12}$	$(1,1,0)(1,1,0)_{12}$
AR(1): ϕ_1	-	-	-0.5260 (0.000)
SAR(1): Φ_1	-0.7593 (0.000)	-	-0.6534 (0.000)
SAR(2): Φ_2	-0.3647 (0.0462)	-	-
MA(1) : θ_1	-	-0.700 (0.000)	-
SMA(1): Θ_1	-	-0.6066 (0.000)	-

จากตารางที่ 1 พบว่า ตัวแบบที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดขอนแก่น ได้แก่ ตัวแบบ $ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ และตัวแบบ $ARIMA(1,1,0)(1,1,0)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ จากนั้นตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบทั้งสองโดยทดสอบด้วยสถิติ Box-Ljung และพิจารณาเกณฑ์ BIC ต่ำสุด ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบด้วยสถิติ Box-Ljung และค่าเกณฑ์ BIC

ตัวแบบ	สถิติ Box-Ljung			ค่าเกณฑ์ BIC
	ค่าสถิติ	df	p-value	
$ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$	0.0419	59	0.8377	407.64
$ARIMA(1,1,0)(1,1,0)_{12}$	0.0449	59	0.8321	404.21

จากตารางที่ 2 พบว่า ตัวแบบ $ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ และตัวแบบ $ARIMA(1,1,0)(1,1,0)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และพิจารณาค่าเกณฑ์ BIC แล้ว ทั้งสองตัวแบบมีค่าเกณฑ์ BIC ต่ำสุดใกล้เคียงกัน แสดงว่า ทั้งสองตัวแบบมีความเหมาะสมที่จะใช้พยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน สามารถใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดขอนแก่นได้

3. ผลการพยากรณ์ (Forecasting)

ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่ เดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 จำนวน 12 คาบเวลาด้วยตัวแบบ $ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ และตัวแบบ $ARIMA(1,1,0)(1,1,0)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ ดังตารางที่ 3

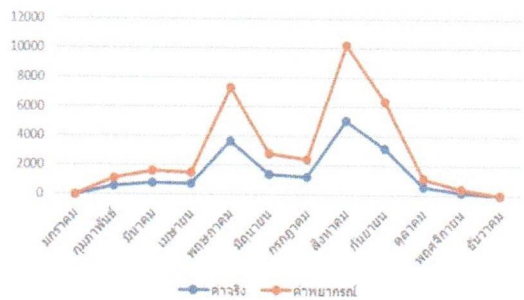
ตารางที่ 3 ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนจำนวน 12 คาบเวลา (หน่วย มิลลิเมตร)

เดือน พ.ศ.	ค่าจริง $(\hat{Y}_t)$	ค่าพยากรณ์*	
		$\hat{Y}_{t(1)}$	$\hat{Y}_{t(2)}$
ม.ค. 62	0	4.282	12.417
ก.พ. 62	569.6	560.267	572.220
มี.ค. 62	806.3	781.578	792.355
เม.ย. 62	765.5	737.963	748.286
พ.ค. 62	3,665.5	3,601.778	3,613.680
มิ.ย. 62	1,420.8	1,368.922	1,380.832
ก.ค. 62	1,245.3	1,184.934	1,197.110
ส.ค. 62	5,097.3	5,046.500	5,059.267
ก.ย. 62	3,200.7	3,151.024	3,162.189
ต.ค. 62	588.6	540.801	553.703
พ.ย. 62	219.5	215.221	225.459
ธ.ค. 62	0	4.430	6.701
RMSE		13.557	13.556

* $\hat{Y}_{t(1)}$ คือค่าพยากรณ์จากตัวแบบ $ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่

$\hat{Y}_{t(2)}$ คือค่าพยากรณ์จากตัวแบบ $ARIMA(1,1,0)(1,1,0)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่

จากตารางที่ 3 การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน 12 เดือนของจังหวัดขอนแก่น พบว่า ตัวแบบ $ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ และตัวแบบ $ARIMA(1,1,0)(1,1,0)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ใกล้เคียงกันมาก สามารถเลือกใช้ตัวแบบทั้งสองในการพยากรณ์ได้ แต่จากข้อมูลทดสอบการพยากรณ์นี้ ถ้าเลือกตัวแบบที่มีความเหมาะสม ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดขอนแก่น (ค่า RMSE ต่ำสุด) คือ ตัวแบบ $ARIMA(1,1,0)(1,1,0)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ จะได้การเคลื่อนไหวของค่าจริงและค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่าจริงและค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนด้วยตัวแบบ $ARIMA(1,1,0)(1,1,0)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า ในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายน และช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม ตัวแบบ $ARIMA(1,1,0)(1,1,0)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ จะให้ค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าจริงของปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน ส่วนค่าพยากรณ์ ณ เดือนอื่น ๆ ส่วนใหญ่ตัวแบบจะให้ค่าพยากรณ์มากกว่าค่าจริง โดยเฉพาะช่วงเดือนเมษายนถึงกันยายน ซึ่งเป็นฤดูฝน ลักษณะของค่าพยากรณ์ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าจริงของปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนที่มีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงฤดูฝน

สรุปผลการวิจัย

การเคลื่อนไหวของปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนธันวาคม 2562 ในทุก ๆ รอบปี อนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือน มีค่าขึ้น ๆ ลง ๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของการแปรผันตามฤดูกาล (Seasonal variations) และมีลักษณะไม่คงที่ (Stationary) จึงทำการแปลงข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนหาผลต่างที่มีฤดูกาล ครั้งที่ 1 ข้อมูลอนุกรมเวลาจึงมีลักษณะคงที่ จึงพิจารณากราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (PACF) ของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนที่แปลงค่าแล้ว สามารถกำหนดตัวแบบอนุกรมเวลาที่มีความเหมาะสม และตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบด้วยสถิติ Box-Ljung กับค่าเกณฑ์ BIC ต่ำสุด พบว่าตัวแบบ $ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ และตัวแบบ $ARIMA(1,1,0)(1,1,0)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) มีค่าใกล้เคียงกันมาก จึงถือว่าสองตัวแบบนี้มีความเหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนจังหวัดขอนแก่น

อภิปรายผลการวิจัย

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดขอนแก่น เป็นอนุกรมเวลาที่มีค่าขึ้น ๆ ลง ๆ ในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนกันยายน ซึ่งเป็นฤดูฝนที่ได้รับอิทธิพลของฤดูกาล สอดคล้องกับผลการศึกษาเชิงพื้นที่ในประเทศไทยของวราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล (2552) ที่ได้พบว่า ตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในจังหวัดขอนแก่น คือวิธีบอกซ์เจนกินส์ นอกจากนี้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเป็นข้อมูลที่มีลักษณะไม่คงที่ มีอิทธิพลของฤดูกาล การกำหนดตัวแบบต้องทำการแปลงข้อมูลก่อน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Daniel Eni & Fola J. Adeyeye (2015); Sathish et al. (2017) และ Swain S. et al. (2018) ที่ต้องหาผลต่างของข้อมูลก่อนกำหนดตัวแบบที่เหมาะสม สำหรับศึกษาการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนของจังหวัดขอนแก่นด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์นี้ พบสองตัวแบบที่มีความเหมาะสม

ได้แก่ ตัวแบบ $ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่ และตัวแบบ $ARIMA(1,1,0)(1,1,0)_{12}$ เมื่อไม่มีค่าคงที่

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการวิจัย ตลอดจนคำแนะนำต่าง ๆ ในช่วงระยะเวลาการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ และขอขอบคุณ ผศ.ศิริลักษณ์ เจิตจิตต์พรชัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่กรุณาให้คำแนะนำในการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2563). ภูมิอากาศจังหวัดขอนแก่น. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2563, จาก http://climate.tmd.go.th/data/province/ตะวันออกเฉียงเหนือ/ภูมิอากาศขอนแก่น.

มุกดา แม้นมินทร์. (2549). อนุกรมเวลาและการพยากรณ์. กรุงเทพฯ: โฟร์พริ้นติ้ง.

ระบบบริการสารสนเทศภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2563, จาก http://climate.tmd.go.th/data/province/

วรางคณา กีรติวิบูลย์. (2558). การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.*, 38(3), 211-223.

วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล. (2552). การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาและสถานีอากาศเกษตรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 17(2), 1-12.

Eni, D., & Adeyeye, F. (2015). Seasonal ARIMA Modeling and Forecasting of Rainfall in Warri Town, Nigeria. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 3, 91-98. doi: 10.4236/gep.2015.36015.

M Sidiq. (2018). Forecasting Rainfall with Time Series Model. IOP *Conf. Series: Materials Science and Engineering* 407(2018) 012154 doi:10.1088/1757-899X/407/1/012154.

Sathish, G., Lakshmi Narasinhaiah, P. Mahesh Babu, Samrat Laha & Bharath Kumar, N. (2017). Time Series Analysis of Monthly Rainfall for Gangetic West Bengal Using Box JenkinsSARIMA Modeling. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 6(7):2603-2610 doi: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.307

Swain S., Nandi S., & Patel P. (2018) Development of an ARIMA Model for Monthly Rainfall Forecasting over Khordha District, Odisha, India. In: *Recent Findings in Intelligent Computing Techniques. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 708, 325-331.

Sci2.3-32

การพัฒนาการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์

Development of Analytical Thinking and Learning Achievement of Prathomsuksa 4 Students on the Topic of Biodiversity by Using Brain-Based Learning (BBL) and Concept Mapping

ปิยะธิดา พลพุทธา[1] อนันต์ ปานศุภวัชร[2] และกุลวดี สุวรรณไตรย์[3]

Piyatida Phonputtha[1], Anun Pansuppawat[2] and Kulwadee Suwannatrai[3]

สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร[1,2]

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร[3]

Corresponding author, E-mail: Pompambio0847997753@gmail.com[1], anunpan@gmail.com[2], Kulwadee@snru.ac.th[3]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อ 1) พัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75/75 2) เปรียบเทียบการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน 3) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน และ 4) ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ กลุ่มทดลอง คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนบ้านหนองโดดอนเสียด สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาบึงกาฬ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564 จำนวน 1 ห้องเรียน รวมทั้งสิ้น 18 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) แผนการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ 2) แบบทดสอบวัดการคิดวิเคราะห์ 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และ 4) แบบสอบถามความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าทีแบบไม่เป็นอิสระต่อกัน

ผลการวิจัยพบว่า 1) แผนการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 79.83/77.41 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 75/75 ที่กำหนด 2) การคิดวิเคราะห์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 3) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และ 4) ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.40, S.D. = 0.71)

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐาน; ผังมโนทัศน์; การคิดวิเคราะห์; ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

รับบทความ 30 พฤศจิกายน 2564 | แก้ไขบทความ 21 ธันวาคม 2564 | ตอบรับบทความ 22 ธันวาคม 2564

Received 30 November 2021 | Revised 21 December 2021 | Accepted 22 December 2021

ABSTRACT

The purposes of this research were to: 1) develop lesson plans on Brain-Based Learning and Concept Mapping on the topic of Biodiversity for Prathomsuksa 4 students with the efficiency of 75/75, 2) compare analytical thinking of students before and after using the developed lesson plans, 3) compare learning achievement of students before and after using the developed lesson plans and 4) study the satisfaction of students toward lesson plans on Brain-Based Learning and Concept Mapping. The experimental group were 18 students of Prathomsuksa 4 from Bannongdodonsiad School, the Office of Buengkan Primary Education Service Area during the 1st semester of Academic Year 2021. The instruments are used in the study were: 1) lesson plans on Brain-Based Learning and Concept Mapping, 2) analytical thinking test, 3) learning achievement test and 4) satisfaction questionnaire. The data analysis statistics were percentage, mean, standard deviation and t-test for dependent samples.

The research findings were as follows: 1) the efficiency of the lesson plans on Brain-Based Learning and Concept Mapping on the topic of Biodiversity for Prathomsuksa 4 students was 79.83/77.41, which exceeded the expected criterion of (75/75), 2) the analytical thinking of students were higher than before using the developed lesson plans at significant level of .01, 3) the learning achievement of students were higher than before using the developed lesson plans at significant level of .01 and 4) the satisfaction of students toward lesson plans on Brain-Based Learning and Concept Mapping were at the high level ($\bar{X}$ = 4.40, S.D. = 0.71).

Keywords: Brain-Based Learning (BBL), Concept Mapping, Analytical Thinking, Learning Achievement

บทนำ

วิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งในสังคมโลกปัจจุบันและอนาคต เพราะวิทยาศาสตร์เกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการงานอาชีพต่าง ๆ วิทยาศาสตร์ช่วยให้มนุษย์ได้พัฒนาวิธีคิด ทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ วิจารณ์ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าหาความรู้มีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ ดังนั้น ทุกคนจึงจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาให้รู้วิทยาศาสตร์ เพื่อที่จะมีความรู้ความเข้าใจในธรรมชาติ และเทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างสรรค์ขึ้น สามารถนำความรู้ไปใช้อย่างมีเหตุผล สร้างสรรค์ และมีคุณธรรม (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551, น. 92)

เนื่องจากปัจจุบัน โลกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในทุก ๆ ด้าน ทั้งด้านการเมือง เศรษฐกิจ สังคม การดำเนินชีวิต การศึกษา วิทยาศาสตร์ การแพทย์ และเทคโนโลยีการสื่อสารที่ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว และทุกด้านมีความเชื่อมโยงกัน (ไสว ฟักขาว, 2558) สิ่งสำคัญที่สุดที่จะทำให้ทุกคนอยู่ในสังคมได้อย่างปลอดภัย และมีความสุขนั้น คือ จะต้องมีการพัฒนาทางการศึกษา (สุคนธ์ สินธพานนท์, 2558, น. 7) และข้อมูลจาก World Economic Forum (WEF) เรื่อง วิสัยทัศน์ใหม่ของการศึกษา ได้มีการกำหนดคุณลักษณะที่นักเรียนต้องมีในศตวรรษที่ 21 เพื่อปูพื้นฐานการเป็นพลเมืองที่มีคุณสมบัติตามที่โลกต้องการ คือ ทักษะความรู้พื้นฐาน ได้แก่ การอ่านออก เขียนได้ คำนวณเป็น รวมทั้งทักษะการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การมีความคิดสร้างสรรค์ การสื่อสาร และการทำงานร่วมกัน (วนิดา สิงห์น้อย, 2560, น. 31-33) ประกอบกับการรายงานผลการประเมินคุณภาพภายนอกสถานศึกษาระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน รอบสาม (พ.ศ. 2555-2558) ได้เสนอแนะในด้านการจัดการศึกษาว่าผู้เรียนควรได้รับการพัฒนาความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ คิดสังเคราะห์ คิดสร้างสรรค์ คิดอย่างมีวิจารณญาณ และคิดเป็นระบบ และจากผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2562 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ พบว่ามีค่าคะแนนเฉลี่ยของโรงเรียน เท่ากับ 32.00 คะแนน จากคะแนนเต็ม 100 คะแนนคะแนนเฉลี่ยระดับประเทศ เท่ากับ 35.55 คะแนน เห็นได้ว่าคะแนนเฉลี่ยระดับโรงเรียนยังต่ำกว่าค่าคะแนนระดับประเทศ

จากสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของนักเรียนด้านการคิดวิเคราะห์ที่ยังต่ำกว่าเกณฑ์ระดับชาติ ซึ่งเกี่ยวข้องกับสมองที่เป็นอวัยวะของร่างกายที่เป็นศูนย์รวมของระบบประสาท เป็นศูนย์กลางในการควบคุม และจัดระเบียบการทำงานทุกชนิดของร่างกาย รวมทั้งการคิด การเรียนรู้ การจำ และพฤติกรรมของมนุษย์ (ประพันธ์ศิริ สุเสารัจ, 2551, น. 17) ในการพัฒนาด้านการคิดวิเคราะห์ ครูต้องเปลี่ยนบทบาทจากการสอนแบบบรรยาย การสอนที่ให้ผู้เรียนท่องจำความรู้ การสอนที่ยึดครูเป็นศูนย์กลาง ครูควรเปลี่ยนการสอนโดยใช้เทคนิควิธีการที่ให้ผู้เรียนได้ใช้กระบวนการคิด การแสวงหาความรู้และสร้างองค์ความรู้ ผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยการลงมือปฏิบัติ หรืออาจมีเทคนิคช่วยในการจำทำให้ความรู้นั้นอยู่ในหน่วยความจำระยะยาวที่พร้อมใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ (ชนาธิป พรกุล, 2554, น. 37) ดังนั้น การจัดการเรียนการสอนจึงควรจัดให้สอดคล้องกับธรรมชาติการทำงานของสมอง และสติปัญญาของผู้เรียน เพราะจะทำให้ผู้เรียนมีพัฒนาการการเรียนรู้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

การจัดการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐาน (Brain-Based Learning) หรือ BBL เป็นการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับธรรมชาติการทำงานของสมอง ส่งเสริมให้สมองทั้งซีกซ้ายและซีกขวาของผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างสมดุล และเป็นการนำเอาองค์ความรู้ของสมองมาใช้เป็นฐานในการออกแบบกระบวนการเรียนรู้เพื่อสร้างศักยภาพสูงสุดในการเรียนรู้ของมนุษย์ เป็นการสอนแบบเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญโดยใช้กระบวนการเรียนพัฒนากระบวนการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์ ประเมิน แก้ปัญหา การตัดสินใจ และการวางแผน ในการสอนแต่ละครั้งต้องคำนึงถึงความคิดพื้นฐานตามหลักการของสมองกับการเรียนรู้ 3 ด้าน คือ อารมณ์การคิด และลงมือปฏิบัติ ต้องกระทำไปพร้อม ๆ กันจึงจะเกิดการเรียนรู้ที่ดีที่สุด (ศศิธร เวียงวะลัย, 2556, น. 115) สอดคล้องกับงานวิจัยของภัทราพร ทำคาม (2561, น. 124-131) ได้ศึกษาการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 พบว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ โดยใช้สมองเป็นฐานร่วมกับแผนผังความคิดมีทักษะการคิดวิเคราะห์สูงขึ้นในแต่ละครั้งของการทดสอบตั้งแต่ครั้งแรกถึงครั้งสุดท้าย และ Shabatat (2016, pp. 162-173) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

ผลการวิจัยพบว่าการใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบสมองเป็นฐานนั้น ส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าการจัดการเรียนรู้แบบปกติ นอกจากนี้ได้นำเทคนิคการสอนโดยใช้ผังมโนทัศน์มาช่วยในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งเป็นรูปแบบการเรียนการสอนที่สรุปความคิดรวบยอดจากการรวบรวมอย่างเป็นระบบ โดยสามารถจัดกิจกรรมที่เป็นการบูรณาการเนื้อหาหลาย ๆ เรื่องเข้าไว้ในกิจกรรมเดียวกัน เพื่อให้เข้าใจง่าย กระชับ ชัดเจน ในการจัดกระทำข้อมูลต้องใช้การคิดวิเคราะห์ของนักเรียน จึงเป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่ส่งเสริมให้มีการพัฒนาด้านทักษะการคิด การให้หลักเหตุผล และการเชื่อมโยงข้อมูลของนักเรียนได้เป็นอย่างดี (ทิศนา แขมมณี, 2545) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศรเนตร อารีโสภณพิเชฐ (2557, น. 194-210) ได้ศึกษากลยุทธ์การเรียนการสอนเพื่อพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ พบว่า แผนที่มโนทัศน์เป็นหนึ่งในเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และเป็นเครื่องมือในการประเมินความเข้าใจในการเรียนรู้ของผู้เรียนได้อย่างเป็นรูปธรรม

จากเหตุผลและสภาพปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมีความตระหนักถึงสภาพปัญหาและความจำเป็นในการส่งเสริมความรู้ด้านการคิดวิเคราะห์ให้กับนักเรียน ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นร่วมกับผังมโนทัศน์ขึ้น เพื่อให้เกิดการพัฒนาทั้งครูผู้สอนและพัฒนานักเรียนอีกทั้งยังพัฒนาความรู้ ให้มีการคิดวิเคราะห์ที่ดี ฝึกกระบวนการคิดการปฏิบัติอย่างมีระบบขั้นตอนนำไปสู่ความก้าวหน้าและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75/75

2. เพื่อเปรียบเทียบการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตก่อนเรียนและหลังเรียน โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์

3. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตก่อนเรียนและหลังเรียน โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์

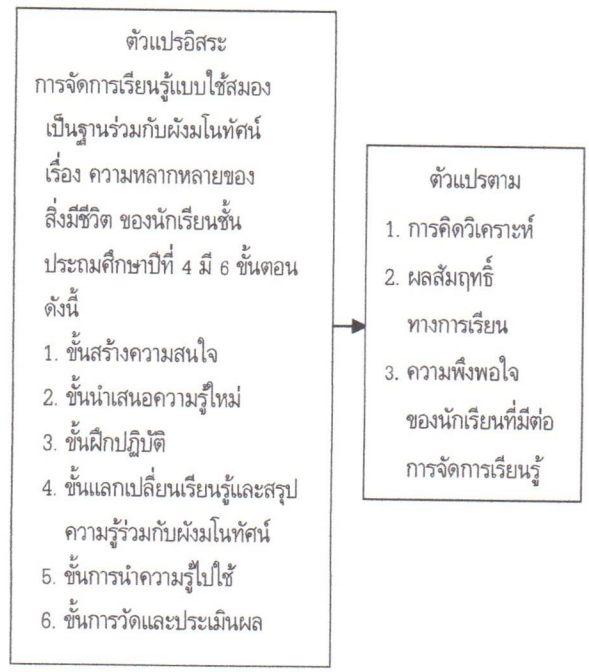
4. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต

สมมติฐานการวิจัย

1. การคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามแบบแผนการทดลองกลุ่มเดียวทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (One Group Pretest-Posttest Design)

1. กลุ่มทดลอง

กลุ่มทดลองที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนบ้านหนองโดดอนเสียด สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาบึงกาฬ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564 จำนวน 1 ห้องเรียน รวมทั้งสิ้น 18 คน

2. เครื่องมือและคุณภาพเครื่องมือการวิจัย

2.1 แผนการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 5 แผนรวม 15 ชั่วโมงพบว่าผลการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ มีระดับความเหมาะสมเฉลี่ยเท่ากับ 4.85 ซึ่งอยู่ในระดับความเหมาะสมมากที่สุด

2.2 แบบทดสอบวัดการคิดวิเคราะห์ตามแนวคิดของสุวิทย์ มูลคำ (2547, น. 23-24) ที่วัดครอบคลุม 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความสำคัญ ด้านความสัมพันธ์ และด้านหลักการ เป็นข้อสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เท่ากับ 1.00 ทุกข้อ ค่าความยาก (p) อยู่ระหว่าง 0.22-0.78 ค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.23-0.69 และค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.88

2.3 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการเรียนรู้ในด้านพุทธิพิสัยของ Bloom มี 6 พฤติกรรมการเรียนรู้ ได้แก่ ด้านความรู้ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ การวิเคราะห์ การสังเคราะห์ และการประเมินค่า เป็นข้อสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67-1.00 ค่าความยากอยู่ระหว่าง 0.26-0.78 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.23-0.62 และค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.85

2.4 แบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการเรียนแบบมาตราประมาณค่า 5 ระดับ ของ Likert จำนวน 20 ข้อ ที่สอบถามครอบคลุม 5 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหาสาระการเรียนรู้ ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านสื่ออุปกรณ์การเรียนรู้ ด้านการวัดผลและประเมินผลการเรียนรู้ และด้านประโยชน์ที่ได้รับ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เท่ากับ 1.00 ทุกข้อ และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.92

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 ยื่นหนังสือขอรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จากสถาบันวิจัยและพัฒนา และทำหนังสือขอความอนุเคราะห์การทดลองใช้เครื่องมือและเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ถึงโรงเรียนบ้านหนองโดดอนเสียด อำเภอโซ่พิสัย จังหวัดบึงกาฬ

3.2 ผู้วิจัยปฐมนิเทศนักเรียนกลุ่มทดลอง เพื่อชี้แจงและทำความเข้าใจในแนวทางดำเนินการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4

3.3 ดำเนินการทดสอบก่อนเรียนด้วยแบบทดสอบวัดการคิดวิเคราะห์ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ตรวจและบันทึกคะแนนเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.4 ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต จำนวน 5 แผน เวลา 15 ชั่วโมง

3.5 หลังจากกลุ่มทดลองได้รับประสบการณ์จากการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ ดำเนินการทดสอบหลังเรียนด้วยแบบทดสอบวัดการคิดวิเคราะห์ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ฉบับเดียวกันกับการทดสอบก่อนเรียน ตรวจและบันทึกคะแนนเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.6 หลังจากทดสอบหลังเรียน นักเรียนทำแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต

3.7 นำผลคะแนนจากแบบทดสอบวัดการคิดวิเคราะห์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบสอบถามความพึงพอใจมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐาน

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 วิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลาย

ของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ให้มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 ตามเกณฑ์ 75/75 โดย 75 (E_1) ตัวแรก คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ ได้มาจากร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนทุกคนจากการทำกิจกรรมและการทดสอบย่อยระหว่างเรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ ซึ่งต้องได้คะแนนตั้งแต่ร้อยละ 75 ขึ้นไป และ 75 (E_2) ตัวหลัง คือ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ ได้มาจากร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนทุกคนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ ซึ่งต้องได้คะแนนตั้งแต่ร้อยละ 75 ขึ้นไป โดยหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้สถิติในการทดสอบหาค่าทีแบบไม่เป็นอิสระต่อกัน (t-test for Dependent Sample)

4.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ก่อนเรียน และหลังเรียน โดยใช้สถิติในการทดสอบหาค่าทีแบบไม่เป็นอิสระต่อกัน (t-test for Dependent Sample)

4.4 วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต โดยหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีเกณฑ์การประเมินและแปลผลความพึงพอใจ (บุญชม ศรีสะอาด, 2545 น. 103 ดังนี้

4.51-5.00 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจ มากที่สุด

3.51-4.50 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจ มาก

2.51-3.50 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจ ปานกลาง

1.51-2.50 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจ น้อย

1.00-1.50 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจ น้อยที่สุด

5. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

5.2 สถิติอ้างอิง ได้แก่ การทดสอบค่าทีแบบไม่เป็นอิสระต่อกัน (t-test for Dependent Sample)

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ สรุปผลการวิจัย ดังนี้

1. ประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ตามเกณฑ์ 75/75 ปรากฏผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ (E_1/E_2) ของแผนการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4

แผนการจัดการเรียนรู้	N	คะแนนระหว่างเรียน (E_1) (300 คะแนน)							คะแนนทดสอบหลังเรียน (E_2) (30 คะแนน)		
		คะแนนเต็มแผนละ 60 คะแนน					S.D.	ร้อยละ			
		กิจกรรมการคิดวิเคราะห์ (15)	ผังมโนทัศน์ (15)	คุณลักษณะอันพึงประสงค์ (10)	แบบทดสอบย่อย (20)	$\bar{X}$			$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ
แผนที่ 1 การจัดกลุ่มสิ่งมีชีวิต	18	12.72	11.83	8.83	14.72	48.11	2.45	80.19			
แผนที่ 2 พืชดอกและพืชไม่มีดอก	18	13.44	12.22	8.39	13.12	47.17	3.15	78.61			

(ต่อ)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

แผนการจัดการเรียนรู้	N	คะแนนระหว่างเรียน (E_1) (300 คะแนน)							คะแนนทดสอบหลังเรียน (E_2) (30 คะแนน)		
		คะแนนเต็มแผนละ 60 คะแนน					S.D.	ร้อยละ	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ
		กิจกรรมการคิดวิเคราะห์ (15)	ผังมโนทัศน์ (15)	คุณลักษณะอันพึงประสงค์ (10)	แบบทดสอบย่อย (20)	$\bar{X}$					
แผนที่ 3 การจำแนกพืชดอก	18	13.23	12.66	9.33	13.11	48.33	3.68	80.56			
แผนที่ 4 เกณฑ์การจำแนกสัตว์	18	13.00	12.84	9.44	13.44	48.72	2.24	81.20			
แผนที่ 5 การจำแนกสัตว์มีกระดูกสันหลัง	18	13.17	11.50	8.67	13.83	47.17	2.73	78.61			
เฉลี่ยรวม		65.56	61.05	44.66							
		171.27			68.22	239.50	10.94	79.83	23.22	2.21	77.41
ประสิทธิภาพ (E_1/E_2) เท่ากับ 79.83/77.41											

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ (E_1/E_2) ของแผนการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 5 แผน พบว่า ประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) ได้จากคะแนนเฉลี่ยจากการทำกิจกรรมเท่ากับ 171.27 จากคะแนนเต็ม 200 คะแนน และคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบย่อยระหว่างเรียนเท่ากับ 68.22 จากคะแนนเต็ม 100 คะแนน รวมเป็นคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 239.50 (S.D. = 10.94) คิดเป็นร้อยละ 79.83 ส่วนประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) ได้จากคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนเท่ากับ 23.22 (S.D. = 2.21) คิดเป็นร้อยละ 77.41 ดังนั้น ประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ (E_1/E_2) เท่ากับ 79.83/77.41 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 75/75 ที่กำหนดไว้

2. เปรียบเทียบการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ก่อนเรียนและหลังเรียน โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ ปรากฏผลดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการคิดวิเคราะห์ ก่อนเรียนและหลังเรียน

การคิดวิเคราะห์	N	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ	t
ก่อนเรียน	18	30	9.11	2.89	30.37	23.39**
หลังเรียน	18	30	23.33	2.40	77.78	

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (df17= 2.57)

จากตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตก่อนเรียน และหลังเรียน โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ พบว่าคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบวัดการคิดวิเคราะห์ก่อนเรียน และหลังเรียนเท่ากับ 9.17 และ 23.33 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า t ที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 23.39 ซึ่งมากกว่าค่า t (Mcmillan & Schumachar, 1997, p. 366) จากตารางค่าวิกฤติการแจกแจงที่ระดับ .01 (df17 = 2.57) แสดงว่า การคิดวิเคราะห์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เมื่อพิจารณาคะแนนการคิดวิเคราะห์เป็นรายด้าน ปรากฏผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการคิดวิเคราะห์รายด้านตามแนวคิดของสุวิทย์ มูลคำ (2547, น. 23-24) ก่อนเรียนและหลังเรียน

การคิดวิเคราะห์	คะแนนเต็ม	ก่อนเรียน			หลังเรียน			ร้อยละการพัฒนา	t
		$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ		
การวิเคราะห์ความสำคัญ	9	2.78	1.44	30.86	7.00	1.50	77.78	46.91	11.25**
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	10	3.33	1.41	33.33	7.67	1.14	76.67	43.33	11.99**
การวิเคราะห์หลักการ	11	3.00	1.41	27.27	8.66	1.75	78.79	51.52	14.62**
เฉลี่ยรวม	30	9.11	2.89	30.37	23.33	2.40	77.78	47.41	23.39**

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (df17= 2.57)

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการคิดวิเคราะห์รายด้านตามแนวคิดของสุวิทย์ มูลคำ (2547, น. 23-24) ทั้งหมด 3 ด้าน คือ ด้านการวิเคราะห์ความสำคัญ ด้านการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และด้านการวิเคราะห์หลักการ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ก่อนเรียนและหลังเรียน โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ พบว่า นักเรียนมีการคิดวิเคราะห์ทุกด้านหลังเรียน สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งการพัฒนาการคิดวิเคราะห์ทุกด้านของนักเรียนมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันโดยเรียงลำดับการพัฒนาจากมากไปน้อย คือ การวิเคราะห์หลักการ การวิเคราะห์ความสำคัญ และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ตามลำดับ

3. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ก่อนเรียนและหลังเรียน โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ ปรากฏผลดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	N	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ	t
ก่อนเรียน	18	30	10.56	3.07	35.19	19.29**
หลังเรียน	18	30	23.22	2.21	77.41	

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (df17=2.57)

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ก่อนเรียนและหลังเรียน โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ พบว่า คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนเท่ากับ 10.56 และ 23.22 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า t ที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 19.29 ซึ่งมากกว่าค่า t (Mcmillan & Schumacher, 1997, p. 366) จากตารางค่าวิกฤติการแจกแจงที่ระดับ .01 (df17 = 2.57) แสดงว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เมื่อพิจารณาคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นรายด้านปรากฏผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ตามพฤติกรรมการเรียนรู้ในด้านพุทธิพิสัยของ Bloom ก่อนเรียนและหลังเรียน

พฤติกรรมการเรียนรู้	คะแนนเต็ม	ก่อนเรียน			หลังเรียน			ร้อยละการพัฒนา	t
		$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ		
ความรู้ความจำ	5	1.61	1.24	32.22	4.11	0.96	82.22	50.00	7.67**
ความเข้าใจ	5	2.06	1.21	41.11	3.94	0.87	78.89	37.78	5.24**
การนำไปใช้	5	2.00	1.08	40.00	4.00	1.03	80.00	40.00	5.68**
การวิเคราะห์	5	1.39	0.78	27.78	3.89	0.83	77.78	50.00	10.77**
การสังเคราะห์	5	2.22	1.00	44.44	3.83	0.86	76.67	32.22	6.99**
การประเมินค่า	5	1.28	1.13	25.56	3.44	1.25	68.89	43.33	6.67**
เฉลี่ยรวม	30	10.56	3.07	35.19	23.22	2.21	77.41	42.22	19.29**

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (df17= 2.57)

จากตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนตามพฤติกรรมการเรียนรู้ในด้านพุทธิพิสัยของ Bloom ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ก่อนเรียนและหลังเรียน โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทุกพฤติกรรมการเรียนรู้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านความรู้ความจำและการคิดวิเคราะห์มีคะแนนการพัฒนามากที่สุด ส่วนพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านการสังเคราะห์มีคะแนนการพัฒนาน้อยที่สุด

4. การศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ปรากฏดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหาสาระการเรียนรู้	4.40	0.71	มาก
ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	4.44	0.70	มาก
ด้านสื่ออุปกรณ์การเรียนรู้	4.39	0.73	มาก
ด้านการวัดและประเมินผลการเรียนรู้	4.36	0.78	มาก
ด้านประโยชน์ที่ได้รับ	4.42	0.62	มาก
เฉลี่ยรวม	4.40	0.71	มาก

จากตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต พบว่ามีค่าเฉลี่ยรวมทุกด้านเท่ากับ 4.40 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.71 อยู่ในระดับความพึงพอใจมาก และเมื่อพิจารณารายด้านพบว่าทุกด้านมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก โดยด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 4.44 ส่วนด้านการวัดและประเมินผลการเรียนเรียนรู้ มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 4.36

สรุป และอภิปรายผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยสรุปผลการวิจัย ไว้ดังนี้

1. แผนการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 79.83/77.41 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ 75/75

2. การคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาแต่ละองค์ประกอบการคิดวิเคราะห์ (การวิเคราะห์ความสำคัญ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และการวิเคราะห์หลักการ) พบว่า นักเรียนมีการคิดวิเคราะห์ทุกด้านหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งการพัฒนาการคิดวิเคราะห์ทุกด้านของนักเรียนมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันโดยเรียงลำดับการพัฒนาจากมากไปน้อย คือ การวิเคราะห์หลักการ การวิเคราะห์ความสำคัญ และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ตามลำดับ

3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาตามพฤติกรรมการเรียนรู้ (ความรู้ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ การวิเคราะห์ การสังเคราะห์ และการประเมินค่า) พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทุกพฤติกรรมการเรียนรู้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านความรู้ความจำและการคิดวิเคราะห์มีคะแนนการพัฒนามากที่สุด ส่วนพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านการสังเคราะห์มีคะแนนการพัฒนาน้อยที่สุด

4. ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.40 พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

อภิปรายผลการวิจัย

ผู้วิจัยอภิปรายผลการวิจัย ไว้ดังนี้

1. การจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 79.83/77.41 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ 75/75 จากการที่แผนการจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากผู้วิจัยได้ศึกษาหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) คู่มือครู และหนังสือเรียน กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เพื่อให้ทราบถึงมาตรฐานและตัวชี้วัดอย่างละเอียด จากนั้นวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวชี้วัด สาระการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ คุณลักษณะอันพึงประสงค์และสมรรถนะ ทักษะการคิดวิเคราะห์ ภาระงาน และการวัดผลประเมินผล เพื่อนำไปสู่การจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ที่มีกิจกรรมการเรียนการสอนที่สอดคล้องกับหลักสูตรและเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน และแต่แผนการจัดการเรียนรู้ได้ออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นกระตุ้นสมองผู้เรียนให้มีความพร้อมและมีความสุขในการเรียนด้วยกิจกรรมที่หลากหลาย เน้นการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศศิธร เวียงวะลัย (2556, น. 115) ในการสอนแต่ละครั้งต้องคำนึงถึงความคิดพื้นฐานตามหลักการของสมองกับการเรียนรู้ 3 ด้าน คือ ด้านอารมณ์ การคิด และลงมือปฏิบัติ ซึ่งต้องกระทำไปพร้อม ๆ กัน จึงเกิดการเรียนรู้ที่ดีที่สุด นอกจากนี้ได้บูรณาการผังมโนทัศน์เข้ามาช่วยในการสรุปความคิดรวบยอด และสามารถพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และการเชื่อมโยงข้อมูลของนักเรียนได้เป็นอย่างดี แผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นได้ผ่านกระบวนการตรวจสอบ แก้ไข ปรับปรุง จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผ่านการประเมินตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ ผ่านการนำไปทดลองใช้กับผู้เรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างเพื่อดูความเหมาะสมของเนื้อหาสาระ สื่อการเรียนรู้ แบบทดสอบ เวลาในการจัดกิจกรรม และนำข้อบกพร่องที่พบมาปรับปรุง แก้ไข ก่อนนำไปทดลองจริงกับกลุ่มทดลอง พบว่า นักเรียนมีความสนุกสนาน ตื่นเต้นกับกิจกรรมในขั้นสร้างความสนใจ ส่งผลให้นักเรียนมีอารมณ์ดี มีความสุขในการเรียนรู้ มีความตั้งใจเรียน ตั้งใจทำกิจกรรมต่าง ๆ อย่างกระตือรือร้น สร้างผลงานออกมาได้เป็นอย่างดี และส่งผลให้นักเรียนมีคะแนนระหว่างเรียนและหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด สอดคล้องกับงานวิจัยของ เทิดพงศ์ ชัยรัตน์ (2562, น. 31-49) ได้ศึกษาการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐานเพื่อส่งเสริมความสามารถด้านการอ่านคิดวิเคราะห์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่า มีประสิทธิภาพเท่ากับ 82.92/81.44 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เพราะว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คำนึงถึงความพร้อมของนักเรียน การเรียนรู้อย่างมีความสุข และการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ สอดคล้องกับงานวิจัยของศุภพล มงคลเจริญพันธ์ (2561, น. 13-25) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐาน วิทยาลัยอาชีวศึกษาดุสิตพณิชยการ สาขาการตลาด ชั้นปีที่ 2 พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐาน เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการคิดวิเคราะห์ มีประสิทธิภาพเท่ากับ 81.82/84.26 สูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้และสอดคล้องกับงานวิจัยของ คนึงชัย วิริยะสุนทร (2564, น. 130-142) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสมองเป็นฐานที่ส่งเสริมทักษะการอ่าน เขียน และคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพเท่ากับ 81.39/78.53 สูงกว่าเกณฑ์ 70/70 ที่ตั้งไว้ เนื่องจากมีการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการลงมือปฏิบัติประกอบกับการใช้สื่อการเรียนรู้ที่มีความเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน และเน้นสีสันเพื่อกระตุ้นความสนใจและเพิ่มการจดจำแก่ผู้เรียน

2. การคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ พบว่า คะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 เนื่องจากกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เป็นกิจกรรมที่เน้นอารมณ์ การคิด และลงมือปฏิบัติไปพร้อม ๆ กัน ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ที่หลากหลายในขั้นฝึกปฏิบัติ เช่น การสำรวจ การทดลองมีทั้งการคิดแบบเดี่ยว การคิดแบบคู่ และการคิดแบบกลุ่ม ทำให้ผู้เรียนได้แลกเปลี่ยนความรู้ซึ่งกันและกันภายในกลุ่มและภายในห้องเรียน และได้บูรณาการผังมโนทัศน์เข้ามาช่วยในการสรุปความรู้ของผู้เรียนเพื่อให้เข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น ซึ่งสามารถฝึกการเชื่อมโยงข้อมูลและช่วยพัฒนาการคิดวิเคราะห์

ของนักเรียน สอดคล้องกับงานวิจัยของ อนันต์ชัย คำหาญพิทักษ์วงษ์ชาลี และถาดทอง ปานศุภวัชร (2562, น. 128-138) ได้ศึกษาการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้การจัดการเรียนรู้เทคนิคผังกราฟิก พบว่า นักเรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เนื่องจากผังกราฟิกช่วยฝึกการคิดวิเคราะห์ และสรุปผลงานออกมาได้ด้วยตนเอง ทำให้จดจำเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้การจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์สามารถพัฒนาการคิดวิเคราะห์ทุกด้าน คือ การวิเคราะห์ความสำคัญ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และการวิเคราะห์หลักการ เมื่อพิจารณาแต่ละองค์ประกอบ พบว่า นักเรียนมีการคิดวิเคราะห์ทุกด้านหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งการพัฒนาการคิดวิเคราะห์ทุกด้านของนักเรียนมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยเรียงลำดับการพัฒนาจากมากไปน้อย คือ การวิเคราะห์หลักการ การวิเคราะห์ความสำคัญ และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 51.52, 46.91 และ 43.33 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการวิเคราะห์หลักการเป็นการจำแนกองค์ความรู้ของเนื้อหาว่าประกอบด้วยอะไรบ้าง เมื่อนักเรียนเรียนรู้และเข้าใจเนื้อหาผ่านกิจกรรมการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ พบว่า นักเรียนสามารถทำกิจกรรมการคิดวิเคราะห์ตอบคำถาม และอธิบายได้อย่างเข้าใจ และถูกต้อง การวิเคราะห์ความสำคัญเป็นการหาสิ่งสำคัญของเรื่องนั้น ก่อนเรียนครูผู้สอนตั้งคำถามกระตุ้นความคิดว่าเรื่องที่เรียนมีความสำคัญอย่างไร ให้นักเรียนตอบได้อย่างอิสระ หลังจากเรียนเสร็จ ครูผู้สอนถามอีกครั้งเพื่อตรวจสอบความรู้ความเข้าใจ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่บอกความสำคัญของเรื่องที่เรียนได้ และบอกความสำคัญเกี่ยวกับเนื้อหานั้นได้ ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เป็นการหาว่าสิ่งนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ซึ่งเนื้อหาที่เรียนเกี่ยวกับสิ่งที่อยู่รอบตัวของผู้เรียน ครูผู้สอนยกตัวอย่างสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคย และกระตุ้นด้วยการใช้คำถาม "สิ่งนี้เกี่ยวข้องกับสิ่งนี้อย่างไร" ใช้หลักความเป็นเหตุเป็นผลเข้ามาช่วยให้นักเรียนเข้าใจและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสิ่งต่าง ๆ จะเห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์สามารถส่งเสริมการพัฒนาการคิดวิเคราะห์ทั้ง 3 ด้าน ของนักเรียนให้สูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ วราภรณ์ เพ็ชชะ และสุทธิพร บุญส่ง (2563, น. 200-212) ได้ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการคิดวิเคราะห์วิชาคณิตศาสตร์ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสมองเป็นฐานของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 พบว่า นักเรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 เนื่องจากเป็นการจัดการเรียนรู้แบบผสานความคิด ความรู้สึก และการลงมือปฏิบัติไปพร้อม ๆ กัน ทั้งยังเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ สอดคล้องกับงานวิจัย ฉัตรมงคล สีประสงค์เชษฐ์ศิริสวัสดิ์ และนพมณี เชื้อวัชรินทร์ (2562, น. 1-11) ได้ศึกษาการพัฒนามโนทัศน์วิชาชีววิทยา และการคิดวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐาน พบว่า นักเรียนมีการคิดวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้เพราะว่ามีการจัดการเรียนรู้ที่เน้นกิจกรรมที่หลากหลาย และให้ผู้เรียนได้ฝึกคิดจากประเด็นคำถาม โดยใช้ทักษะกระบวนการคิดของตนเอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ มนัสนันท์ วงศ์กาฬสินธ์ อนันต์ ปานศุภวัชร และอรุณรัตน์ คำแหงพล (2564, น. 34-49) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง ร่างกายของเรา โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ กับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์มีการคิดวิเคราะห์สูงกว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสอดคล้องกับงานวิจัย ภัทราพร ทำคามดนุชา สลีวงศ์ และศักดิ์ สุวรรณฉาย (2561, น. 124-131) ได้ศึกษาการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์วิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐาน (BBL) ร่วมกับแผนผังความคิด พบว่า นักเรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์สูงขึ้นในแต่ละครั้งของการทดสอบตั้งแต่ครั้งแรกถึงครั้งสุดท้าย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ พบว่าคะแนนหลังเรียนสูง

กว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2 เนื่องจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้คำนึงถึงการสร้างบรรยากาศในห้องเรียนให้มีความน่าสนใจ สนุกสนาน โดยเริ่มจากครูผู้สอนสร้างความสัมพันธ์ที่เป็นมิตรกับผู้เรียน การแต่งกายสุภาพ การพูดจาไพเราะ และมีอารมณ์ขัน พร้อมกับใช้สื่อการสอนที่น่าสนใจ เช่น เกม วีดิทัศน์ ภาพประกอบที่มีสีสันสวยงาม เพื่อให้นักเรียนมีความผ่อนคลาย มีความสุข อารมณ์ดี มีความพร้อมในการเรียนรู้ เกิดความตั้งใจ มีความกระตือรือร้นกับการเรียนในทุกขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้น สอดคล้องกับ จิรัชญา อุ่นอกพันธ์ พงษ์เอก สุขใส และอังคณา อ่อนธานี (2561, น. 35-49) หากนักเรียนมีความสุขในการเรียนรู้ จะนำไปสู่ความตั้งใจ และเจตคติที่ดีต่อการเรียน เป็นผลต่อเนื่องให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดีขึ้น ทั้งนี้กิจกรรมการเรียนรู้ยังเน้นการคิดวิเคราะห์และการลงมือปฏิบัติหลากหลายรูปแบบ และภายในชั้นเรียนครูและนักเรียนได้ร่วมกันสรุปความรู้เปิดโอกาสให้ซักถามเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดระหว่างครูกับนักเรียน รวมทั้งขั้นการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน นักเรียนได้อธิบาย และคิดเชื่อมโยงจากความรู้ที่ได้รับกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน ทั้งยังบูรณาการผังมโนทัศน์เข้ามาช่วยนักเรียนในการสรุปความรู้ด้วยตนเอง สามารถฝึกการเชื่อมโยงข้อมูล หาความสัมพันธ์ของเนื้อหาจากภาพรวมไปสู่ส่วนประกอบย่อย ๆ ทำให้นักเรียนเกิดการคิดอย่างเป็นระบบ ทั้งยังช่วยพัฒนาสมองซีกซ้ายในด้านการคิดวิเคราะห์ และพัฒนาสมองซีกขวาในด้านการออกแบบผังมโนทัศน์ วาดภาพระบายสีเพื่อตกแต่งผังมโนทัศน์ให้มีความสวยงาม ทำให้นักเรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายและดียิ่งขึ้น ส่งผลให้ทุกขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ สามารถส่งเสริมการพัฒนาพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัยของ Bloom (ความรู้ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ การคิดวิเคราะห์ การสังเคราะห์และการประเมินค่า) พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทุกพฤติกรรมการเรียนรู้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เช่นกัน โดยพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านความรู้ความจำและการคิดวิเคราะห์มีคะแนนการพัฒนามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 50.00 ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการเรียนรู้เน้นการพัฒนาการคิดวิเคราะห์ ส่งผลให้นักเรียนมีกระบวนการคิด และจำแนกองค์ประกอบย่อย จัดประเภทสิ่งต่าง ๆ ได้ดีขึ้น และด้านความรู้ความจำเป็นพฤติกรรมการเรียนรู้ขั้นเริ่มต้น เป็นความสามารถในการจดจำสิ่งที่เรียนมา และเป็นข้อมูลง่าย ๆ ทำให้นักเรียนมีการพัฒนาด้านนี้ได้ดี ส่วนพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านการสังเคราะห์มีคะแนนการพัฒนาน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 32.22 สาเหตุอาจเกิดจากเป็นพฤติกรรมการเรียนรู้ที่ใช้ความสามารถในการรวบรวมส่วนย่อย ๆ เพื่อสร้างเป็นรูปแบบหรือโครงสร้างใหม่ หรือเป็นการสรุปความรู้จากข้อความหรือข้อมูลย่อย ๆ ทั้งนี้ทำให้นักเรียนเกิดความสับสนกับการคิดวิเคราะห์ ซึ่งเป็นทักษะที่ผู้วิจัยเน้นเพื่อพัฒนาในการจัดการเรียนรู้ครั้งนี้ เหตุผลอีกประการ อาจเกิดจากข้อคำถามในแบบทดสอบมีข้อความค่อนข้างยาว ทำให้เข้าใจได้ยากและสรุปคำตอบคลาดเคลื่อนและผิดไป ทั้งนี้จะเห็นว่าทุกขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ช่วยส่งเสริมการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนทุกพฤติกรรมการเรียนรู้ให้สูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ วราภรณ์ กุณาบุตร และสุทธิกัญจน์ ทิพยเกสร (2561, น. 97-112) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐานในวิชาวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และทดสอบหลังเรียน 2 ครั้ง ระยะห่าง 2 สัปดาห์ พบว่านักเรียนมีคะแนนความคงทนในการเรียนรู้ไม่แตกต่างจากคะแนนหลังเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 สอดคล้องกับงานวิจัยของ จารุณี วิชาชัย (2562, น. 48-60) ได้ศึกษาการพัฒนารูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐานเพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saleh and Subramaniam (2019, pp. 580-584) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษา พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบใช้สมองเป็นฐานมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าวิธีการสอนแบบปกติแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าคะแนนเฉลี่ย

ระหว่างนักเรียนชายและนักเรียนหญิงโดยวิธีการสอนแบบใช้สมองเป็นฐาน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้นและลดความเหลื่อมล้ำทางเพศของนักเรียนได้

4. ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.40 และเมื่อวิเคราะห์รายด้าน โดยเรียงลำดับจากค่าเฉลี่ยมากไปหาน้อย ดังนี้ ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ($\overline{X}$ = 4.44) ด้านประโยชน์ที่ได้รับ ($\overline{X}$ = 4.42) ด้านเนื้อหาสาระการเรียนรู้ ($\overline{X}$ = 4.40) ด้านสื่ออุปกรณ์การเรียนรู้ ($\overline{X}$ = 4.39) ด้านการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ ($\overline{X}$ = 4.36) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ขั้นสร้างความสนใจมีการสร้างบรรยากาศในห้องเรียนที่สนุกสนาน เช่น การเล่นเกม การทำท่าทางประกอบเพลง ส่งผลให้นักเรียนอารมณ์ดี มีความสุข มีความพร้อมในการเรียน และมีกิจกรรมที่หลากหลายในขั้นการฝึกปฏิบัติเพื่อลดความเบื่อหน่าย เช่น การสำรวจความรู้นอกห้องเรียน การทดลอง และเน้นการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง มีทั้งกิจกรรมเดี่ยวและกิจกรรมกลุ่มเพื่อส่งเสริมให้ทำงานร่วมกันเป็นทีม มีปฏิสัมพันธ์กันภายในกลุ่ม แลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกัน ทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น สรุปความรู้ได้ด้วยตนเอง โดยใช้ผังมโนทัศน์เข้ามาช่วยในการสรุปความคิดรวบยอดและเชื่อมโยงเนื้อหา สามารถส่งเสริมการพัฒนาการคิดวิเคราะห์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนได้ ด้านเนื้อหาสาระการเรียนรู้ ผู้เรียนมีความเข้าใจและตั้งใจเรียน เนื่องจากเนื้อหามีความน่าสนใจ มีความยาก-ง่าย เหมาะสมกับวัยผู้เรียนพร้อมกับมีสื่อและอุปกรณ์การเรียนรู้ที่เพียงพอ เหมาะสม และน่าสนใจ เช่น ใบความรู้ เน้นการใช้สีสันสวยงาม และรูปภาพประกอบเพื่อสร้างความดึงดูดใจของนักเรียน ส่งผลให้นักเรียนอ่านและหาความรู้มากขึ้น ส่วนด้านการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด อาจมีสาเหตุเนื่องจากการวัดและประเมินผลไม่มีความหลากหลาย ซึ่งทุกแผนการจัดการเรียนรู้มีการเก็บคะแนนจากการทำใบกิจกรรมการเรียนรู้โดยการเขียนตอบ การสรุปความรู้ด้วยผังมโนทัศน์ และการทำแบบทดสอบหลังเรียน จำนวน 20 ข้อ ซึ่งจำนวนข้อสอบเยอะเกินไปและคำถามค่อนข้างยาวเมื่อเทียบกับวัยของผู้เรียน อาจทำให้นักเรียนเกิดความเหนื่อยและเบื่อหน่ายในการอ่าน อีกทั้งนักเรียนอาจเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการวัดผลด้วยวิธีอื่นนอกเหนือจากการทำข้อสอบ การตอบคำถาม และการเขียนผังมโนทัศน์ เช่น การนำเสนองานหน้าชั้นเรียน การแสดงพฤติกรรมในห้องเรียน การสำรวจ การทดลอง เป็นการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ในอีกรูปแบบหนึ่ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ บุญกาญจน์ เรืองรองกิตติมา พันธ์พฤกษา และนพมณี เชื้อวัชรินทร์ (2562, น. 95-110) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การคิดวิเคราะห์ และความพึงพอใจในการเรียนวิชาชีววิทยา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐานที่เน้นการคิดวิเคราะห์ พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.29 ทั้งนี้เพราะว่าการจัดกิจกรรมมีการสร้างบรรยากาศในห้องเรียนที่สนุกสนาน เช่น การทำท่าบริหารสมอง การเล่นเกม ส่งผลให้นักเรียนรู้สึกผ่อนคลายและมีความสุข สอดคล้องกับงานวิจัยของมนัสนันท์ วงค์กาฬสินธ์ อนันต์ ปานศุภวัชร และอรุณรัตน์ คำแหงพล (2564, น. 34-49) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง ร่างกายของเราโดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์กับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์มีความพึงพอใจ โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งสูงกว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น โดยรวมอยู่ในระดับมาก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ขันแก้ว จันทรัตน์นิตยา สุวรรณศรี และระพินทร์ โพธิ์ศรี (2563, น. 19-34) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบ BBL ร่วมกับผังมโนทัศน์เพื่อพัฒนาความสามารถในการอ่านจับใจความภาษาอังกฤษของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนมัธยมสมบูรณ์เชียงฮ่อน แขวงไชยบูลี สปป. ลาว พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.02 เนื่องจากการจัดการเรียนรู้เน้นการสร้างบรรยากาศในห้องเรียนให้มีความสนุกสนาน และภาพประกอบในแบบฝึกทักษะการอ่านมีสีสันสวยงามน่าสนใจ

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นอารมณ์ ความคิด และการลงมือปฏิบัติ ดังนั้นในกิจกรรมการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนทำงานเป็นทีม ครูผู้สอนควรให้นักเรียนเลือกทีมในการทำงานด้วยตัวเอง ครูเป็นผู้คอยสนับสนุน แนะนำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของนักเรียน

1.2 ก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ครูผู้สอนควรเพิ่มเวลาในการให้ความรู้และฝึกการเขียนผังมโนทัศน์แบบต่าง ๆ ให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้น เพราะจะช่วยให้นักเรียนสร้างผังมโนทัศน์ได้อย่างถูกต้องและเสร็จทันเวลาที่กำหนด

1.3 ครูผู้สอนควรชี้แจงขั้นตอนการทำกิจกรรมให้ชัดเจน และคอยให้คำแนะนำกับผู้เรียนตลอดการทำกิจกรรม

1.4 ครูผู้สอนควรเตรียมความพร้อมก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านเนื้อหา สื่อและอุปกรณ์ เวลา และสถานที่ให้เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้นั้น ๆ เพื่อให้การเรียนรู้ของนักเรียนเกิดประสิทธิภาพสูงสุดในทุกขั้น

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 จากการวิจัยพบว่าสามารถพัฒนาการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ได้ จึงควรมีการศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์กับตัวแปรอื่น ๆ เช่น ความคงทนในการเรียนรู้ ความสุขในการเรียน ความฉลาดทางอารมณ์

2.2 จากการวิจัยพบว่าสามารถพัฒนาการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 จึงควรมีการศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์เพื่อพัฒนาการคิดวิเคราะห์กับเนื้อหาสาระอื่น ๆ หรือระดับชั้นอื่น ๆ

2.3 การวิจัยครั้งนี้มีการทดลองใช้กับเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพียงบทเดียว เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ที่มีต่อการพัฒนาการคิดวิเคราะห์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ควรทำการวิจัยระยะยาว (1 ภาคเรียน) เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพที่แน่นอนมากขึ้น

2.4. ควรมีการขยายผลการวิจัยการพัฒนาการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ไปยังโรงเรียนอื่นภายในกลุ่มโรงเรียน

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์อนันต์ ปานศุภวัชร และ ดร.กุลวดี สุวรรณไตรย์ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และแก้ไขข้อบกพร่องจนสำเร็จเรียบร้อย ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ขันแก้ว จันทรัตน์, นิตยา สุวรรณศรี และระพินทร์ โพธิ์ศรี. (2563). การจัดการเรียนรู้แบบ BBL (Brain Based Learning) ร่วมกับผังมโนทัศน์ (Mind Map) เพื่อพัฒนาความสามารถในการอ่านจับใจความภาษาอังกฤษของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนมัธยมสมบูรณ์เขียงฮ่อน แขวงไชยบูลี สปป. ลาว. *วารสารวไลยอลงกรณ์ปริทัศน์ (มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์),* 10(3), 19-34.

คนึงชัย วิริยะสุนทร. (2564). การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสมองเป็นฐานที่ส่งเสริมทักษะการอ่าน เขียน และคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ,* 15(1), 130-142.

จารุณี วิชาชัย. (2562). การพัฒนารูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐานเพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1. *วารสารเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา,* 2(4), 48-60.

จิรัชญา อุ่นอกพันธ์, พงษ์เอก สุขใส และอังคณา อ่อนธานี. (2561). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสมองเป็นฐานเพื่อเสริมสร้างความสามารถในการสื่อสารภาษาอังกฤษและความสุขในการเรียนสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร,* 20(3), 35-49.

ฉัตรมงคล สีประสงค์, เชษฐ์ ศิริสวัสดิ์ และนพมณี เชื้อวัชรินทร์. (2562). การพัฒนามโนทัศน์วิชาชีววิทยา เรื่อง ระบบต่อมไร้ท่อ และการคิดวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐาน. *ศึกษาศาสตร์สารมหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 3(1), 1-11.

ชนาธิป พรกุล. (2554). *การสอนกระบวนการคิด: ทฤษฎีและการนำไปใช้* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: วี พริ้นท์ (1991).

ทิศนา แขมมณี. (2545). *ศาสตร์การสอน*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เทิดพงศ์ ชัยรัตน์. (2562). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐานเพื่อส่งเสริมความสามารถด้านการอ่านคิดวิเคราะห์. *สารอาศรมวัฒนธรรมวลัยลักษณ์*, 19(2), 31-49.

บุญกาญจน์ เรืองรอง, กิตติมา พันธ์พฤกษา และนพมณี เชื้อวัชรินทร์. (2562). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การคิดวิเคราะห์และความพึงพอใจในการเรียนวิชาชีววิทยา เรื่อง กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของสัตว์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐานที่เน้นการคิดวิเคราะห์. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์*, 21(1), 95-110.

บุญชม ศรีสะอาด. (2545). *การวิจัยเบื้องต้น ฉบับปรับปรุง* (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ประพันธ์ศิริ สุเสารัจ. (2551). *การพัฒนาการคิด ฉบับปรับปรุง* (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: เทคนิคพริ้นติ้ง.

ภัทราพร ทำคาม, ดนุชา สลีวงศ์ และศักดิ์ สุวรรณฉาย. (2561). การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์วิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐาน (BBL) ร่วมกับแผนผังความคิด. *วารสารราชพฤกษ์*, 16(1), 124-131.

มนัสนันท์ วงศ์กาฬสินธ์, อนันต์ ปานศุภวัชร และอรุณรัตน์ คำแหงพล. (2564). การเปรียบเทียบการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง ร่างกายของเรา โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้สมองเป็นฐานร่วมกับผังมโนทัศน์ กับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 44(1), 34-49.

วนิดา สิงห์น้อย. (2560). ทักษะการเรียนรู้ของนักเรียนในศตวรรษที่ 21. *นิตยสาร สสวท*, 45(208), 31-33.

วราภรณ์ กุณาบุตร และสุทธิกัญจน์ ทิพยเกษร. (2561). การจัดการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐานในวิชาวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น*, 12(4), 97-112.

วราภรณ์ เพ็ชชะ และสุทธิพร บุญส่ง. (2563). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการคิดวิเคราะห์วิชาคณิตศาสตร์โดยการจัดการเรียนรู้แบบสมองเป็นฐานของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. *วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยวิทยาเชิงพุทธ*, 5(12), 200-212.

ศรเนตร อาริโสภณพิเชฐ. (2557). กลยุทธ์การเรียนการสอนเพื่อพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์: แผนที่มโนทัศน์. *วารสารครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 42(3), 194-210.

ศศิธร เวียงวะลัย. (2556). *การจัดการเรียนรู้ (Learning Management)*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ศุภพล มงคลเจริญพันธ์. (2561). การจัดการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐาน วิทยาลัยอาชีวศึกษาดุสิตพณิชยการ. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยรัตนบัณฑิต*, 13(2), 13-25.

สุคนธ์ สินธพานนท์. (2558). *การจัดการเรียนรู้ของครูยุคใหม่เพื่อพัฒนาทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21*. กรุงเทพฯ: 9119 เทคนิคพริ้นติ้ง.

สุวิทย์ มูลคำ. (2547). *กลยุทธ์การสอนคิดวิเคราะห์* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ภาพพิมพ์.

ไสว ฟักขาว. (2558). *ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21*. (จุลสาร). มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.

อนันต์ธชัย คำหาญ, พิทักษ์ วงษ์ชาลี และถาดทอง ปานศุภวัชร. (2562). การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง วัสดุรอบตัว โดยใช้การจัดการเรียนรู้เทคนิคผังกราฟิก. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด*, 13(3), 128-138.

Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of Education Objectives Handbook I: Cognitive Domain*. New York: David Mckay Company.

Mcmillan, J. H., & Schumachar, S. S. (1997). *Research in Education: A ConceptualIntroduction.* New York: Longman.

Saleh, S., & Subramaniam, L. (2019). Effects of Brain-Based Teaching Method on Physics achievement. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 40(3),580-584.

Shabatat, K. (2016). The Impact of a Teaching-Learning Program Based on a Brain-Based Learning on the Achievement of the Femals Student of 9th Grade in Chemistry. *Higher Education Studies,* 6(2), 162-173.

0-6

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 (2022) : มกราคม – มิถุนายน 2565

Sci2.3-33

JSET LRU

วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

การพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด

3D Animation Development Story Production Thermal Insulation of Pineapple Fibers

ศุภชัย แซ่ฉิน และ แพรตะวัน จารุตัน*

Suphachai Saechin and Praetawan Jarutan

สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

จังหวัดสกลนคร ประเทศไทย 47000

Department of Computer, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University,

Sakon Nakhon Province, Thailand 47000

*Corresponding author Email: Praetawan9925@snru.ac.th

Received 4 Febuary 2022, Accepted 29 March 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่กระบวนการผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรดโดยพัฒนาสื่อในรูปแบบการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ สำหรับแสดงถึงขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ การผลิตฉนวนกันความร้อน การทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อน การทดสอบความหนาแน่น การทดสอบการดูดซึมน้ำ และการทดสอบความคงทนในการตกจากที่สูง โดยผู้วิจัยได้นำเนื้อหามาจากงานวิจัยของเทพปัญญา ชุมภูแสง ที่ได้วิจัยการผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยของใบสับปะรด โดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน ผสมกับน้ำ และสารละลายกรดฟอร์มิก (CH_2O_2) จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงความร้อนของฉนวน แต่ยังไม่มีการเผยแพร่ผลงานวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยได้พัฒนาการ์ตูนด้วยโปรแกรมมายา (MAYA) โดยเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินเป็นแบบสอบถามประเมินประสิทธิภาพของการ์ตูน โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 11 คน และประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานการ์ตูน จำนวน 30 คน คัดเลือกโดยวิธีการเจาะจงกลุ่มเป้าหมาย สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการพัฒนาพบว่า การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรดสามารถใช้เป็นสื่อเผยแพร่กระบวนการผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรดได้จริงตามวัตถุประสงค์ เป็นสื่อที่มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.722, S.D. = 0.275) และผู้ใช้งานการ์ตูนมีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.484, S.D. = 0.371)

คำสำคัญ: การ์ตูนแอนิเมชัน สื่อการเรียนรู้ 3 มิติ การผลิตฉนวนกันความร้อน เส้นใยสับปะรด

ABSTRACT

This research aimed to disseminate the production process of insulation from pineapple fibers by developing a 3D animation cartoon format for representing the process of preparing the equipment.

JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

Insulation production thermal properties test thermal density test water absorption test and testing durability in falling from high places. The researcher has taken the content from the research of Mr. Tappanya Chumphusaeng who has researched the production of insulation from pineapple leaves. By using para rubber as a binder, mixed with water and formic acid solution (CH_2O_2) , then the physical properties were tested and thermal properties of insulation But no such research results have been published. The researcher developed a cartoon with the Maya Program (MAYA). The assessment tool was a questionnaire evaluating cartoon performance. By of 11 people and assessed the satisfaction of 30 cartoon users selected by means of specific target groups. The statistics used to analyze the data were mean and standard deviation.

The research results were 3D animation cartoon titled: The production of insulation from pineapple fibers can be used as a media for disseminating the production process of insulation from pineapple fibers according to the objectives It is the most effective medium ($\bar{x}$ = 4.722, S.D. = 0.275) and manga users have a high level of satisfaction ($\bar{x}$ = 4.484, S.D. = 0.371)

Keywords: 3D animation, 3D learning materials, insulation production, Pineapple Fibers

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันในด้านสื่อประเภทต่างๆ เพื่อนำเสนอหรือเผยแพร่ผลงานในรูปแบบสื่อประสม (มัลติมีเ เดีย) โดยรูปแบบการนำเสนอที่ใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์สามมิติ (3D Computer Graphic) โดยการนำเสนอในรูปแบบแอนิเมชัน 3 มิติ ที่มีความกว้าง ความยาว ความลึก ทำให้เข้าใจในภาพชัดเจนขึ้น โดยการใช้เทคโนโลยีการสื่อสาร สร้างความรู้ความเข้าใจกับภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกิดจากการดำเนินชีวิตของมนุษย์ที่มีการสั่งสมความรู้มวล ประสบการณ์ต่าง ๆ ที่มีการสืบทอดจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ที่เป็นไปอย่างต่อเนื่องไม่ขาดสายโดยมีความสัมพันธ์ระหว่างชาวบ้านกับชาวบ้าน สืบทอดจากคนรุ่นหนึ่งไปสู่คนอีกรุ่นหนึ่ง โดยการนำเอาภูมิปัญญาท้องถิ่นมาสร้างเป็นการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เพื่อเผยแพร่ให้ความรู้ให้กับชุมชนเกี่ยวกับ การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรดโดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน [1]

จากผลการศึกษาด้านการผลิตฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากวัสดุในท้องถิ่นโดยใช้ใยสับปะรด ที่มีน้ำยางพาราเป็นตัวประสานในการทำฉนวนกันความร้อน และทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การปล่อยจากที่สูง สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และ อัตราการนำความร้อน เพื่อให้ได้ฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม ราคาถูก วัสดุหาได้ง่ายและมีความเป็นมาตรฐานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอาคารบ้านเรือนได้ โดยเส้นใยสับปะรดทำมาจากส่วนใบของต้นสับปะรดโดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน ควรค่าแก่การเผยแพร่การศึกษาประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรดแก่ชุมชนท้องถิ่นที่สนใจต่อไป [2]

ผู้วิจัยมีความสนใจในการนำเสนอกระบวนการผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรดโดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน ด้วยเทคโนโลยีแอนิเมชัน 3 มิติ ซึ่งจะมีการนำเสนอในรูปแบบการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ (Animation 3D) แสดงถึงขั้นตอนในการผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด เพื่อให้ผู้ที่สนใจและมองภาพขั้นตอนการและการทดสอบฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรดโดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสานด้วยเทคโนโลยี 3 มิติ ด้วยโปรแกรมมายา (MAYA) ที่ใช้สำหรับปั้นโมเดลและการโมชัน

JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด

2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด

3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด

วิธีการวิจัย

การพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด มีรายละเอียดวิธีการวิจัยดังนี้

1. การวิเคราะห์ความต้องการ

1.1 ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์ อาจารย์วิชชุดา ภาโสม อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรดโดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสานถึงรูปแบบการนำเสนอการผลิตฉนวนกันความร้อนผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์

1.2 สำรวจความต้องการสื่ออิเล็กทรอนิกส์จากกลุ่มตัวอย่าง โดยแบบสอบถามความต้องการสื่ออิเล็กทรอนิกส์

1.3 วิเคราะห์ สรุปผล ความต้องการสื่ออิเล็กทรอนิกส์ของกลุ่มตัวอย่าง โดยสื่ออิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการเป็นรูปแบบการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ

2. วิธีการดำเนินงาน ซึ่งผู้วิจัยได้อาศัยหลัก 3P (Pre - production ขั้นตอนการเตรียมงาน Production ขั้นตอนการผลิตรายการ Post - production ขั้นตอนหลังการผลิต) [3] เป็นแนวทางในการพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง ขั้นตอนการผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. P1 = Pre - production คือ ขั้นตอนของการเตรียมงานก่อนที่จะผลิต

P1 = Pre - production

1. เขียนบทเรื่องราวการ์ตูน
2. ออกแบบสตอรีบอร์ด (Story Board)
3. ศึกษาโปรแกรม (Software) ที่ใช้ในการผลิต
4. เตรียมการบันทึกเสียง

2. P2 = Production คือ ขั้นตอนการผลิต

P2 = Production

1. ปั้นโมเดล

1) ตัวละครหลัก

- เด็กชายแบงค์
- เด็กชายต้น
- แม่ของต้น
- คุณลุงโก

JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

2) ฉาก

- ฉากบ้านต้น
- ฉากเดินทาง
- ฉากตึกสูง
- ฉากบ้านคุณลุง

3) อุปกรณ์ในการผลิตฉนวนกันความร้อน

2. สร้างตัวควบคุมใบหน้าและร่างกาย เฟเชียล คอนโทรเลอร์ (Facial Controller)

3. สร้างการเคลื่อนไหวให้กับโมเดล 3 มิติ กำหนดจัดแสงให้กับฉาก เรียบเรียงฉากตาม สตอรีบอร์ด และทำการโมชันในแต่ละฉาก ตัดต่อ เรียบเรียง จัดองค์ประกอบ

3. P3 = Post - production คือ ขั้นตอนหลังการผลิต

P3 = Post - production

1. ทดลองใช้ การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด

2. ตรวจสอบ / แก้ไข

3. ประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด

4. ประเมินความพึงพอใจของการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด

5. เผยแพร่ การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด ผ่านช่องทางสื่อออนไลน์ เฟซบุ๊ก (Facebook) และ ยูทูป (YouTube)

3. เครื่องมือการวิจัย

3.1 การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด

3.2 แบบประเมินประสิทธิภาพ การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด

3.3 แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อการพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด

4. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

4.1 ประชากร คือ ชาวบ้าน อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม จำนวน 5,021 คน [4]

4.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มเกษตรกรที่ปลูกสับปะรด อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม จำนวน 30 คน เลือกโดยการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

5. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.50 - 5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50 - 4.49 หมายถึง ระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 2.50 - 3.49 หมายถึง ระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50 - 2.49 หมายถึง ระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.49 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

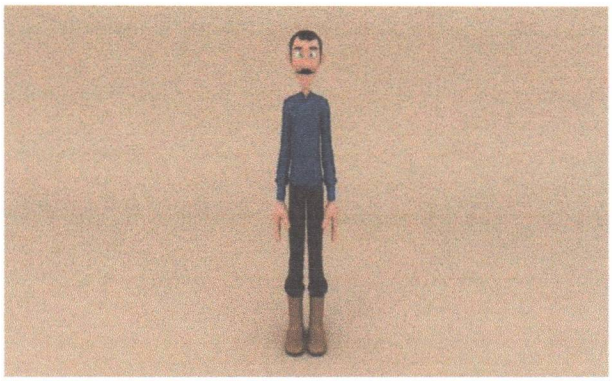
JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

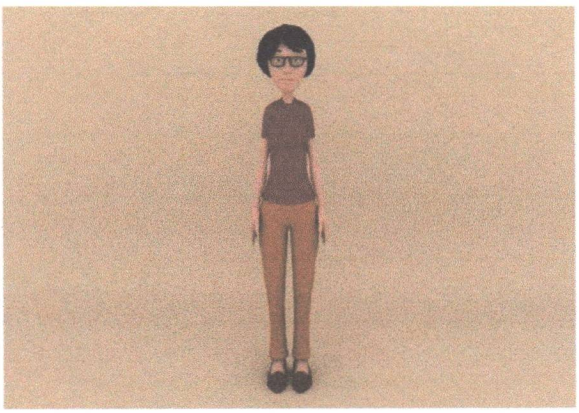
การพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด สามารถสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. ผลการพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด

การพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรดที่พัฒนาสามารถดูแบบออนไลน์ (Online) และ ออฟไลน์ (Offline) โดยมีการนำเสนอ 6 นาที ผ่านสมาร์ทโฟน และคอมพิวเตอร์ โดยการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ ประกอบไปด้วย ตัวการ์ตูนจำนวน 4 ตัว ได้แก่ 1) คุณลุงโก 2) แม่ 3) ต้น และ 4) แบงค์ ฉาก 11 ฉาก ได้แก่ 1) ฉากเริ่มเรื่อง 2) ฉากการเดินทางไปบ้านคุณลุงโก 3) ฉากการเตรียมอุปกรณ์ 4) ฉากขั้นตอนการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อน 5) ฉากขั้นตอนการผสมวัตถุดิบในอัตราส่วน 60 : 40 6) ฉากการอบฉนวนกันความร้อน 7) ฉากทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนเส้นใยสับปะรด 8) ฉากการวัดความหนาแน่น 9) ฉากทดสอบการดูดซึมน้ำ 10) ฉากการทดสอบความคงทนจากการตกจากที่สูง และ 11) ฉากจบเรื่อง โดยมีดนตรีพร้อมเสียงบรรยายประกอบตลอดทั้งเรื่อง

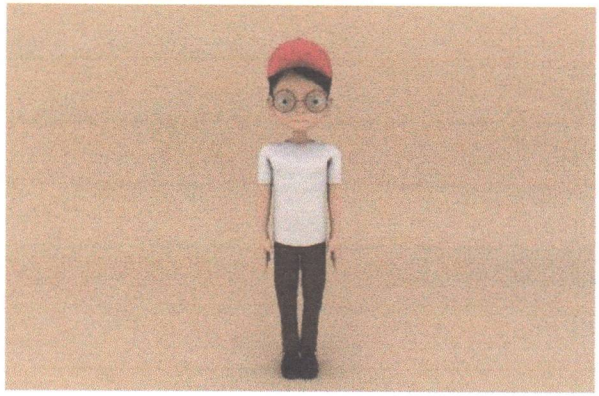


ภาพที่ 1 ตัวละครคุณลุงโก ในการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ

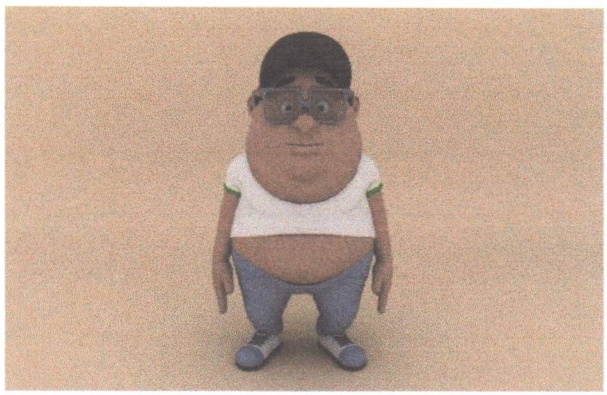


ภาพที่ 2 ตัวละครแม่ ในการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ

JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY



ภาพที่ 3 ตัวละครต้น ในการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ

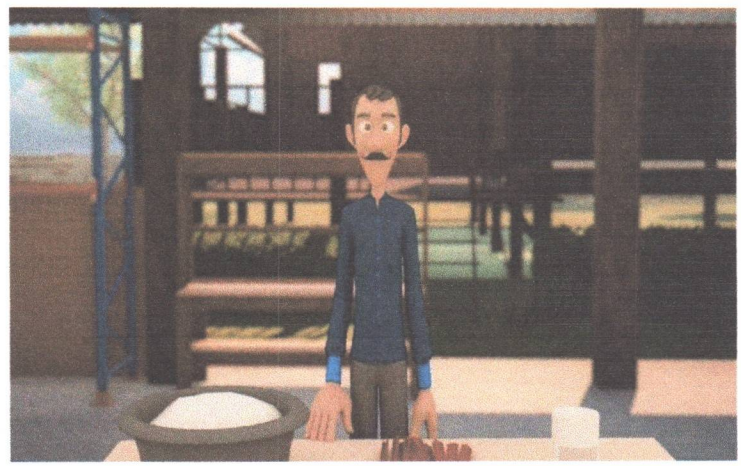


ภาพที่ 4 ตัวละครแบงค์ ในการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ

ภาพที่ 5 ฉากเริ่มเรื่องที่บ้านของต้น

JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

ภาพที่ 6 ฉากการเดินทางไปบ้านคุณลุงโก

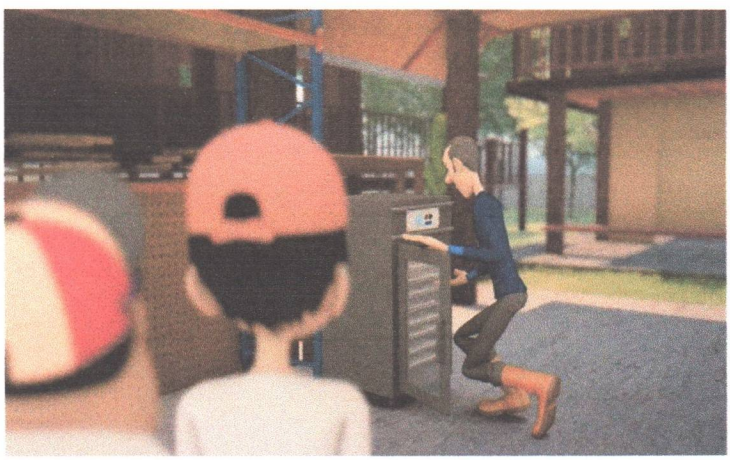


ภาพที่ 7 ฉากการเตรียมอุปกรณ์

ภาพที่ 8 ฉากขั้นตอนการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อน

JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

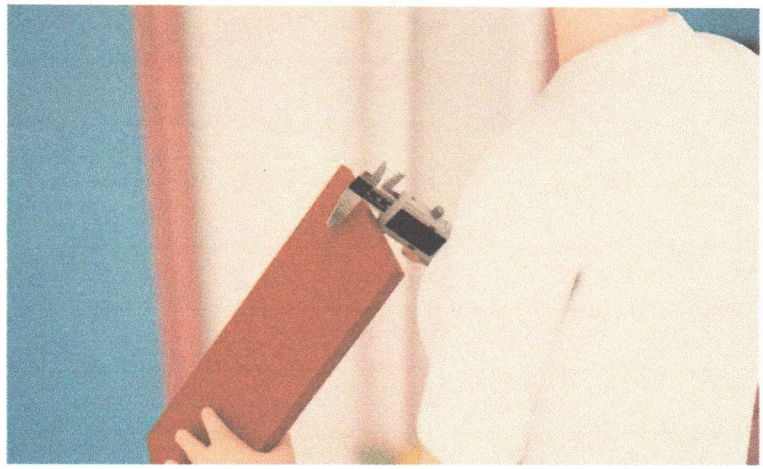
ภาพที่ 9 ฉากขั้นตอนการผสมวัตถุดิบในอัตราส่วน 60 : 40



ภาพที่ 10 ฉากการอบฉนวนกันความร้อน

ภาพที่ 11 ฉากทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนเส้นใยสับปะรด

JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY



ภาพที่ 12 ฉากการวัดความหนาแน่น

ภาพที่ 13 ฉากทดสอบการดูดซึมน้ำ

ภาพที่ 14 ฉากการทดสอบความคงทนจากการตกจากที่สูง

JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

ภาพที่ 15 ฉากจบเรื่อง

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด

เมื่อผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาแล้วเสร็จ ก่อนจะนำไปเผยแพร่จริง ผู้วิจัยได้ดำเนินการนำการ์ตูนไปประเมินหาประสิทธิภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 11 คน คืออาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ด้านเนื้อหา จำนวน 1 คน อาจารย์ประจำสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ด้านการออกแบบกราฟิก สื่อมัลติมีเดีย และสื่อดิจิทัล จำนวน 10 คน เพื่อให้ได้ข้อมูลมาทำการปรับปรุงเพิ่มเติม ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมิน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลรวมการประเมินประสิทธิภาพของการ์ตูนแอนิเมชัน

รายการประเมินประสิทธิภาพ	$\bar{x}$	S.D.	ผลการประเมิน
ด้านการออกแบบตัวละคร	4.568	0.549	มากที่สุด
ด้านการออกแบบฉาก	4.849	0.311	มากที่สุด
ด้านเสียงบรรยายประกอบ	4.788	0.342	มากที่สุด
ด้านการนำเสนอกระบวนการผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด	4.682	0.298	มากที่สุด
ผลรวม	**4.722**	**0.275**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 1 สรุปผลรวมการประเมินประสิทธิภาพของการ์ตูนแอนิเมชันทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด หากจำแนกตามรายละเอียดการประเมินทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด สอดคล้องกับแพรวนภา พรมวงศ์ษา [5] ที่ได้พัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ผู้พัฒนาได้ศึกษางานวิจัยด้านหลักการออกแบบตัวละคร ด้านการออกแบบฉาก ด้านเสียงบรรยายประกอบ แล้วนำมาวิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ

JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด

จากที่ผู้วิจัยได้ปรับปรุงระบบตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญแล้ว ได้ดำเนินการทดลองใช้การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น โดยประเมินกับผู้ใช้งานจริง คือ กลุ่มเกษตรกรที่ปลูกสับปะรด อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม จำนวน 30 คน ผลการประเมิน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลรวมการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

รายการประเมินความพึงพอใจ	$\bar{x}$	S.D.	ผลการประเมิน
ด้านเนื้อหา	4.433	0.407	มาก
ด้านการออกแบบ	4.467	0.407	มาก
ด้านประโยชน์ที่ได้รับ	4.553	0.463	มากที่สุด
ผลรวม	**4.484**	**0.371**	**มาก**

จากตารางที่ 2 สรุปผลรวมการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับมาก หากจำแนกตามรายละเอียดการประเมินทุกด้านอยู่ในระดับมาก ยกเว้นด้านประโยชน์ที่ได้รับอยู่ในระดับมากที่สุด สอดคล้องกับณัตตยา เอี่ยมคง และธีรศักดิ์ จำนงค์ศาสตร์ [6] ได้พัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง โรคไวรัสเมอร์ส (Virus Mers) เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ผู้พัฒนาได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการ์ตูนแนวสื่อการเรียนรู้ แล้วนำมาออกแบบตัวการ์ตูนตามหลักจิตวิทยา และด้านประโยชน์ที่ได้รับ ตามกลุ่มผู้ใช้งานจริง

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด 2) ประเมินประสิทธิภาพของการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด และ 3) ประเมินความพึงพอใจของการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องมือในการวิจัย ได้แก่ 1) แบบสอบถามความต้องการ และการสัมภาษณ์ผู้เกี่ยวข้อง จากนั้นนำความต้องการมาวิเคราะห์ และพัฒนาเป็นการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด ตามกระบวนการพัฒนาสื่อ 3P 2) ทำการประเมินผล โดยแบ่งกลุ่มประเมินผลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มประเมินประสิทธิภาพของการ์ตูน เป็นกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา จำนวน 1 คน ด้านการออกแบบโมเดล กราฟิก แอนิเมชัน จำนวน 3 คน ด้านสื่อมัลติมีเดีย จำนวน 3 คน ด้านสื่อดิจิทัล จำนวน 3 คน และกลุ่มประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานการ์ตูน คือ กลุ่มเกษตรกร ที่ปลูกสับปะรด จำนวน 30 คน

ผลการวิจัยพบว่า การ์ตูน 3 มิติ ใช้เวลานำเสนอ 6 นาที สามารถดูผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน ประสิทธิภาพของการ์ตูนอยู่ในระดับมากที่สุดทุกด้าน โดยเรียงลำดับรายด้านได้ดังนี้ ด้านการออกแบบฉาก ด้านเสียงบรรยายประกอบ ด้านการนำเสนอกระบวนการผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด และด้านการออกแบบตัวละคร ตามลำดับ และความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อการ์ตูน อยู่ในระดับมาก ซึ่งเรียงลำดับรายด้านของความพึงพอใจจากมากไปหาน้อย คือ ผู้ใช้งานพึงพอใจด้านประโยชน์ที่ได้รับมากที่สุด ด้านการออกแบบ และด้านเนื้อหา ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด สามารถนำไปเป็นสื่อใช้เผยแพร่ได้จริง มีความสอดคล้องตรง

JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

กับความต้องการของผู้ใช้งาน ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้สื่อได้ด้วยตัวเอง เรียนรู้ได้ทุกที่ทุกเวลาทั้งแบบออนไลน์ ออฟไลน์ และสามารถปฏิบัติตามแต่ละขั้นตอนที่สื่อนำเสนอได้

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้จะมีการใช้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น หากมีการเผยแพร่ไปยังกลุ่มเกษตรกรที่สนใจในพื้นที่อื่นๆ ขยายวงกว้างขึ้นในอำเภออื่น หรือจังหวัดอื่นๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณเกษตรกรที่ปลูกสับปะรด อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม ที่ได้สละเวลา และให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ความต้องการ และข้อเสนอแนะ เพื่อให้สามารถทำวิจัยครั้งนี้เกิดผลสำเร็จได้ และขอบพระคุณ อ.วิชชุดา ภาโสม ที่อนุเคราะห์ตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาสื่อการ์ตูนในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Goel, D. & Upadhyay, R. (2017). Effectiveness of use of Animation in Advertising: A Literature Review. Int. J. Sci. Res. **in Network Security and Communication**, Volume 5, 146 - 159.

[2] เทพปัญญา ชุมภูแสง. (2562). **การผลิตฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยสับปะรดโดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน.** (สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต). สกลนคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

[3] ดนัยพร ลดากุล และปุญญรัตน์ ปุญญา. (2560). การพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เพื่อส่งเสริมคุณธรรมด้านความซื่อสัตย์ สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 2. **วารสารวิทยาการ สารสนเทศ และเทคโนโลยีประยุกต์**, 1(1), 64-71.

[4] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2553). **จำนวนประชากรและบ้าน จำแนกเป็นรายอำเภอ และรายตำบล จังหวัดนครพนม ณ เดือนธันวาคม พ.ศ.2553**. สืบค้น 12 กุมภาพันธ์ 2564. จากhttp://service.nso.go.th/nso/nsopublish/districtList/S010107/th/64.htm

[5] แพรวนภา พรมวงศ์ษา. (2561). **พัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติเรื่อง โรคไวรัสเมอร์ส (Virus Mers).** (สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต). สกลนคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

[6] ณัตตยา เอี่ยมคง และธีรศักดิ์ จำนงค์ศาสตร์. (2563). พัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง พาทัวร์ แนวการศึกษาต่อสาขาวิชาธุรกิจดิจิทัล หลักสูตรบริหารธุรกิจ. **วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์**, 15(2), 91-104

วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY
ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 (2021) : กรกฎาคม – ธันวาคม 2564

ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ กรณีศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

Material and Equipment Management System: A Case Study of the Department of Health Science of Sakon Nakhon Rajabhat University

ศิริวงศ์ รักษาสร้อย[1] นิภาพร ชนะมาร[2*]

Siriwong Raksasroy[1] Nipaporn Chanamarn[2*]

[1,2]สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

[1,2]Department of Computer, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon Province, 47000

Corresponding author Email: nipaporn@snru.ac.th[*]

Received 7 October 2021, Accepted 21 December 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สำหรับลงทะเบียน การตรวจสอบ และการยืมคืน จากการศึกษาวิธีการดำเนินงานจากเดิมพบว่าในหน่วยงานยังมีการลงทะเบียนวัสดุครุภัณฑ์ด้วยการบันทึกข้อมูลลงในโปรแกรม Microsoft Excel ในขณะที่การยืมคืน มีการบันทึกลงในกระดาษและจัดเก็บในแฟ้มเอกสาร จากระบบเดิมดังกล่าวเกิดปัญหาการตรวจนับข้อมูลผิดพลาด ใช้เวลาในการค้นหาข้อมูล และการสรุปข้อมูล เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ พัฒนาในรูปแบบของระบบเว็บแอปพลิชัน ด้วยภาษา PHP โดยเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินเป็นแบบสอบถามประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน และประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานระบบจำนวน 30 คน คัดเลือกด้วยวิธีการเจาะจงกลุ่มเป้าหมาย สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก คาเฉลี่ย และสวนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษาพบว่า ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สามารถใช้งานได้จริงตามวัตถุประสงค์ โดยช่วยลดปัญหาการจัดเก็บข้อมูล การรายงานสรุปข้อมูล และการติดตามสถานะข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพได้ ซึ่งประเมินจากผลการประเมินประสิทธิภาพระบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$=4.12, S.D.=0.48) และความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$=4.34, S.D.=0.69)

คำสำคัญ : ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์, การพัฒนาซอฟต์แวร์, การประเมินประสิทธิภาพระบบ, ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ABSTRACT

This research aimed to develop “Material and Equipment Management System” of the Department of Health Science Program of Sakon Nakhon Rajabhat University. This system utilized for registration, check, and borrow and return material and equipment. According to review the existing practices, the department applied Microsoft Excel as a program for record the list of available materials and equipment. Meanwhile, a paper-based record was used for borrow and return with gathering in binders. These existing, traditional system had been reported a counting error, time-consuming when searching and summarizing data. To minimize its problems, the researchers developed the “Material and Equipment Management System” of the Department of Health Science Program using Web application and PHP language. The assessment tool was a questionnaire for a system performance evaluation by 5 experts. Moreover, the satisfaction of 30 system’s users were assessed accordingly. Users were selected by purposive sampling. Descriptive statistics was utilized for data analysis including mean and standard deviation.

The results revealed that “Material and Equipment Management System” of the Department of Health Science Program of Sakon Nakhon Rajabhat University is able to use as its purposes. The system reduces the problems of the data storage, the summary report and the checking process of the current status of materials and equipment of the Department of Health Science Program. Meanwhile, the system performance evaluation is at high level ($\bar{X}$=4.12, S.D.=0.48), and the user satisfaction is at high level ($\bar{X}$=4.34, S.D.=0.69).

Keywords : Material and Equipment Management System, Software Development, System Performance Evaluation, User Satisfaction

บทนำ

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เป็นสาขาที่พัฒนาบัณฑิตด้านสาธารณสุขศาสตร์ ดังนั้นเพื่อสนับสนุนการจัดการเรียนการสอนของหลักสูตรสาธารณสุข จึงได้มีอุปกรณ์สิ่งสนับสนุนอำนวยความสะดวกมากมายในการส่งเสริมการจัดการเรียนการสอน ทั้งคอมพิวเตอร์ ห้องปฏิบัติการกายวิภาค วัสดุครุภัณฑ์ ทางสาธารณสุขชุมชน ทั้งนี้ระบบบริหารจัดการทั้งการจัดเก็บข้อมูล การตรวจสอบวัสดุครุภัณฑ์ การติดตามสถานะการยืมคืน การรายงานผลข้อมูลประจำปี การตรวจสอบการชำรุดของครุภัณฑ์ การตรวจสอบสต๊อกวัสดุ ยังมีการจัดการด้วย Spreadsheet ของโปรแกรม Microsoft Excel ในบางส่วน และจัดการด้วยการใช้กระดาษในการจัดเก็บข้อมูลและแฟ้มเอกสาร ซึ่งทำให้การบริหารจัดการต่างๆ ทำได้ลำบากและยุ่งยาก ใช้เวลานานในการรายงานข้อมูล ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าวสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มีความต้องการที่จะแก้ปัญหาโดยการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้งาน

ปัจจุบันเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ กลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิตประจำวันของมนุษย์ โดยเฉพราะอย่างยิ่งในกระบวนการบริหารจัดการของแต่ละองค์กร ที่ได้มีการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาใช้ในการพัฒนางานด้านต่าง ๆ เช่น การบริหารงานบุคล การจัดซื้อจัดจ้าง งานพัสดุครุภัณฑ์ งานการวางแผน การเก็บข้อมูลและประมวลผล หรือแม้กระทั่งการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้กับระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ ที่จะช่วยในการเก็บข้อมูลให้มีประสิทธิภาพ

และลดเวลาในการทำงาน ซึ่งมีนักวิจัยได้นำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้หลายแขนง เช่น [1] ได้พัฒนาระบบตรวจสอบครุภัณฑ์ด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด ได้ผลการประเมินความพึงพอใจเรียงลำดับจากค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย คือ ด้านความง่ายต่อการใช้งานของระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 ด้านการตรงความต้องการของผู้ใช้ระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 สรุปโดยรวม ระบบตรวจสอบครุภัณฑ์ด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี QR Code มีความพึงพอใจในระดับดี และ [2] ได้พัฒนาระบบระบบจัดการครุภัณฑ์โดยใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดเป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการ และตรวจสอบข้อมูลครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี โดยพัฒนาระบบเป็นแอปพลิเคชันบนแอนดรอยด์ด้วยภาษาจาวาและใช้มายเอสคิวแอลเป็นระบบจัดการฐานข้อมูล และนำเทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดมาใช้ในการพัฒนาระบบจัดการครุภัณฑ์ผ่านทางเว็บไซต์ และ สแกนข้อมูลผ่านทางโปรแกรมประยุกต์บนมือถือได้ เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบครุภัณฑ์ และ [4] ได้พัฒนาระบบสารสนเทศจัดการฐานข้อมูล โดยใช้สถิติ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่า รายการประเมิน 3 รายการ ให้ความพึงพอใจระดับมากที่สุด ได้แก่ ความสามารถในการใช้งานง่าย มีความสม่ำเสมอบนหน้าเว็บไซต์และความความสมบูรณ์ของการแสดงผล และรายการประเมิน 2 รายการ ผู้ประเมินให้ความพึงพอใจในระดับมาก ได้แก่ ความสามารถในการสืบค้นและความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล

จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของเทคโนโลยีในปัจจุบัน จึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เพื่อความสะดวกในการบริหารจัดการข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ มีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ และลดเวลาในการทำงานได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

วิธีการวิจัย

การศึกษาการพัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการวิจัยดังนี้

1. การวิเคราะห์ความต้องการ ผู้วิจัยได้ดำเนินการทำการสัมภาษณ์ข้อมูลจากเจ้าหน้าที่วัสดุของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ เพื่อทราบถึงปัญหาและความต้องการของระบบงาน ดังนี้

1.1 ผู้ดูแลระบบ สามารถจัดการข้อมูลผู้ดูแลระบบ ข้อมูลบุคลากรในสาขา ข้อมูลผู้บริหาร ข้อมูลสมาชิกและข้อมูลเจ้าหน้าที่วัสดุ

1.2 เจ้าหน้าที่วัสดุของสาขา สามารถดูข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ เบิกวัสดุหรือยืมครุภัณฑ์ ข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ จัดการสถานะวัสดุและครุภัณฑ์ อนุมัติการยืม-คืน ยืนยันการคืน และดูรายงานสถานะการอนุมัติให้ยืม

1.3 ผู้บริหาร สามารถอนุมัติการยืม ดูข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ เบิกวัสดุหรือยืมครุภัณฑ์ และดูรายงานข้อมูลการขอยืม

1.4 บุคลากรในสาขา สามารถดูข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ แจ้งขอยืมวัสดุหรือครุภัณฑ์ และดูรายงานสถานะการอนุมัติให้ยืม

1.5 สมาชิก สามารถ ดูข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ แจ้งขอยืมวัสดุหรือครุภัณฑ์ และดูรายงานสถานะการอนุมัติให้ยืมของตัวเองได้

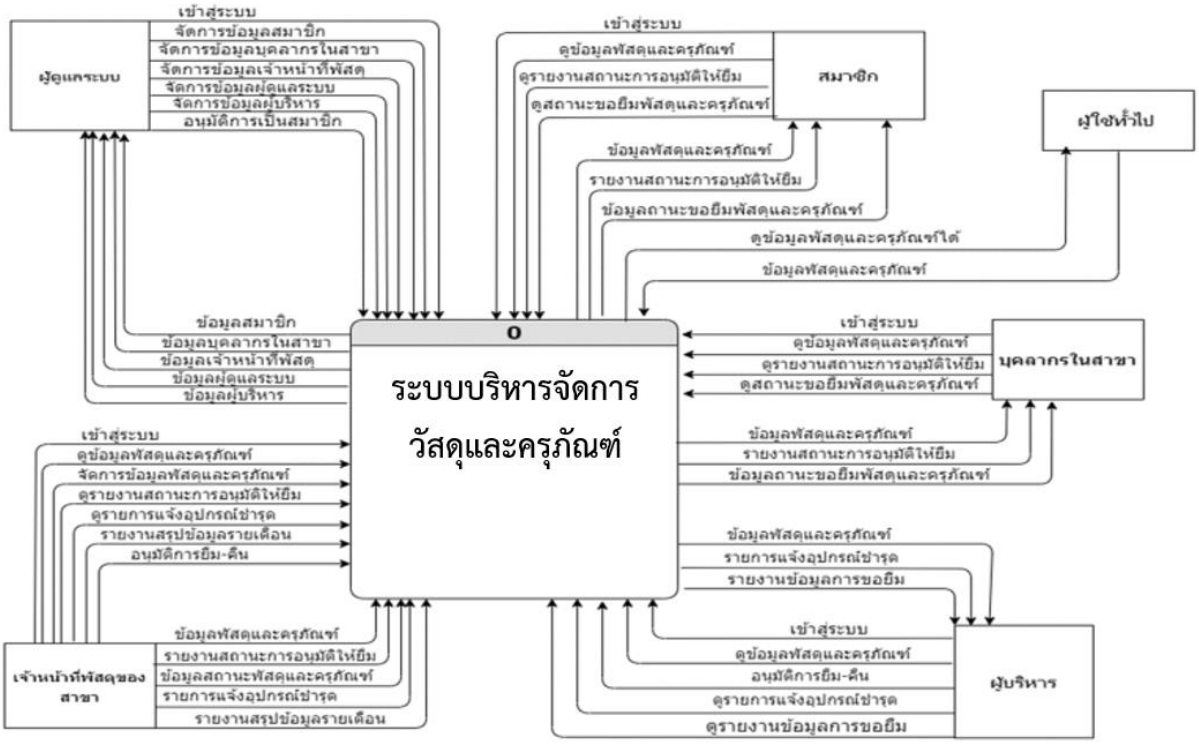
1.6 ผู้ใช้ทั่วไป สามารถดูข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ได้

2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

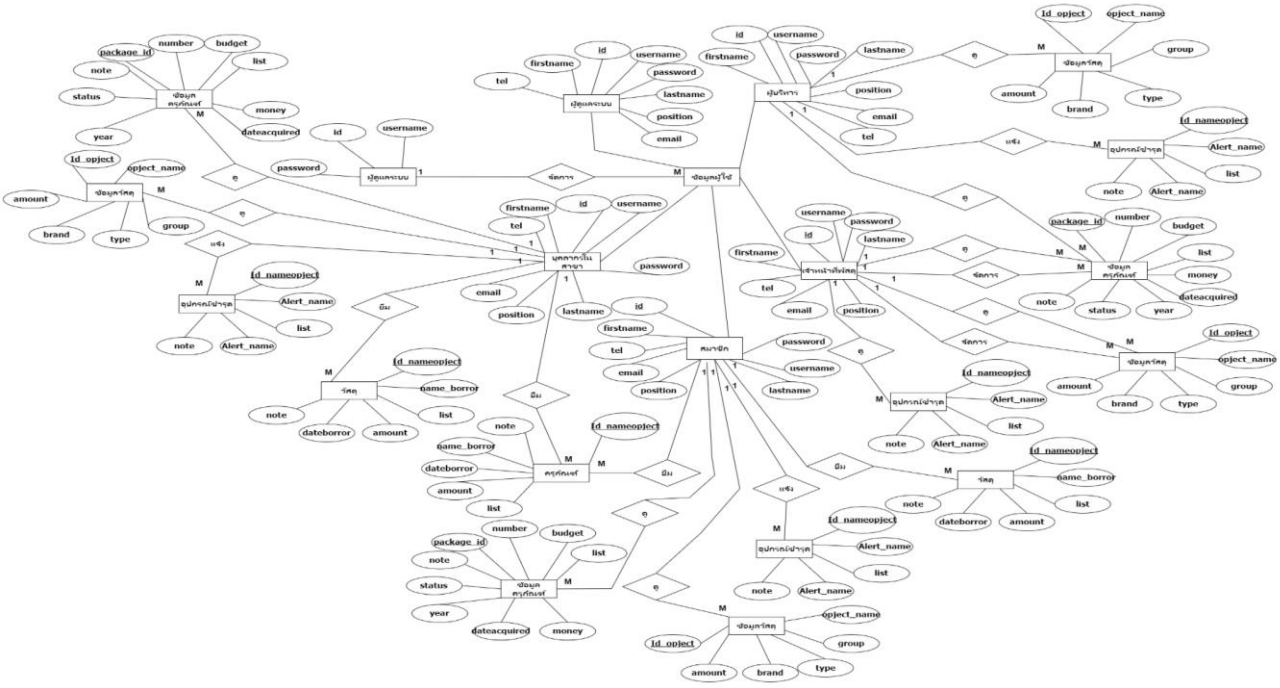
2.1 วางแผนการดำเนินงาน เป็นการกำหนดตารางการดำเนินงานเพื่อให้สามารถทำงานวิจัยได้ตามแผนการดำเนินงาน

2.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล ทำการรวบรวมข้อมูลโดยการสอบถามเก็บรวบรวมข้อมูลจากสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เพื่อให้ทราบระบบงานเดิมของการยืมคืนวัสดุและครุภัณฑ์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูล

2.3 วิเคราะห์และออกแบบความต้องการของระบบ ผู้วิจัยได้ศึกษาสภาพปัญหาทั่วไปจากการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูลกระบวนการทำงานเดิมที่ใช้อยู่พบว่า การยืมคืนวัสดุและครุภัณฑ์ ระบบงานเดิมยังมีการเก็บรักษาข้อมูลยังไม่เป็นระบบ ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ระบบใหม่สำหรับการพัฒนาระบบ แสดงดังภาพ 1 และการออบแบบฐานข้อมูลด้วยแผนภาพ ER-diagram ดังภาพ 2



ภาพที่ 1 แสดงแผนภาพกระแสการทำงานภาพรวมของระบบ



ภาพที่ 2 แสดงแบบจำลองโครงสร้างและความสัมพันธ์ของฐานข้อมูล

2.4 พัฒนาระบบโดยทำการ Implement ระบบตามที่ออกแบบไว้ด้วยเครื่องมือในการพัฒนาระบบ ใช้ภาษา PHP สำหรับพัฒนาประมวลผลที่ฝั่ง Web Server และใช้ภาษา Java Script ในการเพิ่มความสามารถการจัดการที่ฝั่งผู้ใช้งานระบบ และใช้โปรแกรม AppServ เพื่อจำลองเครื่องเป็น Web Server ใช้โปรแกรม MySQL ในการจัดการระบบฐานข้อมูล

2.5 ทดสอบและปรับปรุง เมื่อได้ระบบที่พัฒนาขึ้นแล้วทำการทดสอบระบบโดยการทดลองใช้งานจริงกับบุคลากรของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพและทำตามการปรับปรุงให้ได้ผลตามความต้องการของผู้ใช้งาน

2.6 ประเมินประสิทธิภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ได้ข้อเสนอแนะจากการใช้งานระบบว่าเป็นระบบที่สามารถใช้งานได้จริง และทำการปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

2.7 ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน เมื่อได้ระบบที่สามารถใช้งานได้จริงแล้ว นำระบบที่ได้ไปให้ผู้ใช้งานจริงทำการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ

2.8 จัดทำเอกสารประกอบ เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการทำเอกสารสรุป การวิจัย และเผยแพร่ผลงานวิจัย

3. เครื่องมือการวิจัย

3.1 ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

3.2 แบบประเมินประสิทธิภาพระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

3.3 แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

4. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

4.1 ประชากร คือ บุคลากรและนักศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ จำนวน 250 คน

4.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ บุคลากรของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ และนักศึกษาของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จำนวน 30 คน โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง

5. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 – 5.00 หมายความว่า ระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.50 – 4.49 หมายความว่า ระดับมาก

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.50 – 3.49 หมายความว่า ระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.50 – 2.49 หมายความว่า ระดับน้อย

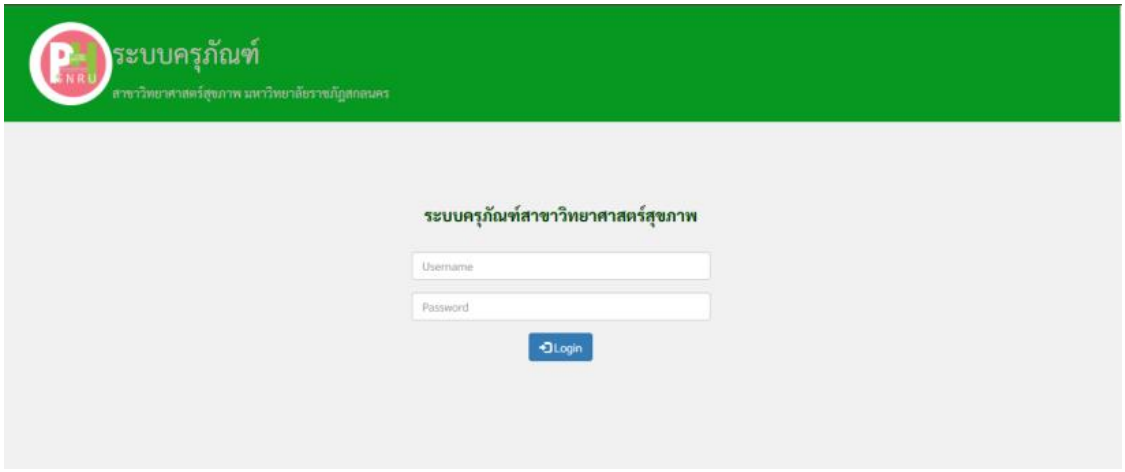
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.49 หมายความว่า ระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

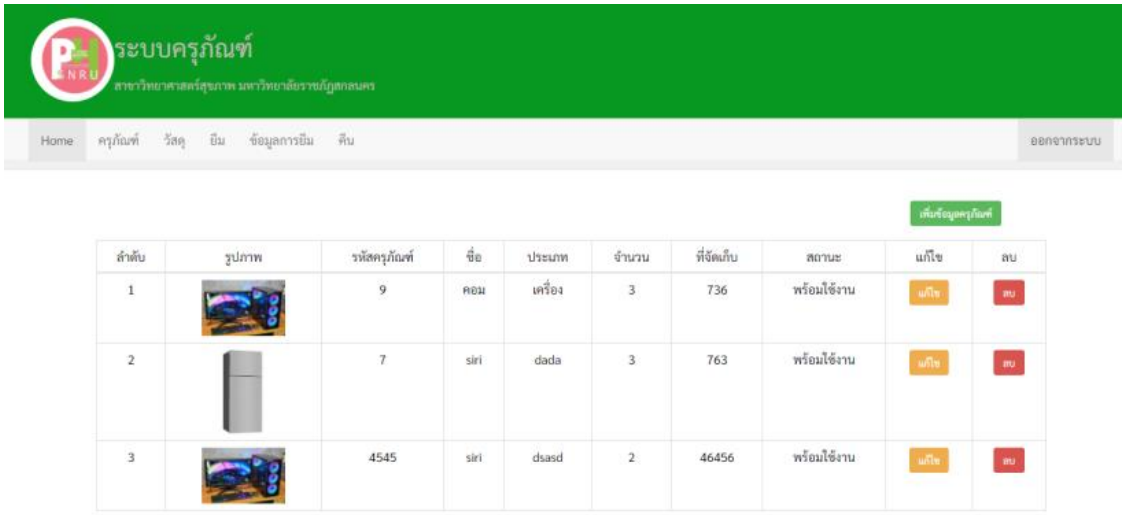
ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สามารถสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. ผลการพัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

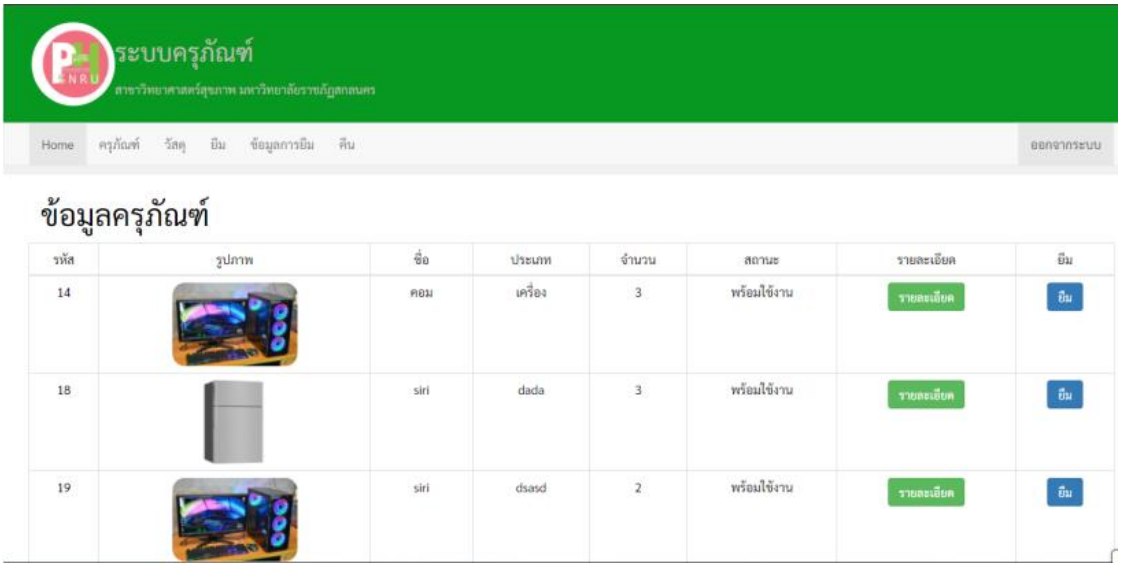
จากการศึกษาและเก็บข้อมูลการยืมคืนวัสดุละครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ด้วยการสัมภาษณ์นั้น ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์และออบแบบระบบงานใหม่ และได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบข้อมูลงานวิจัยจนเสร็จสิ้น จากการพัฒนาดังกล่าวสามารถแสดงระบบบางส่วนได้ดังภาพที่ 3-6 ซึ่งผู้ใช้งานที่มีสิทธิ์ในการเข้าถึงสามารถเข้าใช้งานตามสิทธิ์ของตัวเอง และระบบจะรายงานข้อมูลได้ตามสิทธิ์ของผู้ใช้งาน และสถานะของวัสดุครุภัณฑ์ระบบสามารถบอกได้ว่า ครุภัณฑ์นั้นๆ ถูกจัดเก็บหรือใช้งานอยู่ในสถานที่ใด พร้อมทั้งบอกสถานะการถูกยืม การคืน ให้ผู้ใช้งานทราบสถานะได้



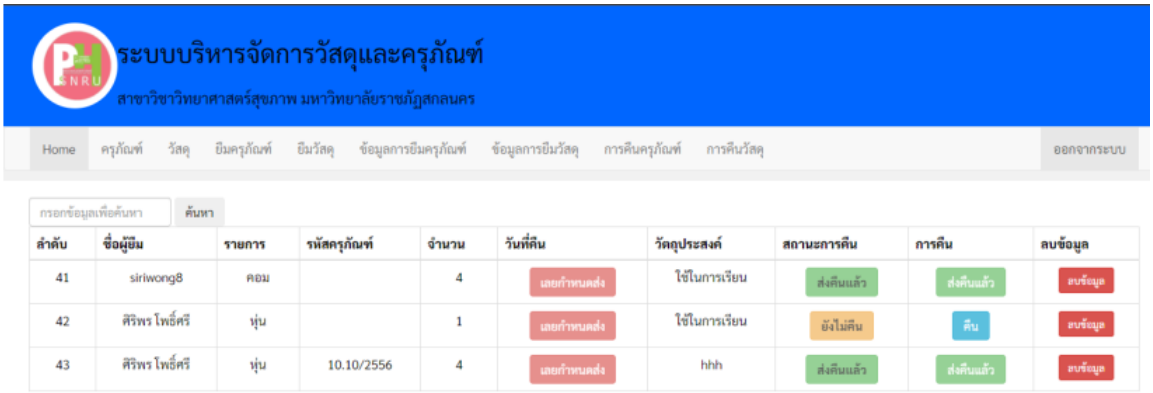
ภาพที่ 3 หน้าต่างเข้าสู่ระบบก่อนใช้งานระบบ



ภาพที่ 4 ข้อมูลครุภัณฑ์ของเจ้าหน้าที่สามารถ เพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูล



ภาพที่ 5 ข้อมูลครุภัณฑ์รายละเอียดและยืม



ภาพที่ 6 รายการคืนและสถานะการคืนครุภัณฑ์

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

เมื่อผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบแล้วเสร็จ ก่อนจะนำระบบไปใช้งานจริง ผู้วิจัยได้ดำเนินการนำระบบไปประเมินหาประสิทธิภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน คืออาจารย์ทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์จำนวน 2 คน บุคลากรฝ่ายสนับสนุนทางด้านการบริหารจัดการวัสดุครุภัณฑ์ จำนวน 1 คน และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ จำนวน 2 คน เพื่อให้ได้ข้อมูลมาทำการปรับปรุงระบบเพิ่มเติม ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมิน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	การแปลผล
ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้	4.20	0.41	มาก
ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงาน	4.15	0.59	มาก
ด้านความง่ายต่อการใช้งาน	3.90	0.31	มาก
ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	5.00	0.00	มากที่สุด
โดยรวม	**4.12**	**0.48**	**มาก**

จากตารางที่ 1 สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ซึ่งมีการประเมินประสิทธิภาพทั้งหมด 4 ด้าน วิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพรายด้านเรียงจากประสิทธิภาพมากไปหาน้อย ดังนี้ 1) ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$= 5.00, S.D.= 0.00) 2) ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.20, S.D.=0.41) 3) ด้านการทำงานได้ตามฟงกชันงานของระบบ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.15, S.D.=0.59) และ 4) ด้านความงายตอการใชงานระบบ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 3.90, S.D.= 0.31) และประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.12, S.D.=0.48) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ พัฒนาตามความต้องการของเจ้าหน้าที่และบุคลากรของสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ จากเดิมที่มีการบริหารจัดการด้วยการติดต่อขอยืมผ่านเอกสารระเบียบการยืมอย่างเดียว อีกทั้งการจัดเก็บเอกสารไม่มีระบบในการจัดการ ซึ่งเมื่อระบบนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากการวิเคราะห์ระบบใหม่ โดยมีทั้งการจัดเก็บข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ การรายงานข้อมูลการยืมคืน และผู้ใช้งานสารถใช้งานได้ตามสิทธิ์การใช้งาน เช่น 1) เจ้าหน้าที่วัสดุของสาขา 2) ผู้ดูแลระบบ 3) ผู้บริหาร 4) บุคลากรของสาขา 5) สมาชิก 6) ผู้ใช้ทั่วไป และระบบนี้เป็นระบบที่ออนไลน์สามารถใช้งานได้จริงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [3] ได้พัฒนาระบบสารสนเทศการทำโครงงานนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร และงานวิจัย [5] ได้พัฒนาระบบยืมคืนอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนย ที่มีการระบุสิทธิ์ในการเข้าถึงระบบงาน และสามารถใช้งานได้จริง

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

จากที่ผู้วิจัยได้ปรับปรุงระบบตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญแล้ว ได้ดำเนินการทดลองใช้ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ที่พัฒนาขึ้น โดยประเมินกับผู้ใช้งานระบบจริง คือ เจ้าหน้าที่ บุคลากร และนักศึกษาในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ จำนวน 30 คน พร้อมทั้งสอบถามความพึงพอใจที่มีตอการใช้งานระบบ ผลการประเมิน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	การแปลผล
ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้	4.37	0.56	มาก
ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงาน	4.41	0.72	มาก
ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ	4.26	0.69	มาก
ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	4.43	0.63	มาก
โดยรวม	**4.34**	**0.69**	**มาก**

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ โดยมีการประเมินความพึงพอใจ ทั้งหมด 4 ด้าน ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบแสดงผลจากความพึงพอใจมากไปหาน้อย ได้ดังนี้ 1) ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.43, S.D.=0.63) 2) ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.41, S.D.=0.72) 3) ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.37, S.D.=0.56) และ 4) ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.26, S.D.=0.69) โดยภาพรวมผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.34, S.D.=0.67) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผู้ใช้มีความพึงพอใจและระบบสามารถใช้งานได้จริงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [1] ได้พัฒนาระบบตรวจสอบและแจ้งซ่อมครุภัณฑ์โดยใช้เทคโนโลนีคิวอาร์โค้ด ความถึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ อยู่ในเกณฑ์ระดับมาก เช่นเดียวกัน และยังพบว่า ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพนี้สามารถรวบรวมข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ และการบริหารจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลครุภัณฑ์มีความถูกต้อง การสืบค้นข้อมูลทำได้สะดวก และช่วยลดเวลาในการปฏิบัติงาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [6] ที่ได้มีการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่องานพัสดุครุภัณฑ์บนเครือข่ายอินทราเน็ตสำหรับบริหารจัดการข้อมูลครุภัณฑ์ที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบกระดาษ ให้เป็นข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งช่วยให้ง่ายต่อการบริหารจัดการข้อมูล และสอดคล้องกับงานวิจัยของ [7] ที่พัฒนาระบบครุภัณฑ์และวัสดุผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับรวบรวมข้อมูลที่กระจัดกระจายเก็บลงฐานข้อมูล ช่วยในการค้นหาข้อมูลสะดวกขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์กรณีศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องมือในการวิจัย ได้แก่ 1) แบบสอบถาม และการสัมภาษณ์ จากนั้นนำปัญหาจากการรับรู้มาวิเคราะห์และพัฒนาเป็นระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์กรณีศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครตามกระบวนการวิเคราะห์และออกแบบฐานข้อมูลด้วยวงจรการพัฒนาระบบ 2) ทำการประเมินผล โดยแบ่งกลุ่มประเมิลผลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มประเมินประสิทธิภาพของระบบ เป็นกลุ่มผู้เชี่ยวชาญทางสาขาคอมพิวเตอร์ จำนวน 2 คน อาจารย์และบุคลากรทางสาขาวิทยาศาสตร์

สุขภาพ จำนวน 2 คน และบุคลากรฝ่ายสนบัสนุนทางด้านวัสดุครุภัณฑ์ จำนวน 1 คน และกลุ่มประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ คือ บุคลากร และนักศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ จำนวน 30 คน

ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับมาก โดยเรียงลำดับรายด้านจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ ด้านความปลอดภัยของข้อมูล อยู่ในระดับมากที่สุด รองลงมา คือด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงาน และด้านความง่ายต่อการใช้งาน ตามลำดับ และความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบอยู่ในระดับมากเช่นเดียวกัน ซึ่งเรียงลำดับรายด้านของความพึงพอใจจากมากไปหาน้อย คือผู้ใช้งานพึงพอใจในด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงาน มากที่สุด รองลงมาด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ด้านความตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน และด้านความง่ายต่อการใช้งาน ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สามารถนำไปใช้งานได้จริง มีความสอดคล้องโดยตรงกับงานของเจ้าหน้าที่พัสดุของสาขาวิชา สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานทางด้านเอกสาร ช่วยจัดการข้อมูลวัสดุครุภัณฑ์ของสาขาวิชาได้อย่างเป็นระบบ และเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการงานวัสดุครุภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นหากนำไปขยายผลในสาขาวิชาอื่นๆ ขยายวงกว้างในระดับคณะ มหาวิทยาลัย และแนวทางในการพัฒนาควรให้ระบบสามารถทำงานได้ในทุกแพลตฟอร์ม (Platform และควรมีระบบแจ้งเตือนในรูปแบบต่างๆ ให้ผู้ใช้งานทำงานได้สะดวกมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ บุคลากร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ได้สละเวลา และให้ความอนุเคราะห์ ข้อมูล ปัญหาความต้องการ ให้คำปรึกษา และคำแนะนำ เพื่อให้สามารถทำวิจัยครั้งนี้เกิดผลสำเร็จได้ และขอบพระคุณ ดร.นำพร อินสิน ที่อนุเคราะห์ตรวจสอบไวยกรณ์ภาษาอังกฤษในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] วรวิทย์ จันรอง และ นิภาพร ชนะมาร. 2562. การพัฒนาระบบตรวจสอบและแจ้งซ่อมครุภัณฑ์โดยใช้เทคโนโลนีคิวอาร์โค้ด. **การประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีครั้งที่ 3**. วันที่ 18-19 มกราคม พ.ศ. 2562 ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา, จังหวัดพระนครศรีอยุธยา.

[2] พินทุสร ปัสนะจะโน และคณะ. 2560. การใช้รหัสคิวอาร์โค้ดบนระบบปฏิบัติการบนมือถือเพื่อการบริหารจัดการครุภัณฑ์. **วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** ปีที่ 9 มกราคม-ธันวาคม 2560. หน้า 88-97.

[3] นเรศ วงศ์คะสุ่ม. 2556. การพัฒนาระบบสารสนเทศการทำโครงงานนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร. ปริญญานิพนธ์ วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

[4] สุกัญชลิกา บุญมาธรรม จิรวัฒน์ แก้วโกศล และเอกพงษ์ ทองแท้. 2559. การพัฒนาระบบสารสนเทศจัดการฐานข้อมูลงานวิจัย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. **วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม.** ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2559. หน้า 39-45.

[5] พงษ์พิชญ์ อุดมศิริรัตน์ และนุชนาฎ สัตยากวี. 2558. **ระบบยืมคืนอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน**. ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

[6] สาวิตรี ทองประเสริฐ. 2549. **การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่องานพัสดุครุภัณฑ์บนเครือข่ายอินทราเน็ต กรณีศึกษาโรงเรียนวัดโพธินิมิต**. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[7] เกื้อกูล ปรีเปรม. 2549**. การพัฒนาระบบครุภัณฑ์และวัสดุผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต กรณีศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสารสนเทศ. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Sci2.3-35

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ งานสารสนเทศและแผนแหล่งงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา โทร. ID ๒๖๒

ที่ อว ๐๖๒๑.๐๙/๙๓๖ วันที่ ๑๙ กรกฎาคม ๒๕๖๔

เรื่อง หนังสือแสดงการแจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ตามที่ หน่วยทรัพย์สินทางปัญญา สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ได้ยื่นคำขอแจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์ ร่วมกับมหาวิทยาลัยมหิดล คำขอแจ้งข้อมูลเลขที่ ๓๙๙๙๐๖ ชื่อผลงาน แผนภาพโทนสีความยั่งยืนชาติ โดยมีผู้ช่วยศาสตราจารย์กรรณิการ์ กมลรัตน์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา พงษ์สุภาพ คณะเทคโนโลยีและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นผู้สร้างสรรค์ นั้น

บัดนี้ หน่วยทรัพย์สินทางปัญญา สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ได้รับสำเนาหนังสือแสดงการแจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์ จากสถาบันบริหารจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยมหิดลแล้ว จึงขอส่งสำเนาหนังสือแสดงการแจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์ ดังเอกสารที่แนบมาด้วย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

สุธาสินี คุปตะบุตร

(นางสาวสุธาสินี คุปตะบุตร)
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

ทะเบียนข้อมูลเลขที่ 3.045785

คำขอแจ้งข้อมูลเลขที่ 394406

หนังสือแสดงการแจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์

ออกให้เพื่อแสดงว่า

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ได้แจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์ไว้ต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญา

เมื่อวันที่ 15 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2564

ประเภทงาน วรรณกรรม ลักษณะงาน งานนิพนธ์

ชื่อผลงาน แผนภาพโทนสีครามธรรมชาติ (Color Scheme of Natural Indigo Dye)

ออกให้ ณ วันที่ 23 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2564

ลงชื่อ.....

(นางธนิฏฐา โชติดิลก)

นักวิชาการพาณิชย์ชำนาญการพิเศษ

ปฏิบัติราชการแทนผู้อำนวยการกองลิขสิทธิ์

หมายเหตุ เอกสารนี้มิได้รับรองความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์

0.8

Sci2.3-36

SNRU Journal of Science and Technology 14(2) May – August (2022) 246426
DOI: https://doi.org/10.55674/snrujst.v14i2.246426

SNRU JST

SNRU Journal of Science and Technology

Journal home page: snrujst.snru.ac.th

The analysis of nutritional value, total phenolic and flavonoid contents, and antioxidant activities from the ethanolic extracts of the roasted broken brown rice powder

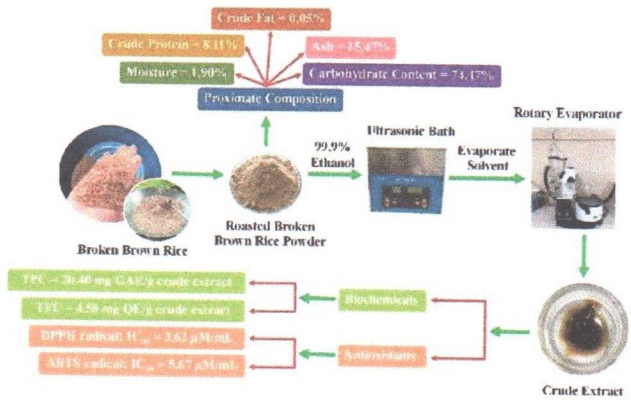
Kulwadee Suwannatrai[1], Krittiyanee Namwongsa[2], Natenapa Phanomkhet[1], Hathaichanok Nuntapanich[3], Wuttichai Roschat[2,*]

[1]Program of Biology, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000 Thailand
[2]Program of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000 Thailand
[3]Program of Environmental Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani, 34000 Thailand
*Corresponding Author: roschat1@gmail.com

Received: 2 November 2021; **Revised:** 26 February 2022; **Accepted:** 1 March 2022; **Available online:** 1 May 2022

Abstract

The objective of this study was to determine the nutritional value, total phenolic and flavonoid contents, and antioxidant activities of the roasted broken brown rice powder. The roasted broken brown rice powder was dried at 60 °C for 3 h in a hot air oven and extracted with absolute ethanol by using ultrasonic technique. Then, the sample was filtered to separate the residue and mixture solution and dried to remove the solvent by rotary evaporator for obtaining the ethanolic crude extract. Finally, the crude extract was collected and determined proximate composition, total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), and antioxidant capacity. The results revealed that the percentage crude extract of the extraction yield was 0.47% by weight with crude carbohydrate (74.47% w w^{-1}), crude protein (8.11% w w^{-1}), and fat (0.05% w w^{-1}), respectively. The TPC and TFC were found at an average of 20.40 ± 0.37 mg GAE g^{-1} crude extract and 4.58 ± 0.19 mg QE g^{-1} crude extract, respectively. Moreover, the sample has highly efficient antioxidants activity similar to a standard Trolox solution. Therefore, it was reasonably concluded that the roasted broken brown rice powder product was rich in beneficial nutrients for the health effects and represented adding value to a by–product of rice production.



Keywords: Roasted broken brown rice powder; Ethanolic extracts; Total phenolic and flavonoid contents; Antioxidant activities; Nutritional value

©2022 Sakon Nakhon Rajabhat University reserved

1. Introduction

Rice is a common staple food for a large segment of half the world population. Many varieties of rice grown in the world have several colors, shapes, and sizes. Belong to the species *Oryza sativa* which has its origin in Asia and occupies the great majority of all global rice production and consumption as white rice or brown rice. White rice is a commonly consumed type because the refined grain is also polished to appear more palatable and increase its shelf life but the process removes much of its nutrition [1, 2].

Brown rice, a whole grain, is also a popular option that contains all parts of the grain.

This rice is comparatively more nutritious, containing more fiber, carb-rich endosperm, proteins, lipids, minerals, vitamins, and several bioactive compounds such as γ-aminobutyric acid (GABA), phenolic, flavonoid, and antioxidants [3, 4]. It consists of favorable content and benefit for many health benefits such as prevention of cancer and chronic diseases like type 2 diabetes, reduction on the risk of heart disease, obesity, and control of blood lipids [5, 6]. "Broken Rice" is a by-product during grain polishing from rice mills, which is the fragments of rice that are not completely broken. Deshelling is the first step in rice processing and yields brown rice then the polishing or whitening process. Some quality losses occur during milling which is the major problem of the rice industry [7]. The market value with the broken grain is much less than that for whole grains and abandoned from the whole grains while absolutely nothing inferior with this rice than the other grains. It contains abundant nutrients and chemical composition but it is not aesthetically pleased to consumers. They perceived the broken rice as lower grade rice and sold it at a lower price than whole grain rice of the same quality. Therefore, it is most often used for making animal fodder, especially for very young animals, and the raw material of flour can be used as an important ingredient for many food products [8 – 11]. It is also suitable for baby food and cereals for health lover because it is naturally gluten-free and easy to use with high in calories [12, 13].

The roasted broken brown rice powder used as raw material in this study was obtained from Ban Khok Sa–At, Um–Chan subdistrict, Kusuman district, Sakon Nakhon province. There was less economic value (low–cost but high potential utilization) as a resource for value–added products. The use of roasted broken brown rice powder from broken rice products could increase the utilization of broken rice grains which reduced losses incurred normally from the locally processed rice grains. This study focus on analyzing the nutritional value, total phenolic, and flavonoid contents, and antioxidant activities from the ethanolic extracts of roasted broken brown rice powder as a resource for value–added products. It is essential for optimizing quality and economic return.

2. Materials and Methods

Materials

The roasted broken brown rice powder as a raw material in this study was obtained from Ban Khok Sa–At, Um–Chan subdistrict, Kusuman district, Sakon Nakhon province as presented in Fig. 1(a – c). Absolute ethanol (99.99%) as an organic solvent for extraction of the broken brown rice sample was perched from QRëC, New Zealand. Folin – Ciocalteu reagent, Trolox, gallic acid, quercetin, 2,2–Diphenyl–1–picrylhydrazyl (DPPH$^{\bullet}$), 2,2–azino–bis (3–ethylbenzothiazoline–6–sulfonic acid)(ABTS) were bought from Sigma, Germany. Other chemicals used in this work were the analytical grade.

Sample preparation and extraction

The roasted broken brown rice powder as a raw material was dried at 60 °C for 3 h in a hot air oven. After drying, the obtained sample of approximately 50 g was extracted with absolute ethanol at a ratio of 1 : 3 (w v^{-1}) by using the ultrasonic technique for 1 h and controlled temperature at 40 °C. Then, the sample was filtered to separate the residue and mixture solution. In the subsequent step, the mixture solution was carefully dried to remove the solvent by rotary evaporator for obtaining the ethanolic crude extract. The final step, the crude extract as shown in Fig. 1(d) was collected in a reagent bottle and then kept at – 20 °C until testing time. All of the methods for the roasted broken brown rice powder sample extraction process were repeated three times to study the

$$\text{Percentage of Yield} = \frac{\text{crude extract of the broken brown rice (g)}}{\text{initial weight of the broken brown rice (g)}} \times 100 \quad (1)$$

(a) (b) (c) (d)

Fig. 1 Showing (a) the broken brown rice, (b) the roasting process of the broken brown rice, (c) The roasted broken brown rice powder as a raw material in this study, and (d) the crude extract from the roasted broken brown rice powder.

percentage yield of crude extract which was calculated by the following Eq. (1):

Determination of total phenolic content (TPC)

The total phenolic content (TPC) of the crude extract sample was determined by using the Folin – Ciocalteu assay method following the published reports from Ti *et al.* [14], Chen *et al.* [15], and Peanparkdee *et al.* [16]. The experiment briefly explains the crude extract of 5 mg was diluted with 10 mL of absolute ethanol. After that, the obtained mixture was pipetted as the considerable quantity of 0.50 mL and it was reacted against freshly 10% Folin Ciocalteu of 2.50 mL. The resulting mixture was incubated at room temperature for 5 min and then neutralized with 7.50% (w v^{-1}) Na_2CO_3 of 2 mL. The final reaction mixture was centrifuged at 3,000 rpm for 10 min, incubated at room temperature for 10 min, and analyzed by using a UV – visible spectrophotometer (UV – 1800, Shimadzu, Japan) with a wavelength of 740 nm. The results concentration of a specific TPC compound in the crude extract of the sample was reported as milligram (mg) of Gallic acid equivalent which was used as a standard per gram (g) of the sample extract.

Determination of total flavonoid content (TFC)

The crude extract of the roasted broken brown rice powder was evaluated for the total flavonoid content (TFC) according to the experimental method reported by Zhang *et al.* [4], Chu *et al.* [17], and Chua *et al.* [18]. In the first step, 5 mg of the crude extract was diluted with absolute ethanol of 10 mL. Then, the 0.50 mL mixing solution was pipetted and the absolute ethanol of 1.50 mL was added. Then, the mixing solution was pipetted as an amount of 0.50 mL, added the absolute ethanol of 1.50 mL and 0.10 mL of 10% $AlCl_3$, respectively. After that, the resulting mixture was added 0.10 mL of 1 M CH_3COOK, and gradually filled with distilled water of 2.80 mL. Finally, the reaction mixture was gently shaken to carefully mix and incubated at room temperature for 30 min. The mixed solution was carefully measured absorbance at the specific wavelength of 437 nm. In this work, quercetin was applied as a standard and the TFC of the crude extract was evaluated in terms of milligram (mg) quercetin equivalent (QE) per gram (g) of the crude sample extract.

Determination of antioxidant activity with the scavenging effects on DPPH• radical

The DPPH• assay was a follow–up to the capacity of the extracted samples which could give electrons to DPPH• radicals and this was a color change process of DPPH• radicals from purple to yellow. Generally, the absorbance at 517 nm was properly applied to determine the reduction value of the DPPH• radical and the

Trolox compound was mostly used as the standard solution for performance reference Khunchalee *et al.* [19], Hobanthad *et al.* [20], Jandaruang *et al.* [21]. In this study, a weighing 5 mg of crude extract was diluted in absolute ethanol and carefully adjusted the volume to 10 mL to prepare the stock sample solution. An examination of the antioxidant content was carried out by mixing the 300 µL of the obtained sample solution with the 2,700 µL of 0.06 mM $DPPH^{\bullet}$ solution. Next, the reaction mixture was thoroughly mixed, kept in the dark, and incubated for 30 min at room temperature. Finally, the resulting reaction mixture was taken to measure the absorbance by using a UV-visible spectrophotometer at a specific wavelength of 517 nm. The obtained report data would present the relationship between the concentrations of the sample and IC_{50} value which was compared versus the standard Trolox solution in terms of the percentage of antioxidants capacity (%inhibition) using the following equation:

$$\%\,\text{inhibition} = \frac{\text{Abs of the blank (ethanol} + DPPH^{\bullet}) - \text{Abs of the sample (extract} + DPPH^{\bullet})}{\text{Abs of the blank (ethanol} + DPPH^{\bullet})} \times 100 \quad (2)$$

All of this method was repeated in the experiment of 3 replicates and the experimental results show the data reliability consists of the mean value and standard deviation.

Determination of antioxidant activity with the scavenging effects on ABTS radical

An investigation of the antioxidant activity of the crude extract of the roasted broken brown rice powder by using the ABTS radical scavenging activity was carried out following the reports of Wongklom *et al.* [22], Xu *et al.* [23], and Seong *et al.* [24]. The crude extract solution was carefully prepared by weighing 5 mg and adjusted with the absolute ethanol to the volume of 10 mL. While ABTS reagent was prepared by the 7 mM of ABTS solution and mixed with 2.45 mM of $K_2S_2O_8$ solution at a ratio of 1 : 1 and incubated at – 20 °C for 12 h. The absolute ethanol was used to dilute the obtained ABTS solution so that the absorbance value was within the range of 0.70 – 0.90 at a specific wavelength of 734 nm. After that, the reaction mixture was prepared by adding 150 µL of crude sample solution and mixed with 2,850 µL of the obtained ABTS solution. Then, the generated mixture was incubated in the dark condition at room temperature for 2 h. The ABTS radical scavenging potential of the sample extracts was analyzed by using a UV-visible spectrophotometer at a specific wavelength of 734 nm. The Trolox compound was used as a standard solution for comparing the efficiency of antioxidant activity. The percentage of the ABTS radical scavenging potential was calculated as following:

$$\%\ \text{ABTS radical scavenging potential} = \frac{\text{Abs of the blank} - \text{Abs of the sample}}{\text{Abs of the blank}} \times 100 \quad (3)$$

The Abs of the blank was the absorbance of the ethanol mixing with ABTS solution and the Abs of the sample was the absorbance of the crude extract solution mixing with ABTS solution. The obtained result of this experiment for the ABTS scavenging activity was presented as an IC_{50} value.

The proximate analysis of the roasted broken brown rice powder

The proximate compositions of the roasted broken brown rice powder which consist of moisture, ash, crude protein, and crude fat were evaluated by using a standard method from the official methods of the Association of Official Analytical Chemists International (AOAC; 2004)

and following the reports of Zubair *et al.* [25], Oko *et al.* [26], Vunain *et al.* [27], and Verma and Srivastav [28]. Additionally, the total percentage of the carbohydrate content in the sample was calculated by subtracting the percentage value of the moisture, ash, protein, and fat from the total of 100% following the reports from Akalu and Geleta [29], and Eze [30].

3. Results and Discussion

The percentage yield extraction of the roasted broken brown rice powder

According to the sample preparation and extraction by using ultrasonic technique and applied the absolute ethanol as an organic solvent, the experimental results found that the physical characteristics of the obtained crude extract were dark brown and very sticky as presented in Fig. 1(d). In addition, the calculation of the extraction yield showed the percentage crude extract of 0.47% by weight compared with the weight of the roasted broken brown rice powder sample. Since this research focuses on the study of crude extracts which naturally contained phenolic and flavonoid compounds, absolute ethanol was used as an organic solvent for the extraction of these important compounds because of a polar group of them. For these reasons, the amount of the obtained crude extract was quite a few. This result accorded to the research of Khunchalee *et al.* [19] which has described involving the solvent as the important factor to obtain the extraction yield from the sample.

Quantification of total phenolic content (TPC) and total flavonoid content (TFC) from the crude extract

As shown in Fig. 2, the TPC and TFC from the crude extract of the roasted broken brown rice powder were found at an average of 20.40 ± 0.37 mg GAE g^{-1} crude extract and 4.58 ± 0.19 mg QE g^{-1} crude extract, respectively. This study was performed in triplicate and the resulting data has a little discrepancy. These data were compared with the published report of Hansakul *et al.* [31] who researched the TPC and TFC of Thai rice extract and they presented that the TPC of Dawk Mali 105 and Sangyod were approximate of 18 – 189 mg GAE g^{-1} rice extract. While TFC both of Dawk Mali 105 and Sangyod was about of 19 – 46 mg rutin hydrate eq g^{-1} rice extract. In addition, a report from Teeranachaideekul *et al.* [32] showed TPC and TFC compounds of the rice Sangyod, Munpoo, Rice berry, Homnin, and Luempua in the range of 128 – 322 mg GAE g^{-1} extract and 86 – 341 mg CE g^{-1} extract, respectively. All of this published report used rice grain samples that have not gone through any process. On the other hand, the roasted broken brown rice powder as a raw material for this work was roasted to be processed into innovative products from rice waste. In this case, it was highly probable that some of the TPC and TFC in the roasted broken brown rice powder was decomposed from heat which directly affected the quantity of the TPC and TFC which is less than those reports reference.

The antioxidant capacity of crude extract

The scavenging activity data of DPPH$^{\bullet}$ radical in terms of the specific percentage of antioxidants capacity (%inhibition) both of a standard Trolox solution and crude extract solution obtained from the roasted broken brown rice powder was displayed in Fig. 3. The experimental data found that the standard Trolox solution had the IC_{50} value of 3.45 µM while the crude extract solution demonstrated the IC_{50} value of 3.62 µM. Besides, the obtained result of the ABTS radical scavenging activity assay was also explained in Fig. 4. The presented data indicated that both a standard Trolox solution and crude extract solution

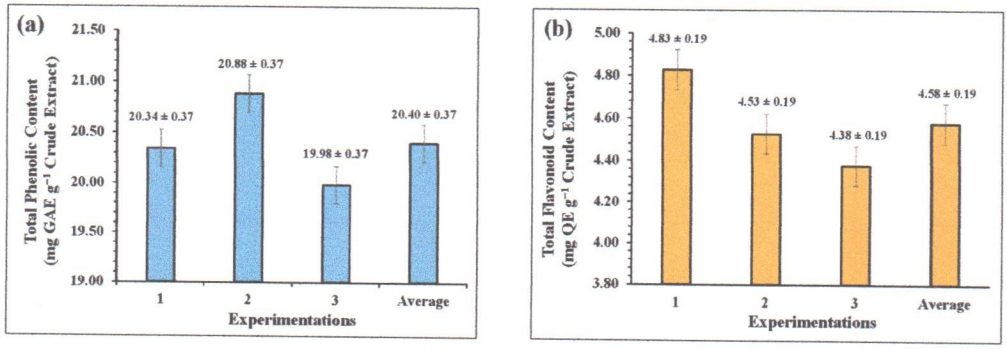


Fig. 2 (a) total phenolic content (TPC) and (b) total phenolic content (TFC) from the crude extract of the roasted broken brown rice powder.

sample have very similar antioxidant values. The IC_{50} value of a standard Trolox solution and crude extract solution sample was 5.57 µM and 5.67 µM, respectively. All of the above data showed that the linearity (R^2) was greater than 0.9950. Hence, the correlation between the concentration of the substance and the percentage of inhibition from this experiment was highly reliable.

Both experimental results showed that the trend of antioxidant activity between a standard Trolox solution and crude extract solution sample was similar. The obtained results were consistent with the published reports of Jandaruang *et al.* [21], Hansakul *et al.* [31], Maisuthisakul *et al.* [33], and Sanwiriya mongkol *et al.* [34] who studied the antioxidant activity of various types of rice extracts from Thailand. They have described and discussed involving the antioxidant capacity of the extract from Thai rice that has high antioxidant potential due to the Thai rice sample consisting of a rich in antioxidants such as phenolic, flavonoid, GABA, anthocyanin, β–carotene, carotenoid, and other compounds. Moreover, several published articles reported the mineral content (e.g. Ca, Zn, Fe, Cu, Mn, and Mg), proximate compositions (e.g. protein, fat, and carbohydrate), and vitamins of rice which may help to inhibit free radicals as well [25, 27, 28, 35, 36]. Therefore, the roasted broken brown rice powder product not only contained TPC and TFC but may also have other important chemical compounds which were highly effective in antioxidants. These possible reasons supported the obtained experimental data on the antioxidant activity of both DPPH• and ABTS radical scavenging assay.

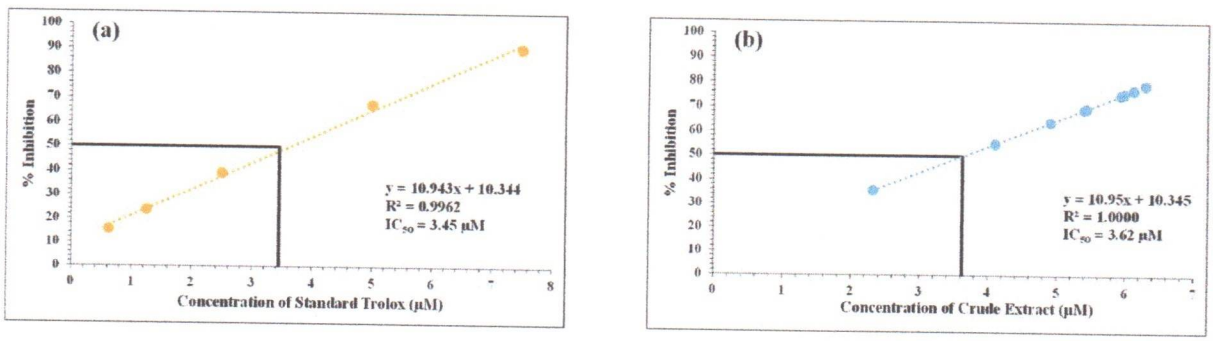


Fig. 3 (a) the results scavenging effects on DPPH• radical of standard Trolox solution in terms of the percentage of antioxidants capacity (%inhibition) and (b) the affected of the various concentration of crude extract solution on the percentage of antioxidants DPPH• radical capacity (%inhibition).

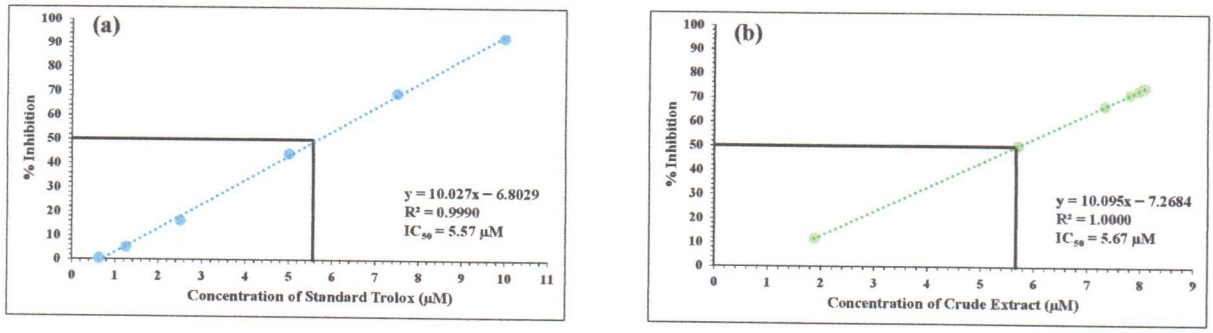


Fig. 4 The results scavenging effects on ABTS radical in terms of the percentage of antioxidants capacity (%inhibition) of (a) standard Trolox solution and (b) crude extract solution at various concentrations.

The proximate composition of the roasted broken brown rice powder

The percentage proximate composition of the roasted broken brown rice powder product sample was illustrated in Fig. 5. The obtained experimental results indicated that the major compositions of the sample were crude carbohydrates which has higher than 74% (w w^{-1}). While crude protein and fat were approximately 8.11% and 0.05% (w w^{-1}), respectively. The results of this experiment were similar to the research report of Zubair *et al.* [25], Verma *et al.* [28], Wongpriaw [35], and Chooklin *et al.* [37] who have researched and reported the nutritional values of the selected rice varieties sample. However, the moisture value of the roasted broken brown rice powder sample had lower than 2% (w w^{-1}) when compared with the previous reports displayed the percentage of moisture about 8 – 12% (w w^{-1}). This may be the rice samples used in this work undergoing a roasting process to remove moisture.

Moreover, this research work has also analyzed the percentage of ash value which was determined together with the fiber values. The data found that ash value was up to about of 15% (w w^{-1}). The high value of ash content in the sample may due to the mineral composition in the rice sample which was dependent on the soils and the water used for cultivation [25, 28, 35, 37]. There is also another possible reason to explain the high ash content of rice samples. Because the rice sample was heat–roasted, the moisture content was low. Furthermore, the analyzed carbohydrate and protein content were also relatively high value even after the rice sample went through the heating process. From this supporting information, residual ash content can be inferred as a crude fiber of the roasted broken brown rice powder product that will have a positive effect on the excretory system of consumers. Hence, all of the obtained experimental results indicated that the roasted broken brown rice powder product not only has nutritional benefits but also contains powerful antioxidants.

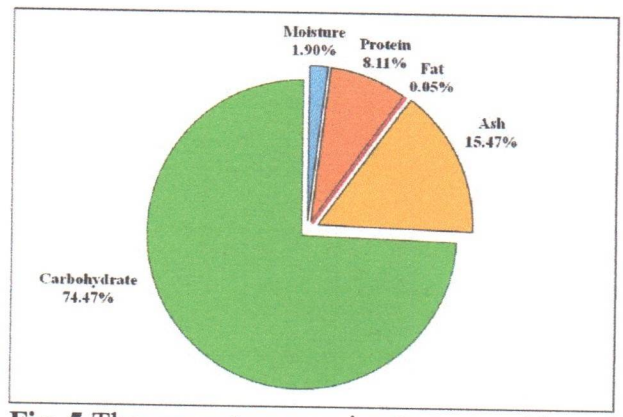


Fig. 5 The percentage proximate composition of the roasted broken brown rice powder.

4. Conclusion

The overall experimental results suggested that the roasted broken brown rice powder product containing the TPC and TFC compounds has highly efficient antioxidants activity similar to a standard Trolox solution. Furthermore, the obtained results of proximate composition analysis by following standard of the official methods of the Association of

Official Analytical Chemists International (AOAC; 2004) found that the nutritional value of the roasted broken brown rice powder sample was comparable to the selected rice varieties sample from several published reports. Therefore, it was reasonably concluded that the roasted broken brown rice powder product was rich in beneficial nutrients for the health effects. Thus, the roasted broken brown rice powder sample represented an innovative product from processing and adding value to a by–product of rice production in the rural area of Sakon Nakhon province.

5. Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the Program of Biology and the Program of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, for supporting the research funding, apparatus, and equipment required for this project.

6. References

[1] B. Yadav, V. Jindal, Changes in head rice yield and whiteness during milling of rough rice (*Oryza sativa* L.), J. Food Eng. 86 (2008) 113 – 121.

[2] A. Aadil, M. Shahzad, A Faiza, K. Ayesha, R. Shakeela, N. Sumera, Effect of processing on nutritional value of rice (*Oryza sativa*), World J. Medical Sci. 6(2) (2011) 68 – 73.

[3] Y. Bao-Min, C. Peng, S. Guo Xin, Distribution of elements and their correlation in Bran, polished rice and whole grain, Food Sci. Nutr. 8 (2020) 982 – 992.

[4] R. Zhang, S.A. Khan, J. Chi, Z. Wei, Y. Zhang, Y. Deng, L. Liu, M. Zhang, Different effects of extrusion on the phenolic profiles and antioxidant activity in milled fractions of brown rice, LWT – Food Sci. Technol. 88 (2018) 64 – 70.

[5] I. Muraki, H.Wu, F. Imamura, F. Laden, E.B. Rimm, F.B. Hu, W.C. Willett, Q. Sun, Rice consumption and risk of cardiovascular disease: results from a pooled analysis of 3 U.S. cohorts, Am. J. Clin. Nutr. 101(1) (2015) 164 – 172.

[6] V.S. Malik, V. Sudha, N.M. Wedick, M. RamyaBai. P. Vijayalakshmi, N. Lakshmipriya, R. Gayathri, A. Kokila, C. Jones, B. Hong, R. Li, K. Krishnaswamy, R.M. Anjana, D. Spiegelman, W.C. Willett, F.B. Hu, V. Mohan, Substituting brown rice for white rice on diabetes risk factors in India: a randomised controlled trial, Br. J. Nutr. 121(12) (2019) 1389 – 1397.

[7] M.H. Payman, I. Bagheri, M.R. Alizadeh, R. Roohi, Effective parameters of broken rice during paddy hulling using rubber roll huller, J. Biol. Sci. 7 (2006) 45 – 71.

[8] S. Kotupan, K. Sommart, Broken rice in a fermented total mixed ration improves carcass and marbling quality in fattened beef cattle, Anim Biosci. 34(8) (2021) 1331 – 134.

[9] Y.D. Setyawati, S.F. Ahsan, L.K. Ong, F.E. Soetaredjo, S. Ismadji, Y.H. Ju, Production of glutinous rice flour from broken rice via ultrasonic assisted extraction of amylose, Food Chem. 15(203) (2016) 158 – 164.

[10] L.V. Nunes, F.F. de Barros Correa, P. de Oliva Neto, C.R. Mayer, B. Escaramboni, T.S. Campioni, N.R. de Barros, R.D. Herculano, E.G. Fernández Núñez, Lactic acid production from submerged fermentation of broken rice using undefined mixed culture, World J Microbiol Biotechnol. 33(4) (2017) 79.

[11] M. Chitpan, V. Chavasit, R. Kongkachuichai, Development of fortified dried broken rice as a complementary food, Food Nutr Bull. 26(4) (2005) 376 – 384.

[12] S. Sriwattana, N. Laokuldilok, W. Prinyawiwatkul, Sensory Optimization of Broken-Rice Based Snacks Fortified with Protein and Fiber, J. Food Sci. 73(6) (2008) 333 – 338.

[13] L.C. Okpala, P.N. Egwu, Utilisation of broken rice and cocoyam flour blends in the production of biscuits, Niger. Food J. 33(1) (2015) 8 – 11.

[14] H. Ti, R. Zhang, M. Zhang, Z. Wei, J. Chi, Y. Deng, Y. Zhang, Effect of extrusion on

phytochemical profiles in milled fractions of black rice, Food Chem. 178 (2015) 186 – 194.

[15] Y. Chen, Y. Ma, L. Dong, X. Jia, L. Liu, F. Huang, J. Chi, J. Xiao, M. Zhang, R. Zhang, Extrusion and fungal fermentation change the profile and antioxidant activity of free and bound phenolics in rice bran together with the phenolic bioaccessibility, LWT – Food Sci. Technol. 115 (2019) 108561.

[16] M. Peanparkdee, C. Borompichaichartkul, S. Iwamoto, Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic acids, flavonoids, and anthocyanins of encapsulated Thai rice bran extracts during in vitro gastrointestinal digestion, Food Chem. 361 (2021) 130161.

[17] M.J. Chu, X.M. Liu, N. Yan, F.Z. Wang, Y.M. Du, Z.F. Zhang, Partial purification, identification, and quantitation of antioxidants from wild rice (*Zizania latifolia*), Molecules. 23(2782) (2018) 1 – 16.

[18] C. Chua, Y. Dua, X. Yua, J. Shic, X. Yuana, X. Liua, Y. Liua, H. Zhanga, Z. Zhanga, N. Yan, Dynamics of antioxidant activities, metabolites, phenolic acids, flavonoids and phenolic biosynthetic genes in germinating Chinese wild rice (*Zizania latifolia*), Food Chem. 318 (2020) 126483.

[19] J. Khunchalee, P. Charoenboon, Study of free radical scavenging, total phenolic contents and tyrosinase inhibition activity of crude extract from *Carissa carandas* Linn, SNRU. J. Sci. Tech. 11(1) (2019) 26 – 34.

[20] T. Hobanthad, S. Maneetong, Simple extraction for the scanning of antioxidant activity of vegetables and fruits in Buriram, Thailand by DPPH, ABTS and FRAP assays, SNRU. J. Sci. Tech. 11(3) (2019) 114 – 121.

[21] J. Jandaruang, S. Preecharram, Determination of biochemical compositions and antioxidant activities of Hom Mali 105 rice, SNRU. J. Sci. Tech. 12(1) (2020) 146 – 154.

[22] A. Wongklom, P. Moonsin, K. Chantharasopon, Antioxidant activities and exhibit to stimulate immune cell production in the *in vitro* of *Hibiscus sabdariffa* Linn. and *Phyllanthus emblica* L. extracts, SNRU. J. Sci. Tech. 11(1) (2019) 18 – 25.

[23] Y. Xu, Y. Jin, J. Su, N. Yang, X. Xu, Z. Jin, B. Cui, F. Wu, Changes in the nutritional value, flavor, and antioxidant activity of brown glutinous rice during fermentation, Food Biosci. 43 (2021) 101273.

[24] H.Y. Seong, M. Kim, Enhanced protein quality and antioxidant activity of fermented Brown rice with *Gryllus bimaculatus*, LWT–Food Sci. Technol. 150 (2021) 111948.

[25] M.A. Zubair, M.S. Rahman1, M.S. Islam1, M.Z. Abedin1, M.A. Sikder, A comparative study of the proximate composition of selected rice varieties in Tangail, Bangladesh, J. Environ. Sci. Nat. Resour. 8(2) (2015) 97 – 102.

[26] A.O. Oko, B.E. Ubi, A.A. Efisue, N. Dambaba, Comparative analysis of the chemical nutrient composition of selected local and newly introduced rice varieties grown in Ebonyi State of Nigeria, Int. J. Agric. For. 2(2) (2012) 16 – 23

[27] E. Vunain, F. Chirambo, S. Sajidu, T.T. Mguntha, Proximate composition, mineral composition and phytic acid in three common Malawian white rice grains, MJST. 12(1) (2020) 87 – 108.

[28] D.K. Verma, P.P. Srivastav, Proximate composition, mineral content, and fatty acids analyses of aromatic and non–aromatic Indian rice, Rice Sci. 24(1) (2017) 21 – 31.

[29] Z.K. Akalu, S.H. Geleta, Comparative analysis on the proximate composition of tubers of *Colocasia Esculenta,* L. Schott and *Dioscorea alata* cultivated in Ethiopia, Am. J. Biosci. Bioieng. 7(6) (2019) 93 – 101.

[30] P.C. Eze, Determination of the proximate composition and amylose content of new rice for Africa (NERICA) flour, Turk. J. Agr. Eng. Res. 1 (2020) 131 – 140.

[31] P. Hansakul, U. Srisawan, A. Itharat, N. Lerdvathisopon, Phenolic and flavonoid

contents of Thai rice extracts and their correlation with antioxidant activities using chemical and cell assays, J. Med. Assoc. Thai. 94(7) (2011) 122 – 130.

[32] V. Teeranachaideekul, A. Wongrakpanich, J. Leanpolchareanchai, K. Thirapanmethee, C. Sirichaovanichkarn, Characterization, biological activities, and safety evaluation of different varieties of Thai pigmented rice extracts for cosmetic applications, Pharm. Sci Asia. 45(3) (2018) 140 – 153.

[33] P. Maisuthisakul, L. Changchub, Effect of extraction on phenolic antioxidant of difference Thai rice (*Oryza Sativa* L.) genotypes, Int. J. Food Prop. 17 (2014) 855 – 865.

[34] P. Sanwiriyamongkol, P. Srisuk, Determination of phenolic compounds, proteins and antioxidant activity in rice water fraction extracted from Phayaleumkang grutinous rice, IJPS. 17(1) (2021) 68 – 79.

[35] N. Wongpriaw, Determination of protein, mineral, and vitamin in local rice varieties from Loei province, RMUTP Res. J. 12(2) (2018) 158 – 171.

[36] A. Dubock, Golden rice: to combat vitamin a deficiency for public health, Intechopen. (2019) 1 – 21.

[37] S. Chooklin, T. Muadsri, P. Purintrapibal, Nutritional values of Trang indigenous brown rice, RMUTSV Res. J. 12(2) (2020) 285 – 296.

0.8

Sci2.3-37

วารสารสุขภาพกับการจัดการสุขภาพ ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม–มิถุนายน 2565
Journal of Health and Health Management Vol. 8 No. 1 JANUARY–JUNE 2022

ความชุกของอาการปวดกล้ามเนื้อและการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

Prevalence of Muscle Pain and Muscle Pain Management among Personnel of Rajabhat Sakon Nakhon University

นำพร อินสิน, ส.ด., Numporn Insin, Dr.P.H.[1]
กัญญาณัฐ สอนสูญ, วท.บ., Kanyanut Sonsoon, B.Sc.[2]
จรินทร์ทิพย์ ชมชายผล, ส.ด., Jarinthip Chomchaipol, Dr.P.H.[3]
ศศิวรรณ ทัศนเอี่ยม, ส.ด., Sasiwan Tassana-iem, Dr.P.H.[4]*
[1]*อาจารย์, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร*
[1]*Lecturer, Health Science Program, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon Province*
[2]*นักศึกษา, หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร*
[2]*Student in Public Health Program, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon Province*
[3]*อาจารย์, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร*
[3]*Lecturer, Health Science Program, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon Province*
[4]*อาจารย์, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร*
[4]*Lecturer, Health Science Program, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon Province*

**Corresponding Author Email: sasiwan@snru.ac.th*

Received:	Revised:	Accepted:

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงสำรวจนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาความชุกของอาการปวดกล้ามเนื้อของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร 2) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการปวดระหว่างบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุน และ 3) เพื่อสำรวจวิธีการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อของบุคลากร กลุ่มตัวอย่าง คือ บุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร 240 คน แบ่งเป็นสายวิชาการ 146 คน และสายสนับสนุน 94 คน สุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มแบบแบ่งชั้นภูมิ เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามออนไลน์เกี่ยวกับการรับรู้อาการปวดกล้ามเนื้อที่ตำแหน่งคอ ไหล่ หลัง เอว แขน ข้อมือ และรอบดวงตา รวม 7 ตำแหน่ง และวิธีการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนาและ Mann-Whitney U test ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 90.0 มีอาการปวดกล้ามเนื้ออย่างน้อยหนึ่งตำแหน่งในช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา (95%CI = 86.2 - 93.8)

และร้อยละ 29.2 มีอาการปวดกล้ามเนื้อทุกตำแหน่ง ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการปวด พบว่า บุคลากรสายสนับสนุนมีจำนวนตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการปวดมากกว่าบุคลากรสายวิชาการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.004) สำหรับวิธีการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อพบว่า วิธีการที่กลุ่มตัวอย่างเลือกใช้เป็นประจำ ได้แก่ การเปลี่ยนท่าทางหรืออิริยาบถ การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ และการปรับท่าทางหรือท่านั่งทำงาน

คำสำคัญ: *อาการปวดกล้ามเนื้อ บุคลากร การจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อ*

Abstract

This survey research aimed 1) to study the prevalence of muscle pain among personnel of Sakon Nakhon Rajabhat University, 2) to compare the difference of the number of the muscle areas with pain between academic and support personnel, and 3) to explore how personnel manages muscle pain. The samples included 240 personnel, with 146 academic and 94 support staff selected by stratified random sampling. Data were collected by an online questionnaire comprised questions about perceived muscle pain in seven different areas including neck, shoulder, back, waist, arm, wrist, and eyes and the individual's muscle pain management. The data were analyzed by descriptive statistics and Mann-Whitney U test. The results revealed that 90.0% of the samples perceived at least one specific area of muscle pain during the past three months (95%CI = 86.2 - 93.8). Meanwhile, 29.2% of them reported muscle pain in all specific areas. The support personnel had a significantly greater number of muscle pain areas than the academic personnel (p=0.004). In terms of muscle pain management, the samples frequently made changes to body posture, stretched muscles, and adjusted their sitting position.

Keywords: *Muscle pain, Personnel, Muscle pain management*

บทนำ

อาการปวดกล้ามเนื้อ (Muscle pain) เป็นปัญหาสุขภาพที่พบได้บ่อยในกลุ่มคนวัยทำงานในกลุ่มคนที่ทำงานออฟฟิศจะมีลักษณะงานแบบนั่งโต๊ะทำงานเป็นประจำ หรือการใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานาน ต้องใช้กล้ามเนื้อมัดเดิมซ้ำ ๆ จนเกิดเป็นอาการอักเสบและปวดเรื้อรังได้ บางครั้งอาจเรียกว่า "กลุ่มอาการออฟฟิศซินโดรม (Office syndrome)" (Chantaracherd, 2015; ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษา, 2564) ตำแหน่งกล้ามเนื้อที่พบได้บ่อย คือ คอ ไหล่ หลังส่วนล่าง แขน ข้อมือและนิ้ว อาจมีอาการตึงรอบดวงตาและเกิดข้อหรือปลายประสาทอักเสบเรื้อรังได้ (นราการ พลหาญ, สมสมร เรืองวรบูรณ์, โกมล บุญแก้ว, และอนุพงษ์ ศรีวิรัตน์, 2557; สุนันทา จำชาติ, ภาพร สาอ่อน, ปณิตา ศรีราวี, สุภัสรา วิชาพูล, และสิริทรพย์ สีหะวงษ์, 2564; Ekpanyaskul & Padungtod, 2021) ถึงแม้อาการปวดนี้จะไม่รุนแรงถึงแก่ชีวิต แต่ก็ส่งผลต่อร่างกายและจิตใจ และทำให้ความสามารถในการทำงาน

ของคนวัยทำงานลดลง (Kawai, Kawai, Wollan, & Yawn, 2017)

การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มีปัจจัยเสี่ยงต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับอาการปวดกล้ามเนื้อในคนทำงานออฟฟิศ เช่น เพศ อายุ ความเครียด การใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ตลอดจนท่าทางการนั่งทำงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสม (Feng, Chen, Zhu, Ip, Andersen, Page, & Wang, 2021; Chinedu, Henry, Nene & Okwudili, 2020; Chantaracherd, 2015) แต่ในสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อโควิด-19 นี้ ทำให้รูปแบบการทำงานของคนทำงานออฟฟิศเปลี่ยนแปลงไปมาก ทั้งจากนโยบายการให้ทำงานที่บ้าน (Work from home) และการทำงานออนไลน์เพื่อเว้นระยะห่างทางสังคม (Social distancing) จึงทำให้ระยะเวลาและลักษณะการทำงานตลอดจนสภาพแวดล้อมการทำงานเปลี่ยนแปลงไปและส่งผลทำให้สุขภาพแย่ลงได้ (Ekpanyaskul & Padungtod, 2021) ทั้งนี้ งานวิจัยพบว่า การทำงานที่บ้านในช่วงสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อโควิด-19 ส่งผลให้คนทำงานออฟฟิศมีอาการปวดกล้ามเนื้อคอและหลังแย่ลง (Minoura, Ishimaru, Kokaze, & Tabuchi, 2021) การศึกษาอาการปวดกล้ามเนื้อของคนทำงานออฟฟิศในสถานการณ์นี้จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ

บุคลากรในมหาวิทยาลัยก็มีลักษณะการทำงานที่เป็นปัจจัยเสี่ยงต่ออาการปวดกล้ามเนื้อได้เช่นกัน การศึกษาในมหาวิทยาลัยอื่น ๆ ที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าร้อยละ 65.2 ของบุคลากรสายวิชาการ (Meaza, Temesgen, Redae, Hailemariam, & Alamer, 2020) และร้อยละ 71.9 ของบุคลากรทั่วไปมีอาการปวดกล้ามเนื้อ (Chinedu, Henry, Nene & Okwudili, 2020) บางการศึกษายังพบว่า บุคลากรสายวิชาการมีแนวโน้มที่จะพบอาการปวดกล้ามเนื้อมากกว่าบุคลากรทั่วไป คือร้อยละ 71.0 และ 63.0 ตามลำดับ (Ojoawo, Akinola & Awotidebe, 2017) หากพิจารณาบริบทการทำงานของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครแล้วจะพบว่า บุคลากรสายวิชาการมีภาระงานหลักด้านการสอน การวิจัยและการบริการวิชาการ ส่วนบุคลากรสายสนับสนุนมีภาระงานหลักด้านงานพัสดุ งานสารบรรณ และงานสนับสนุนวิชาการอื่น ๆ บุคลากรทั้งสองกลุ่มหลักนี้จัดว่ามีความเสี่ยงต่ออาการปวดกล้ามเนื้อสูง ในช่วงสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อโควิด-19 บุคลากรต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำงานที่มีการใช้งานคอมพิวเตอร์มากขึ้นทั้งในการสอน การฝึกอบรมหรือการประชุมต่าง ๆ ซึ่งมากน้อยแตกต่างกันไปตามภาระงานของตน สิ่งเหล่านี้อาจเพิ่มโอกาสเสี่ยงต่ออาการปวดกล้ามเนื้อได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมายังไม่พบการศึกษาความชุกและเปรียบเทียบความแตกต่างของการเกิดอาการปวดกล้ามเนื้อของบุคลากรในมหาวิทยาลัยหรือสถาบันการศึกษาที่มีลักษณะสายงานแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงศึกษาความชุกของอาการปวดกล้ามเนื้อและเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการปวดระหว่างบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุน เพื่อให้เป็นข้อมูลบ่งบอกสถานการณ์ปัญหาอาการปวดกล้ามเนื้อของบุคลากรแต่ละสายงานในมหาวิทยาลัยต่อไป

เนื่องจากอาการปวดกล้ามเนื้อนี้มักเป็นเรื้อรังและไม่หายขาด ทำให้แนวทางการรักษาหรือบรรเทาอาการปวดมีหลากหลายไม่ว่าจะเป็นการรักษาหรือบรรเทาอาการแบบเฉียบพลัน หรือวิธีการที่ได้ผลป้องกันอาการปวดในระยะยาว (Schmidt, Holtermann, Jørgensen, Svendsen, & Rasmussen, 2021; Van Eerd, Munhall, Irvin, Rempel, Brewer, Van Der Beek, ... & Amick, 2016) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า บุคลากรส่วนใหญ่มักจะใช้วิธีการพักใช้กล้ามเนื้อ (นราการ พลหาญ, สมสมร เรืองวรบูรณ์, โกมล บุญแก้ว และอนุพงษ์ ศรีวิรัตน์, 2557) แต่ยังไม่มีการศึกษา

ข้อมูลในบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครว่ามีวิธีการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้ออย่างไร ดังนั้น งานวิจัยครั้งนี้ จึงสำรวจวิธีการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อในบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับส่งเสริมให้บุคลากรสามารถป้องกันและบรรเทาอาการปวดกล้ามเนื้อได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย อีกทั้งยังเป็นข้อมูลเพื่อใช้พัฒนาสิ่งแวดล้อมในการทำงาน ส่งเสริมพฤติกรรมการทำงาน ตลอดจนมีโปรแกรมส่งเสริมสุขภาพที่จะช่วยลดปัญหาการปวดกล้ามเนื้อที่สอดคล้องกับบริบทการทำงานแต่ละสายงานของบุคลากรในมหาวิทยาลัยได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความชุกของอาการปวดกล้ามเนื้อของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
2. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการปวดกล้ามเนื้อระหว่างบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
3. เพื่อสำรวจวิธีการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ผู้วิจัยจึงได้กำหนดการทดสอบสมมติฐาน คือ บุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุนมีจำนวนตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการปวดแตกต่างกัน

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัย เป็นการวิจัยเชิงสำรวจแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional survey research)

2. ประชากร ได้แก่ บุคลากรสายวิชาการทั้งข้าราชการพลเรือนหรือพนักงานมหาวิทยาลัย จำนวน 406 คน และบุคลากรสายสนับสนุนตำแหน่งงานบริหารทั่วไปหรือนักวิชาการทั้งลูกจ้างประจำ ลูกจ้างชั่วคราว พนักงานมหาวิทยาลัย หรือพนักงานราชการ จำนวน 232 คน รวมเป็นจำนวน 638 คน

3. กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ บุคลากรตามทะเบียนรายชื่อบุคลากร ณ เดือนกันยายน พ.ศ. 2564 การคำนวณขนาดตัวอย่างใช้สูตรการประมาณค่าสัดส่วนในกรณีทราบประชากร (ปุญญพัฒน์ ไชยเมล์, 2556) ดังนี้

$$n = \frac{NZ^2{}_{\alpha/2}\, p(1-p)}{[e^2(N-1)] + [Z^2{}_{\alpha/2}\, p(1-p)]})$$

การแทนค่าในสูตรใช้ค่าสัดส่วนจากงานวิจัยของนราการ พลหาญ, สมสมร เรืองวรบูรณ์, โกมล บุญแก้ว, และอนุพงษ์ ศรีวิรัตน์ (2557) ที่มีค่ามัธยฐานของความชุกของอาการปวดกล้ามเนื้อตำแหน่งต่าง ๆ คือ ท้ายทอย หลัง ไหล่ คอ ข้อศอก สะโพก เข่า ข้อเท้า เท่ากับร้อยละ 47.6 (p=0.476) และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อน e = 0.05 ได้ขนาดตัวอย่าง 239.9 คน จึงประมาณเป็นจำนวน 240 คน

ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การคัดเข้า คือ 1) ต้องปฏิบัติงานเป็นบุคลากรของมหาวิทยาลัยมาไม่น้อยกว่า 6 เดือน 2) ต้องเป็นบุคลากรที่ทำงานในลักษณะงานสอน งานเอกสารและงานที่ต้องปฏิบัติงานที่โต๊ะทำงานหรือมีการใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นหลัก และกำหนดเกณฑ์การคัดออก คือ 1) ผู้ที่อยู่ระหว่างการลาศึกษาต่อและช่วยราชการที่หน่วยงานอื่น 2) ผู้ที่อยู่ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่าเป็นโรคเกี่ยวกับระบบประสาทหรือระบบกระดูกและกล้ามเนื้อที่มีอาการเรื้อรังมาก่อนการวิจัยนี้ 3) ผู้ที่ได้รับอุบัติเหตุหรือบาดเจ็บเกี่ยวกับระบบประสาทหรือระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา

4. วิธีการสุ่มตัวอย่าง ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified random sampling) โดยแบ่งรายชื่อบุคลากรแต่ละหน่วยงานเป็นกลุ่มแยกตามคณะสำนักหรือสถาบันที่สังกัด ได้แก่ คณะครุศาสตร์ คณะ

เทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโลยีอุตสาหกรรม คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ คณะวิทยาการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานอธิการบดี สำนักวิทยบริการ และสถาบันภาษาและศิลปวัฒนธรรม ได้จำนวนทั้งหมด 9 กลุ่ม แล้วจึงแบ่งบุคลากรเป็นกลุ่มย่อยแยกตามสายงาน คือ บุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุนจึงได้เป็น 18 กลุ่มย่อย แล้วจึงสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่ายตามสัดส่วนจำนวนประชากรในแต่ละกลุ่มย่อยนั้น (Proportional sampling)

5. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เป็นแบบสอบถามแบบออนไลน์ (Online questionnaire) สร้างบนซอฟต์แวร์จัดการสำรวจที่ทำงานผ่านเว็บไซต์ (A web-based survey administration software) ข้อคำถาม ประกอบด้วย 1) ข้อมูลทั่วไป 2) การรับรู้อาการปวด เมื่อย หรือล้า กล้ามเนื้อที่มีลักษณะเป็น ๆ หาย ๆ หรือเป็นเรื้อรังไม่หายขาด มีอาการปวดเมื่อมีการเคลื่อนไหวหรือใช้งานกล้ามเนื้อส่วนนั้นมาก ๆ เป็นคำถามแบบตรวจสอบรายการตามตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการในช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา มีทั้งหมด 7 ข้อ ได้แก่ คอ บ่าและไหล่ หลัง เอว แขน ข้อมือ และรอบดวงตา และ 3) วิธีการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อ เป็นคำถามแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือกตามวิธีการและความถี่ของการปฏิบัติ คือ ไม่เคย (หมายถึง ไม่เคยใช้วิธีการนั้นเมื่อมีอาการปวดเลย) บางครั้ง (หมายถึงมีการใช้วิธีการนั้นบ้างเป็นบางครั้งเมื่อมีอาการปวด) บ่อย ๆ (หมายถึง มีการใช้วิธีการนั้นบ่อย ๆ หรือเกือบทุกครั้งที่มีอาการปวด) และเป็นประจำ (หมายถึง มีการใช้วิธีการนั้นทุกครั้งที่มีอาการปวด) จำนวน 12 ข้อ และมีข้อคำถามปลายเปิดให้กลุ่มตัวอย่างสามารถระบุวิธีการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้ออื่น ๆ นอกเหนือจากตัวเลือกที่กำหนดให้ได้

ความตรงเชิงเนื้อหาตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ได้แก่ อาจารย์ประจำหลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์ที่มีคุณวุฒิปริญญาเอก 2 ท่าน และพยาบาลวิชาชีพชำนาญการที่มีคุณวุฒิปริญญาโท 1 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้องผ่านเกณฑ์ คือ มีค่าเท่ากับ 0.93 มีการทดลองใช้ (Try out) กับบุคลากรที่ปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัยอื่น จำนวน 30 คน พร้อมหาค่าความเชื่อมั่นด้วยค่าสัมประสิทธิ์อัลฟ่า ของครอนบาค (Cronbach's alpha co-efficient) ของข้อคำถามเกี่ยวกับวิธีการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อได้เท่ากับ 0.83

6. การเก็บรวบรวมข้อมูล ใช้วิธีการเก็บแบบสอบถามออนไลน์ผ่านเว็บไซต์เพื่อลดข้อจำกัดของการเก็บข้อมูลในช่วงสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อโควิด-19 ในระหว่างวันที่ 15-30 กันยายน พ.ศ.2564 ผู้วิจัยมีการส่งลิงก์ให้แก่กลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าถึงแบบสอบถามโดยตรงผ่านช่องทางสื่อสังคมออนไลน์และบันทึกข้อความ กลุ่มตัวอย่างจะได้อ่านคำชี้แจงเกี่ยวกับงานวิจัยก่อนตัดสินใจเข้าร่วมงานวิจัยและเข้าถึงข้อคำถาม กระบวนการเก็บข้อมูลไม่มีการบันทึกข้อมูลที่ระบุตัวบุคคล กลุ่มตัวอย่างที่ไม่ตอบกลับภายใน 7 วัน ผู้วิจัยทำการสุ่มรายชื่อใหม่ให้ครบตามขนาดตัวอย่าง ทั้งนี้ การดำเนินงานวิจัยนี้ผ่านการรับรองแบบยกเว้นโดยคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร หมายเลข HE 64-140

7. การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) เพื่ออธิบายข้อมูลทั่วไป ความชุกและวิธีการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อของกลุ่มตัวอย่าง และใช้สถิติเชิงอนุมาน Mann Whitney U Test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการปวดระหว่างบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุน ทั้งนี้ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ผู้วิจัยกำหนดวิธีการนับจำนวนตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการปวดตามตำแหน่งที่กลุ่มตัวอย่างตอบทีละข้อจากทั้งหมด 7 ข้อที่ระบุไว้ในแบบสอบถามส่วนที่ 2 การวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมานคำนึงถึงข้อตกลงเบื้องต้นของการใช้สถิติแบบพาราเมตริกซ์และการใช้สถิติแบบนอนพาราเมตริกซ์

สำหรับชุดข้อมูลในงานวิจัยนี้ ซึ่งทำการทดสอบแล้วพบว่าชุดข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติจึงเลือกใช้สถิติแบบนอนพาราเมตริกซ์ และกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติคือ 0.05

ผลการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 240 คน เป็นบุคลากรสายวิชาการร้อยละ 60.8 และบุคลากรสายสนับสนุนร้อยละ 39.2 มีข้อมูลทั่วไปและลักษณะการทำงานดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปและลักษณะการทำงานของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามประเภทบุคลากร (n=240)

ข้อมูล		ประเภทบุคลากร n(%)		
		รวม (n=240)	สายวิชาการ (n=146)	สายสนับสนุน (n=94)
เพศ	ชาย	86 (35.8%)	56 (38.4%)	30 (31.9%)
	หญิง	154 (64.2%)	90 (61.6%)	64 (68.1%)
อายุ (ปี)	ไม่เกิน 34 ปี	44 (18.3%)	16 (11.0%)	28 (29.8%)
	35-44 ปี	148 (61.7%)	99 (67.8%)	49 (52.1%)
	45-54 ปี	42 (17.5%)	26 (17.8%)	16 (17.0%)
	55-60 ปี	6 (2.5%)	5 (3.4%)	1 (1.1%)
	Median (Min, Max)	39 (25, 60)	39.5 (25, 60)	37.0 (25, 57)
รายได้ต่อเดือนของตนเองโดยประมาณ	ไม่เกิน 34,000 บาท	133 (55.4%)	41 (28.1%)	92 (97.9%)
	34,000 บาท ขึ้นไป	107 (44.6%)	105 (71.9%)	2 (2.1%)
	Median (Min, Max)	34,000 (13,000, 80,000)	40,000 (20,000, 80,000)	28,000 (13,000, 55,000)
สถานภาพสมรส	โสด	101 (42.1%)	63 (43.2%)	38 (40.4%)
	สมรส	131 (54.6%)	77 (52.7%)	54 (57.4%)
	หย่าร้าง/หม้าย	8 (3.3%)	6 (4.1%)	2 (2.2%)
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี	88 (36.7%)	4 (2.7%)	84 (89.4%)
	สูงกว่าปริญญาตรี	152 (63.3%)	142 (97.3%)	10 (10.6%)
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)	น้อยกว่า 18.50	12 (5.0%)	6 (4.1%)	6 (6.4%)
	18.50 -22.99	99 (41.3%)	62 (42.5%)	37 (39.4%)
	23.00 – 24.99	39 (16.3%)	27 (18.5%)	12 (12.8%)
	25.00 ขึ้นไป	90 (37.5%)	51 (34.9%)	39 (41.5%)
	Median (Min, Max)	23.27 (16.61,42.97)	23.38 (16.80, 33.75)	23.14 (16.61,42.97)
ระยะเวลาทำงานในตำแหน่งปัจจุบัน (ปี)	ไม่เกิน 10 ปี	147 (61.3%)	85 (58.2%)	62 (66.0%)
	11 – 20 ปี	78 (32.5%)	51 (34.9%)	27 (28.7%)
	21 ปี ขึ้นไป	15 (6.2%)	10 (6.8%)	5 (5.3%)
	Median (Min, Max)	10 (1, 35)	10 (1, 30)	10 (1, 35)

ข้อมูล		ประเภทบุคลากร n(%)		
		รวม (n=240)	สายวิชาการ (n=146)	สายสนับสนุน (n=94)
ความถี่การทำงานที่โต๊ะทำงานหรือคอมพิวเตอร์	ไม่ได้นั่งโต๊ะเลย	2 (0.8%)	1 (0.7%)	1 (1.1%)
	1-2 วันต่อสัปดาห์	8 (3.3%)	7 (4.8%)	1 (1.1%)
	3-5 วันต่อสัปดาห์	56 (23.3%)	42 (28.8%)	14 (14.9%)
	เกือบทุกวัน/ทุกวัน	174 (72.5%)	96 (65.8%)	78 (83.0%)
ระยะเวลาที่ทำงานโต๊ะทำงานหรือโต๊ะคอมพิวเตอร์ต่อวัน	ไม่เกิน 5 ชั่วโมง	82 (34.2%)	66 (45.2%)	16 (17.0%)
	6 – 10 ชั่วโมง	145 (60.4%)	74 (50.7%)	71 (75.5%)
	11 ชั่วโมงขึ้นไป	13 (5.4%)	6 (4.1%)	7 (7.4%)
	Median (Min, Max)	6 (1, 15)	6 (1, 15)	7 (1, 12)
อาการปวดกล้ามเนื้อช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา	มีอาการ	216 (90.0%)	130 (89.2%)	86 (91.5%)
ความชุกของอาการปวดกล้ามเนื้อ	ร้อยละ (95% CI)	90.0% (86.2% - 93.8%)	89.0 % (83.9% - 94.3%)	91.5% (85.7% - 97.2%)

กลุ่มตัวอย่างมีความชุกของอาการปวดกล้ามเนื้อร้อยละ 90.0 ทั้งนี้ ร้อยละ 89.0 ของบุคลากรสายวิชาการและ ร้อยละ 91.5 ของบุคลากรสายสนับสนุนมีความชุกของอาการปวดกล้ามเนื้อ โดยตำแหน่งของกล้ามเนื้อที่มีอาการปวดมากที่สุดได้แก่ คอ บ่าและไหล่ และรอบดวงตา คิดเป็นร้อยละ 87.0 79.6 และ 78.7 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) เมื่อวิเคราะห์จำนวนตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการปวดทั้งหมด 7 ตำแหน่ง พบว่า กลุ่มตัวอย่างโดยรวมมีค่ามัธยฐาน 5 ตำแหน่ง (ค่าต่ำสุด =1 ตำแหน่ง, ค่าสูงสุด = 7 ตำแหน่ง) กลุ่มตัวอย่างที่ปวดกล้ามเนื้อทุกตำแหน่งมีร้อยละ 29.2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุนพบว่าบุคลากรสายสนับสนุนมีจำนวนตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการปวดมากกว่าบุคลากรสายวิชาการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.004) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะอาการปวดกล้ามเนื้อ และผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการปวดระหว่างกลุ่มตัวอย่างบุคลากรสายวิชาการ (n=130) และสายสนับสนุน (n=86)

ลักษณะอาการปวดกล้ามเนื้อในช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา		ประเภทบุคลากร n(%)		
		รวม (n=216)	สายวิชาการ (n=130)	สายสนับสนุน (n=86)
ตำแหน่ง	คอ	188 (87.0%)	113 (86.9%)	75 (87.2%)
	บ่าและไหล่	172 (79.6%)	99 (76.2%)	73 (84.9%)
	รอบดวงตา	170 (78.7%)	100 (76.9%)	70 (81.4%)
	หลัง	169 (78.2%)	102 (78.5%)	67 (77.9%)
	เอว	143 (66.2%)	81 (62.3%)	62 (72.1%)
	ข้อมือหรือมือ	109 (50.4%)	54 (41.5%)	55 (64.0%)
	แขน	105 (48.6%)	51 (39.2%)	54 (39.2%)
จำนวนตำแหน่งที่ปวด	1 ตำแหน่ง	11 (5.1%)	6 (4.6%)	5 (5.8%)
	2 ตำแหน่ง	19 (8.8%)	15 (11.5%)	4 (4.7%)
	3 ตำแหน่ง	22 (10.2%)	15 (11.5%)	7 (8.1%)
	4 ตำแหน่ง	41 (19.0%)	26 (20.0%)	15 (17.4%)
	5 ตำแหน่ง	24 (11.1%)	20 (15.4%)	4 (4.7%)
	6 ตำแหน่ง	36 (16.7%)	21 (16.2%)	15 (17.4%)
	7 ตำแหน่ง	63 (29.2%)	27(20.8%)	36 (41.9%)
	Median (Min, Max)	5 (1-7)	5 (1-7)	6 (1-7)
ความแตกต่างของจำนวนตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการปวด (Mann - Whitney U test)				
Mean rank			98.63	123.42
Mann-Whitney U = 4307.0, **P-value** =0 .004*				

* ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

ส่วนผลการวิจัยในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า วิธีการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อที่กลุ่มตัวอย่างทำบ่อย ๆ หรือทำเป็นประจำมากที่สุด คือ การเปลี่ยนท่าทางหรืออิริยาบถบ่อย ๆ การปรับท่าทางหรือนั่งทำงาน และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนที่ปวด

ตารางที่ 3 วิธีการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามประเภทบุคลากรสายวิชาการ (n=130) และสายสนับสนุน (n=86)

วิธีการ		ความถี่ของการปฏิบัติ n(%)			
		ไม่เคยทำ	ทำบางครั้ง	ทำบ่อยๆ	ทำเป็นประจำ
1. กินยาแก้ปวดหรือยาแก้อักเสบ	รวม	90(41.7%)	120(55.6%)	3(1.4%)	3(1.4%)
	สายวิชาการ	59(45.4%)	67(51.5%)	2(1.5%)	2(1.5%)
	สายสนับสนุน	31(36.0%)	53(61.6%)	1(1.2%)	1(1.2%)
2. ทายาบรรเทาอาการปวด	รวม	65(30.4%)	122(56.5%)	23(10.6%)	6(2.8%)
	สายวิชาการ	45(34.6%)	66(50.8%)	15(11.5%)	4(3.1%)
	สายสนับสนุน	20(23.3%)	56(65.1%)	8(9.3%)	2(2.3%)
3. ฉีดยาบริเวณที่ปวด	รวม	187(86.6%)	26(12.0%)	3(1.4%)	0(0.0%)
	สายวิชาการ	113(86.9%)	15(11.5%)	2(1.5%)	0(0.0%)
	สายสนับสนุน	74(86.0%)	11(12.8%)	1(1.2%)	0(0.0%)
4. นวดหรือคลึงบริเวณที่ปวด	รวม	32(14.4%)	126(58.3%)	53(24.5%)	5(2.3%)
	สายวิชาการ	21(16.2%)	65(50.0%)	40(30.8%)	4(3.1%)
	สายสนับสนุน	11(12.8%)	61(70.9%)	13(15.1%)	1(1.2%)
5. ประคบน้ำร้อนหรืออบด้วยสมุนไพร	รวม	145(67.1%)	63(29.2%)	8 (3.7%)	0(0.0%)
	สายวิชาการ	92(70.8%)	32(24.6%)	6(4.6%)	0(0.0%)
	สายสนับสนุน	53(61.6%)	31(36.0%)	2(2.3%)	0(0.0%)
6. ฝังเข็มหรือกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า	รวม	198(92.2%)	17(7.9%)	0(0.0%)	0(0.0%)
	สายวิชาการ	121(91.3%)	9(6.9%)	0(0.0%)	0(0.0%)
	สายสนับสนุน	78(90.7%)	8(9.3%)	0(0.0%)	0(0.0%)
7. ยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนที่ปวด	รวม	18(8.3%)	116(53.7%)	59(27.3%)	23(10.6%)
	สายวิชาการ	10(7.0%)	63(48.5%)	40(30.8%)	17(11.6%)
	สายสนับสนุน	8(9.3%)	53(61.6)	19(22.1%)	9(7.0%)
8. พักหรือหยุดการใช้งานกล้ามเนื้อ	รวม	17(7.9%)	130(60.2%)	54(24.9%)	15(6.9%)
	สายวิชาการ	13(10.0%)	66(50.8%)	38(29.2%)	13(10.0%)
	สายสนับสนุน	4(4.7%)	64(74.4%)	16(18.6%)	2(2.3%)

วิธีการ		ความถี่ของการปฏิบัติ n(%)			
		ไม่เคยทำ	ทำบางครั้ง	ทำบ่อยๆ	ทำเป็นประจำ
9. ปรับท่าทางหรือ	รวม	9(4.2%)	116(53.7%)	71(33.9%)	20(9.3%)
ท่านั่งทำงาน	สายวิชาการ	6(4.6%)	69(53.1%)	39(30.0%)	16(12.3%)
	สายสนับสนุน	3(3.5%)	47(54.7%)	32(37.2%)	4(4.7%)
10. เปลี่ยนท่าทางหรือ	รวม	3(1.4%)	101(46.8%)	87(40.3%)	25(11.6%)
อิริยาบถบ่อย ๆ	สายวิชาการ	2(1.5%)	57(43.8%)	54(41.5%)	17(13.1%)
	สายสนับสนุน	1(1.2%)	44(51.2%)	33(38.4%)	8(9.3%)
11. ออกกำลังกายหรือ	รวม	30(13.9%)	136(63.0%)	39(18.0%)	11(5.1%)
บริหารกล้ามเนื้อที่ปวด	สายวิชาการ	21(16.2%)	74(56.9%)	28(21.5%)	7(5.4%)
ให้แข็งแรง	สายสนับสนุน	9(10.5%)	62(72.1%)	11(12.8%)	4(4.7%)
12. ปรับสภาพแวดล้อม	รวม	50(23.0%)	127(58.5%)	27(12.9%)	12(5.5%)
รอบโต๊ะทำงาน	สายวิชาการ	35(26.9%)	67(51.5%)	19(14.6%)	9(6.9%)
	สายสนับสนุน	15(17.4%)	60(69.8%)	8(9.3%)	3(3.5%)

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า บุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครกว่าร้อยละ 90 มีอาการปวดกล้ามเนื้อในช่วงระยะเวลา 3 เดือนที่ผ่านมา อาจเป็นไปได้ว่าบุคลากรมีปัจจัยเสี่ยงจากปัจจัยส่วนบุคคลหรือปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานซึ่งส่งผลให้เกิดอาการปวดกล้ามเนื้อได้ หากพิจารณาจากบริบทสภาพการทำงานนั้น จะเห็นว่าบุคลากรส่วนใหญ่มีการทำงานนั่งโต๊ะทำงานหรือโต๊ะคอมพิวเตอร์เป็นประจำทุกวัน และมีระยะเวลาการทำงานนั่งโต๊ะทำงานหรือโต๊ะคอมพิวเตอร์วันละ 6-10 ชั่วโมง ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้บุคลากรมีโอกาสเกิดอาการปวดกล้ามเนื้อมากขึ้น (Feng, Chen, Zhu, Ip, Andersen, Page, & Wang, 2021; Chinedu, Henry, Nene & Okwudili (2020) นอกจากนี้ การที่บุคลากรกว่าครึ่งหนึ่งมีค่าดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์ท้วมหรืออ้วนก็อาจเป็นปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งที่ส่งเสริมให้มีอาการปวดกล้ามเนื้อได้มากขึ้นเช่นกัน (Walsh, Arnold, Evans, Yaxley, Damarell, & Shanahan, 2018) อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยไม่ได้มีการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงหรือสาเหตุของอาการปวดกล้ามเนื้อจึงยังไม่อาจอนุมานผลจากปัจจัยต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ อยู่ในช่วงที่มีการระบาดของโรคติดเชื้อโควิด-19 จึงไม่ได้สะท้อนปัญหาอาการปวดกล้ามเนื้อในการทำงานรูปแบบปกติ การวิจัยครั้งนี้พบความชุกของอาการปวดกล้ามเนื้อสูงกว่าหลายการศึกษาที่ผ่านมา เช่น นราการ พลหาญ, สมสมร เรืองวรบูรณ์, โกมล บุญแก้ว, และอนุพงษ์ ศรีวิรัตน์ (2557) ทรงฤทธิ์ ทองมีขวัญ และสกุตลา แซ่เตียว (2561) Meaza, Temesgen, Redae, Hailemariam, and Alamer, (2020) และ Chinedu, Henry, Nene & Okwudili (2020) แต่มีค่าใกล้เคียงกับความชุกที่พบในการศึกษาของสุนันทา จำชาติ, ภาพร สาอ่อน, ปณิตา ศรีราวี, สุภัสรา วิชาพูล, และสิริทรพย์ สีหะวงษ์ (2564) ซึ่งอาจมีผลมาจากช่วงเวลาการเก็บข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้และงานวิจัยของสุนันทา จำชาติ และคณะ (2564) อยู่ในช่วงการทำงานที่บ้าน

หรือการทำงานรูปแบบออนไลน์ตามมาตรการการควบคุมการระบาดของโรคติดเชื้อโควิด-19 ซึ่งทำให้บุคลากรทำงานโดยใช้งานคอมพิวเตอร์มากขึ้น อาจมีอิริยาบถระหว่างทำงานหรือสถานที่ทำงานที่บ้านที่เปลี่ยนแปลงไปจากการทำงานในสถานที่เดิม สิ่งเหล่านี้อาจทำให้ความชุกของอาการปวดกล้ามเนื้อแตกต่างไปจากช่วงเวลาปกติได้ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ekpanyaskul and Padungtod (2021) ที่พบว่าการทำงานที่บ้านในช่วงการระบาดของโรคติดเชื้อโควิด -19 ทำให้อาการปวดกล้ามเนื้อแย่ลงเช่นกัน อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้เก็บข้อมูลอาการปวดกล้ามเนื้อในระยะยาวหรือมีข้อมูลความชุกก่อนการระบาดของโรคติดเชื้อโควิด-19 และไม่ได้มีการสังเกตอิริยาบถการทำงานหรือการยศาสตร์การทำงานของบุคลากร ข้อค้นพบจากการศึกษานี้ จึงอาจเป็นเพียงข้อมูลที่ใช้สำหรับเฝ้าระวังปัญหาเกี่ยวกับอาการปวดกล้ามเนื้อในบุคลากรเท่านั้น ทั้งนี้ มหาวิทยาลัยควรมีแนวทางปฏิบัติเพื่อช่วยให้บุคลากรลดความเสี่ยงต่ออาการปวดกล้ามเนื้อได้ เช่น การส่งเสริมให้มีเวลาพักทำงาน หรือมีการกำหนดเวลาพักหรือเปลี่ยนอิริยาบถการทำงานบ่อยขึ้นตามผลการศึกษาของ (Feng, Chen, Zhu, Ip, Andersen, Page, & Wang, 2021)

ข้อค้นพบจากงานวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับการทบทวนวรรณกรรมที่พบว่า ตำแหน่งของกล้ามเนื้อที่มีอาการปวดในกลุ่มอาการออฟฟิศซินโดรมที่พบบ่อยที่สุด ได้แก่ กล้ามเนื้อคอ ไหล่ และหลัง (นราการ พลหาญ, สมสมร เรืองวรบูรณ์, โกมล บุญแก้ว, และอนุพงษ์ ศรีวิรัตน์, 2557; สุนันทา จำชาติ, ภาพร สาอ่อน, ปณิตา ศรีราวี, สุภัสรา วิชาพูล, และสิริทรพย์ สีหะวงษ์, 2564; Ekpanyaskul & Padungtod, 2021) แต่สิ่งที่น่ากังวลที่พบในการศึกษาครั้งนี้คือ บุคลากรเกือบทั้งหมดมีอาการปวดกล้ามเนื้อมากกว่า 1 ตำแหน่ง และบุคลากรถึงหนึ่งในสามมีอาการปวดกล้ามเนื้อครบทั้ง 7 ตำแหน่ง สะท้อนให้เห็นว่า ปัญหาอาการปวดกล้ามเนื้อของบุคลากรในมหาวิทยาลัยเป็นประเด็นสุขภาพที่ไม่อาจละเลยได้

งานวิจัยครั้งนี้ทำให้ได้ข้อมูลเชิงประจักษ์ว่า บุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุนมีจำนวนตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการปวดที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับการศึกษาของ Ojoawo, Akinola & Awotidebe (2017) นับเป็นสิ่งสะท้อนให้เห็นว่าแม้บุคลากรที่เป็นคนทำงานออฟฟิศในสถานที่ทำงานเดียวกัน แต่มีลักษณะภาระงานที่แตกต่างกัน อาจทำให้บุคลากรบางกลุ่มมีความเสี่ยงจากอาการปวดกล้ามเนื้อมากกว่าดังเช่นที่พบในบุคลากรสายสนับสนุนนี้ ดังนั้นหากมีการพัฒนารูปแบบการป้องกันอาการปวดกล้ามเนื้อสำหรับบุคลากรในมหาวิทยาลัย จำเป็นต้องคำนึงถึงความแตกต่างของอาการและลักษณะการทำงานของบุคลากรทั้งสองกลุ่มนี้ด้วย

ปัจจุบัน สังคมมีความตระหนักต่อปัญหาอาการปวดกล้ามเนื้อของคนในกลุ่มวัยทำงานมากขึ้น จึงมีการพัฒนารูปแบบวิธีการที่หลากหลายและได้ผลดีในการป้องกันและลดอาการปวดกล้ามเนื้อจากการทำงาน ซึ่งมีทั้งแบบโปรแกรมเชิงเดี่ยว (Single stranded intervention) เช่น การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ การจัดการความเครียด การปรับท่าทางการทำงาน และแบบโปรแกรมเชิงซ้อน (Multiple stranded intervention) เช่น การยืดเหยียดกล้ามเนื้อร่วมกับการปรับท่าทางการทำงานและการส่งเสริมทางจิตสังคม (Schmid *et al.*, 2021; Van Eerd, Munhall, Irvin, Rempel, Brewer, Van Der Beek, ... & Amick, 2016) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ไม่ได้มีการศึกษาในเรื่องของการตอบสนองผลการรักษาว่าได้ผลมากน้อยต่างกันอย่างไร แต่งานวิจัยนี้พบว่าบุคลากรมักใช้วิธีการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อที่ได้ผลบรรเทาอาการในระยะสั้น ทั้งนี้ จากข้อมูลการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าวิธีการที่ได้ผลบรรเทาอาการ

และป้องกันอาการในระยะยาว คือ การออกกำลังกายแบบใช้แรงต้าน (Resistance exercise) เพื่อให้กล้ามเนื้อส่วนที่ใช้งานบ่อย ๆ แข็งแรงขึ้น (Van Eerd, Munhall, Irvin, Rempel, Brewer, Van Der Beek, ... & Amick, 2016) ดังนั้น บุคลากรเหล่านี้ควรได้รับการสนับสนุนให้เกิดความตระหนักในอาการเหล่านี้ มีการเรียนรู้วิธีการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อโดยการป้องกันระยะยาวแบบเสริมความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจุดที่ใช้บ่อย เพื่อให้สามารถลดและป้องกันอาการปวดกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงมหาวิทยาลัยอาจพัฒนาโปรแกรมเชิงซ้อนที่ช่วยลดอาการปวดกล้ามเนื้อให้แก่บุคลากรได้อีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

ปัญหาอาการปวดกล้ามเนื้อเป็นปัญหาที่พบมากในบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าบุคลากรมีความชุกของอาการปวดกล้ามเนื้อถึงร้อยละ 90 นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าบุคลากรสายสนับสนุนมีจำนวนตำแหน่งกล้ามเนื้อที่มีอาการปวดมากกว่าบุคลากรสายวิชาการ สำหรับวิธีการที่ใช้ในการจัดการอาการปวดกล้ามเนื้อพบว่า เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการบรรเทาอาการเมื่อมีอาการปวด ได้แก่ การเปลี่ยนท่าทางหรืออิริยาบถบ่อย ๆ การยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนที่ปวด และการปรับท่าทางหรือท่านั่งทำงาน ส่วนวิธีการที่ยังใช้น้อย เช่น การออกกำลังกายหรือบริหารกล้ามเนื้อที่ปวดให้แข็งแรง

ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

1. มหาวิทยาลัยควรสนับสนุนให้มีการลดความเสี่ยงและป้องกันอาการปวดกล้ามเนื้อเพื่อคุณภาพชีวิตของบุคลากร โดยเฉพาะอย่างยิ่งบุคลากรสายสนับสนุน ซึ่งอาจใช้วิธีการที่หลากหลาย เช่น การอบรมให้ความรู้ การพัฒนาทักษะการออกกำลังกาย การปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมในการทำงาน

2. อาการปวดกล้ามเนื้อของบุคลากรอาจมีมากขึ้นในอนาคตจากการทำงานรูปแบบออนไลน์ที่มากขึ้นตามวิถีชีวิตใหม่ (New normal) จึงควรทำวิจัยเพื่อติดตามต่อไปว่าการทำงานที่บ้านหรือรูปแบบออนไลน์ที่มากขึ้นนี้ ส่งผลต่ออาการปวดกล้ามเนื้อมากน้อยอย่างไร

3. การทราบปัจจัยเสี่ยงต่ออาการปวดกล้ามเนื้อของบุคลากรในมหาวิทยาลัย รวมถึงข้อมูลทางการยศาสตร์ในการทำงาน อาจทำให้สามารถออกแบบกิจกรรมต่าง ๆ ที่ป้องกันอาการเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในปีงบประมาณ พ.ศ.2564

เอกสารอ้างอิง

ทรงฤทธิ์ ทองมีขวัญ และ สกุนตลา แซ่เตียว. (2562). พฤติกรรมการป้องกันและการรับรู้ความเสี่ยงต่อการเกิดกลุ่มอาการคอมพิวเตอร์ซินโดรมของบุคลากรสายสนับสนุน. *วารสารพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, 19*(37), 69-83.

นรากร พลหาญ, สมสมร เรืองวรบูรณ์, โกมล บุญแก้ว, และอนุพงษ์ ศรีวิรัตน์. (2557). กลุ่มอาการที่เกิดต่อร่างกายจากการใช้คอมพิวเตอร์ในการปฏิบัติงานของ บุคลากรสายสนับสนุน มหาวิทยาลัยนครพนม. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), 6*(12), 26-38.

ปุญญพัฒน์ ไชยเมล์. (2556). การกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการวิจัยเชิงพรรณนาในงานสาธารณสุข. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 16*(2), 9-18.

สุนันทา จำชาติ, ภาพร สาอ่อน, ปณิตา ศรีราวี, สุภัสรา วิชาพูล, และสิริทรพย์ สีหะวงษ์. (2564). ความชุกและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปวดกล้ามเนื้อของบุคลากรที่ปฏิบัติงานในคณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง. *มฉก. วิชาการ, 25*(1), 77-86.

ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษา. (2564). Work from Home อย่างไร ให้ไม่เป็นออฟฟิศซินโดรม. สืบค้นจาก https://sciplanet.org/content/8208

Chantaracherd, P. (2015). The office syndrome: a potential risk factor of TMD and headache. maybe vice versa?. *Mahidol Dental Journal, 35*(3), 265-272.

Chinedu, O. O., Henry, A. T., Nene, J. J., & Okwudili, J. D. (2020). Work-related musculoskeletal disorders among office workers in higher education institutions: A cross-sectional study. Ethiopian Journal of Health Sciences, 30(5), 715–724.

Ekpanyaskul, C., & Padungtod, C. (2021). Occupational health problems and lifestyle changes among novice working-from-home workers amid the COVID-19 pandemic. *Safety and health at work, 12*(3), 384-389.

Feng, B., Chen, K., Zhu, X., Ip, W. Y., Andersen, L. L., Page, P., & Wang, Y. (2021). Prevalence and risk factors of self-reported wrist and hand symptoms and clinically confirmed carpal tunnel syndrome among office workers in China: a cross-sectional study. *BMC public health, 21*(1), 1-10.

Kawai, K., Kawai, A. T., Wollan, P., & Yawn, B. P. (2017). Adverse impacts of chronic pain on health-related quality of life, work productivity, depression and anxiety in a community-based study. *Family practice, 34*(6), 656-661.

Meaza, H., Temesgen, M. H., Redae, G., Hailemariam, T. T., & Alamer, A. (2020). Prevalence of Musculoskeletal Pain Among Academic Staff of Mekelle University, Ethiopia. *Clinical Medicine Insights: Arthritis and Musculoskeletal Disorders, 13*, https://doi.org/10.1177/1179544120974671

Minoura, A., Ishimaru, T., Kokaze, A., & Tabuchi, T. (2021). Increased Work from Home and Low Back Pain among Japanese Desk Workers during the Coronavirus Disease 2019 Pandemic: A Cross-Sectional Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(23), https://doi.org/10.3390/ijerph182312363.

Ojoawo, A. O., Awotidebe, T. O., & Akindamola, G. A. (2016). Prevalence of work related musculoskeleal pain among academic and non academic staff of a Nigerian university. *Gülhane Tip Dergisi*, *58*(4), 341-347.

Schmidt, K. G., Holtermann, A., Jørgensen, M. B., Svendsen, M. J., & Rasmussen, C. D. N. (2021). Developing a practice and evidence-based guideline for occupational health and safety professionals to prevent and handle musculoskeletal pain in workplaces. *Applied Ergonomics*, *97*,(11), https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103520.

Van Eerd, D., Munhall, C., Irvin, E., Rempel, D., Brewer, S., Van Der Beek, A. J., ... & Amick, B. (2016). Effectiveness of workplace interventions in the prevention of upper extremity musculoskeletal disorders and symptoms: an update of the evidence. *Occupational and environmental medicine*, *73*(1), 62-70.

Walsh, T. P., Arnold, J. B., Evans, A. M., Yaxley, A., Damarell, R. A., & Shanahan, E. M. (2018). The association between body fat and musculoskeletal pain: a systematic review and meta-analysis. *BMC musculoskeletal disorders*, *19*(1), 1-13.

0.8

Sci2.3-38

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 24 ฉบับที่ 2 เดือนพฤษภาคม-สิงหาคม 2565

ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของสารสกัดหยาบไบโอชาร์

Antifungal Efficiency of Biochar Crude Extracts

แก้วกัลยา โสตถิสวัสดิ์[1*] เทพกร ลีลาแต้ม[2] นลิณี ศิริมงคล[3] และ บุษบา พรมเทพ[3]

Kaewkanlaya Sotthisawad[1*] Tappagorn Leelatam[2] Nalinee Sirimongkhol[3] and Budsaba Phomthep[3]

[1]สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

[2]ศูนย์เทคโนโลยีที่เหมาะสม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

[3]หลักสูตรสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

[1]Division of Biology, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University

[2]Center of Appropriate Technology, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University

[3]Biology Program, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University

*E-mail: kaewkanlaya@snru.ac.th

Received: Feb 01, 2022

Revised: Mar 09, 2022

Accepted: Mar 16, 2022

บทคัดย่อ

ไบโอชาร์ คือวัสดุจำพวกถ่านที่ได้จากการเผาชีวมวล เช่น วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ภายใต้กระบวนการที่เรียกว่าไพโรไลซิส ในปัจจุบันมีการนำไบโอชาร์มาใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรเพื่อปรับปรุงคุณภาพของดิน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคพืชในดิน ด้วยเหตุนี้การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus* sp. และ *Penicillium* sp. ของสารสกัดหยาบไบโอชาร์ที่ผลิตจากขี้เลื่อย กะลามะพร้าว ไม้กระถิน เปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา และไม้ยางพารา โดยทำการสกัดด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิดคือ เมทานอลและน้ำกลั่น และใช้ความเข้มข้นของสารสกัดไบโอชาร์ในการทดสอบ 3 ระดับคือ 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากผลการศึกษาพบว่า สารสกัดไบโอชาร์ต่างชนิดกันสามารถยับยั้งเชื้อราทดสอบได้แตกต่างกัน และความเข้มข้นของสารสกัดไบโอชาร์ที่ใช้มีผลโดยตรงต่อการลดลงของปริมาณเส้นใยรา สารสกัดเมทานอลของไบโอชาร์จากไม้ยางพาราที่ระดับความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ยับยั้งการเจริญของ *Aspergillus* sp. ได้ดีที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา เท่ากับ 10.56±0.60 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สารสกัดเมทานอลของไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวที่ระดับความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ยับยั้งการเจริญของ *Penicillium* sp. ได้ดีที่สุด คือ มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา เท่ากับ 24.31±0.76 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการต้านเชื้อราของไบโอชาร์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ ต่อไปได้

คำสำคัญ: ไบโอชาร์ ไพโรไลซิส ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา สารสกัดหยาบ

Abstract

Biochar is a charcoal-like substance made by burning biomass such as agricultural wastes in a process called pyrolysis. Currently, biochar has been used in agriculture to improve soil quality. It has also been reported to inhibit plant pathogenic microorganisms in the soil. Therefore, this study aimed to investigate the antimicrobial efficiency against *Aspergillus* sp. and *Penicillium* sp. of crude extracts of biochar produced from sawdust, coconut shell, acacia wood, rubber pericarp and rubber wood. The biochar was extracted with two solvents including methanol and distilled water. Three concentration levels of the methanolic and aqueous extracts used in the experiments were 1, 2 and 3 %(v/v). From the results, it was found that different biochar extracts inhibited the tested fungi differently and their concentrations had direct effect on the reduction of fungal mycelia. The methanolic rubber wood derived

biochar with the concentration of 3% (v/v) exhibited the highest antifungal activity against *Aspergillus* sp. with the % growth inhibition of 10.56±0.60% while the methanolic coconut shell derived biochar with the concentration of 3% (v/v) exhibited the highest antifungal activity against *Penicillium* sp. with the % growth inhibition of 24.29±9.31%. This study demonstrates the antifungal potential of biochar which can be applied in various fields in the future.

Keywords: Biochar, Pyrolysis, Antifungal efficiency, Crude extract

1. บทนำ

ไบโอชาร์ (Biochar) หรือถ่านชีวภาพ คือวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาชีวมวล (Biomass) ได้แก่ เศษพืชผล มูลสัตว์ ของเสียชีวภาพ หรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ผ่านการเผาแบบไพโรไลซิส (Pyrolysis) ซึ่งเป็นกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงมาก ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหรือมีออกซิเจนอย่างจำกัด [1], [2] ไบโอชาร์เป็นวัสดุที่อุดมไปด้วยคาร์บอน โดยมีความแตกต่างจากถ่านทั่วไปหรือชาร์โคล (Charcoal) ตรงจุดมุ่งหมายของการใช้ประโยชน์ ซึ่งชาร์โคลหมายถึงถ่านที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง ในขณะที่ไบโอชาร์คือถ่านที่เน้นการใช้ประโยชน์เพื่อเก็บกักคาร์บอนในดินและปรับปรุงดิน

ปัจจุบันนี้ไบโอชาร์ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรอย่างมาก เนื่องจากไบโอชาร์เป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวมาก มีประจุลบ มีรูพรุน และมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช จึงถูกนำมาใช้การปรับปรุงคุณภาพดิน เพิ่มผลผลิตทางการเกษตร และเพิ่มความต้านทานของพืชต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมในพืชหลายชนิด รวมทั้งการปรับปรุงและฟื้นฟูดินปนเปื้อนจากมลสารต่าง ๆ (Pollutants) [1], [3], [4], [5] นอกจากนี้ไบโอชาร์ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรของแบคทีเรียในดิน [6] และส่งเสริมแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์บางชนิด โดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่มที่มีบทบาทเป็นตัวควบคุมทางชีวภาพ เช่น *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp. และ *Streptomyces* spp. และแบคทีเรียต้านรา *Phytophora capsica* (สาเหตุของโรคไหม้ไฟทอฟ (Phytophthora blight) ในพริกไทย) [7], [8] เช่นเดียวกับการศึกษาของ Wang et al. ที่รายงานว่าไบโอชาร์เป็นวัสดุเชิงนิเวศชนิดใหม่ที่มีศักยภาพในการควบคุมโรคที่เกิดจากจุลินทรีย์ก่อโรคในดิน โดยช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำให้ควบคุมโรคในพืชได้ [9] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่พบว่าสารสกัดไบโอชาร์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราก่อโรคพืชหลายชนิดได้ เช่น เชื้อรา *Fusarium oxysporum* Schlecht ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคเหี่ยวเหลือง (Fusarium wilt) ในผักหลายชนิด [10]

ข้อมูลจากงานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของไบโอชาร์ในแง่การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบไบโอชาร์ที่ผลิตจากวัสดุทางการเกษตรที่หาง่ายและมีราคาถูก ได้แก่ ขี้เลื่อย กะลามะพร้าว ไม้กระถิน เปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา และไม้ยางพารา เพื่อทดสอบการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus* sp. และ *Penicillium* sp. ซึ่งเป็นรากลุ่มซาโปรไฟต์ (Saprophyte) ขนาดใหญ่ที่สามารถพบการปนเปื้อนราเหล่านี้ได้ทั่วไปในแหล่งธรรมชาติ และพบว่ามีหลายสายพันธุ์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืชหลายชนิด ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตทางการเกษตรอย่างมาก [13], [14], [15] สำหรับองค์ความรู้ที่ได้จะเป็นข้อมูลทางวิชาการที่สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดสู่การส่งเสริมประสิทธิภาพและการประยุกต์ใช้ไบโอชาร์เพื่อพัฒนานวัตกรรมด้านการเกษตรที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคชนิดอื่น ๆ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการลดการใช้สารเคมีหรือยาปฏิชีวนะที่อาจก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัยแก่มนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม หรืออาจนำไปสู่แนวทางในการลดต้นทุนด้านการเกษตรในระยะยาวอย่างยั่งยืนต่อไป

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1. การเตรียมตัวอย่างไบโอชาร์

ตัวอย่างไบโอชาร์ที่ใช้ในการศึกษามีทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ ไบโอชาร์ที่ผลิตจากขี้เลื่อย กะลามะพร้าว ไม้กระถิน เปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา และไม้ยางพารา (Figure 1) โดยนำไบโอชาร์ทั้งหมดมาบดให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบด ก่อนบรรจุใส่ถุงซิปที่ปิดสนิท

2.2. การสกัดและการเตรียมสารสกัดหยาบไบโอชาร์

ชั่งไบโอชาร์แต่ละชนิด ๆ ละ 20 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 2 ชุด บีกเกอร์ชุดแรกเติมเมทานอลปริมาตร 100 มิลลิลิตร และชุดที่ 2 เติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร แช่ไบโอชาร์ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วกรองสารละลายไบโอชาร์ด้วยผ้ามัสลินปลอดเชื้อ

โดยนำส่วนของเหลวไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator) ที่อุณหภูมิห้อง [12] หลังจากนั้นจึงชั่งน้ำหนักสารสกัดไบโอชาร์ และคำนวณหาค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้ (%Yield)

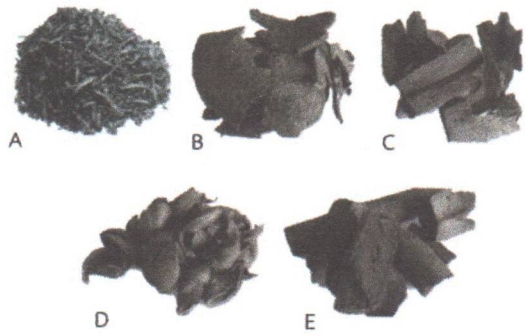


Figure 1 Biochar produced from (A) sawdust, (B) coconut shell, (C) acacia wood, (D) rubber pericarp and (E) rubber wood

2.3. การศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของไบโอชาร์

2.3.1. การเตรียมสารทดสอบ

ชั่งน้ำหนักสารสกัดไบโอชาร์ที่ได้ชนิดละ 0.385 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นปลอดเชื้อ โดยปรับปริมาตรสุดท้ายให้ได้ 1.9 มิลลิลิตร ก่อนนำสารสกัดแต่ละชนิดที่เตรียมได้มาเจือจางในอาหารเหลวปลอดเชื้อสูตร Malt extract (ME) ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ให้มีความเข้มข้นของสารสกัดแต่ละชนิดเป็น 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยการเติมสารสกัดแต่ละชนิดในปริมาตร 0.3, 0.6 และ 0.9 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในอาหารเหลว ME ปริมาตร 59.7, 59.4 และ 59.1 มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยกำหนดให้อาหารเหลว ME ที่ไม่เติมสารสกัดเป็นชุดควบคุมการทดลอง แล้วนำอาหารเหลว ME ที่ผสมสารสกัด (สารทดสอบ) ทั้งหมดไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที [12]

2.3.2. การเตรียมเชื้อทดสอบ

เชื้อทดสอบสำหรับใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของไบโอชาร์ มีจำนวน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Aspergillus* sp. และ *Penicillium* sp. โดยทำการเพาะเลี้ยงบนอาหาร Potato dextrose agar (PDA) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลานาน 7 วัน

2.3.3. การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา

ตัดเส้นใยรา (ภายหลังการเจริญครบ 7 วัน) ด้วย Cork borer ปลอดเชื้อให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ใส่ลงในสารทดสอบแต่ละชนิดที่เตรียมไว้ ก่อนนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นจึงทำการกรองแยกส่วนของของเหลวออกจากเส้นใยรา แล้วนำส่วนของเส้นใยมาอบจนแห้งและมีน้ำหนักคงที่ ทำการชั่งน้ำหนักเส้นใยด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วบันทึกน้ำหนักแห้งของราหรือชีวมวลรา (Fungal biomass) [12] เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา (% Growth inhibition) ดังสมการนี้ [16]

$$\% \text{ Growth inhibition} = \frac{(FBC - FBB)}{FBC} \times 100$$

FBC = น้ำหนักแห้งของราที่เจริญในชุดควบคุมการทดลอง
FBB = น้ำหนักแห้งของราที่เจริญในสารทดสอบ

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1. ผลการสกัดไบโอชาร์

ไบโอชาร์แต่ละชนิดถูกนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายสองชนิดคือ เมทานอลและน้ำกลั่น ก่อนนำไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุนที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักสารสกัดหยาบไบโอชาร์ที่ได้เพื่อนำมาคำนวณหาค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้ ซึ่งพบว่าสารสกัดไบโอชาร์จากเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราที่สกัดด้วยตัวทำละลายทั้งสองชนิด ให้ร้อยละของผลผลิตสูงมากที่สุดคือ 3.13 และ 3.24 ตามลำดับ ในขณะที่สารสกัดไบโอชาร์จากตัวอย่างอื่น ๆ มีค่าร้อยละของผลผลิตที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.00-2.00 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2)

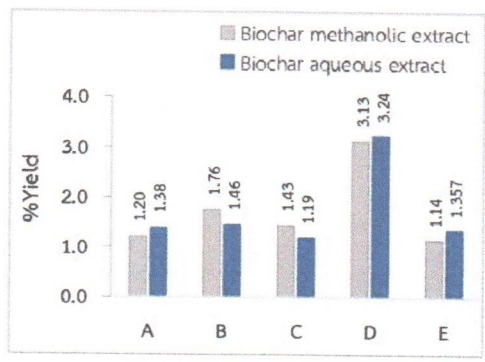


Figure 2 Percent yields of biochar extracts when extracted with methanol and aqueous solvent (A: Sawdust, B: Coconut shell, C: Acacia wood, D: Rubber pericarp and E: Rubber wood)

3.2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา ของสารสกัดไบโอชาร์

การศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญ *Aspergillus* sp. และ *Penicillium* sp. ของสารสกัดไบโอชาร์ทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ไบโอชาร์จากขี้เลื่อย กะลามะพร้าว ไม้กระถิน เปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา และไม้ยางพารา ที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและเมทานอล โดยใช้ความเข้มข้นของสารสกัดไบโอชาร์แต่ละชนิด (ที่ผสมในอาหาร ME) แตกต่างกัน 3 ระดับคือ 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และกำหนดให้อาหาร ME ที่ไม่เติมสารสกัดเป็นตัวควบคุม ภายหลังการบ่มที่อุณภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน จึงทำการวัดการเจริญของเชื้อราทดสอบโดยพิจารณาจากน้ำหนักแห้งของราหรือชีวมวลราที่เจริญในสารทดสอบแต่ละชนิด ดังแสดงผลใน Figure 3 และ Figure 4 ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงนำผลน้ำหนักแห้งมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง การเจริญของเชื้อรา จากผลการศึกษาพบว่า สารสกัดไบโอชาร์จากไม้กระถินที่สกัดด้วยตัวทำละลายทั้งสองชนิดไม่สามารถยับยั้งการเจริญของ *Aspergillus* sp. ได้ในทุกระดับความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้ โดยที่ระดับความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ของสารสกัดไบโอชาร์จากไม้ยางพาราที่สกัดด้วยเมทานอลมีผลยับยั้งการเจริญของ *Aspergillus* sp. มากที่สุด ที่ 10.56±0.60 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือที่ระดับความเข้มข้นของสารสกัดไบโอชาร์จากไม้ยางพารา 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่สกัดด้วยเมทานอล และสารสกัดไบโอชาร์จากเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่สกัดด้วยเมทานอล โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเท่ากับ 7.60±0.46 และ 7.00±0.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1)

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้ง *Penicillium* sp. ของสารสกัดไบโอชาร์ พบว่ามีเพียงสารสกัดไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวและไม้กระถินเท่านั้นที่สามารถยับยั้งการเจริญของ *Penicillium* sp. ได้ โดยที่ระดับความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ของสารสกัดไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวที่สกัดด้วยเมทานอล มีผลยับยั้งการเจริญของ *Penicillium* sp. มากที่สุด โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญที่ 24.31±0.76 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือสารสกัดไบโอชาร์จากไม้กระถิน ที่สกัดด้วยเมทานอลและน้ำกลั่น ที่ระดับความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญที่ 19.56±0.47 และ 10.83±0.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 2)

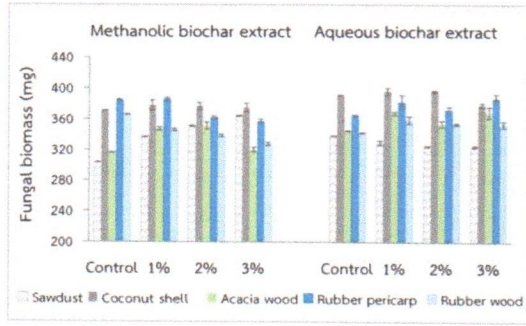


Figure 3 Effects of methanolic and aqueous extracts of biochar on growth of *Aspergillus* sp.

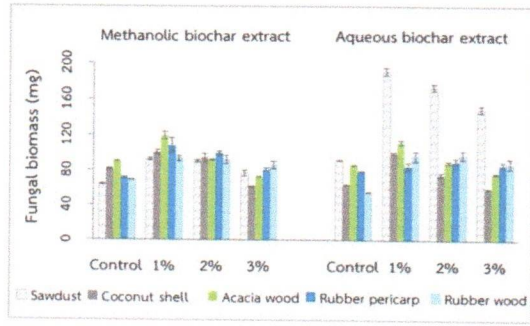


Figure 4 Effects of methanolic and aqueous extracts of biochar on growth of *Penicillium* sp.

จากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่าสารสกัดไบโอชาร์จากไม้ยางพาราที่สกัดด้วยเมทานอล มีผลยับยั้งการเจริญของ *Aspergillus* sp. ได้ดีที่สุด ซึ่งจากการศึกษาองค์ประกอบหลักทางเคมีของไม้ยางพาราโดย Petchpradab et al. พบว่ามีลิกนิน (Lignin) เป็นองค์ประกอบสูงถึง 28 เปอร์เซ็นต์ [17] โดยที่ Lobo et al. ระบุว่าลิกนินจัดเป็นสารไบโอพลีเมอร์ธรรมชาติ (Natural biopolymers) ที่มีคุณสมบัติของการต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial agents) [18] รวมถึงการยับยั้ง *Aspergillus* sp. และราสกุลอื่น ๆ [19] ในขณะที่ผลการยับยั้งการเจริญของ *Penicillium* sp. พบว่าสารสกัดไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวที่สกัดด้วยเมทานอลนั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งจากการศึกษาองค์ประกอบหลักทางเคมีของกะลามะพร้าว พบว่ามีลิกนินเป็นองค์ประกอบหลักที่สูงมากที่สุดคือ 29.4 เปอร์เซ็นต์ [20] โดยที่ Pritha และ Karpagam พบว่าน้ำมันมะพร้าวที่สกัดได้จากกะลามะพร้าวมีกรดลอริก (Lauric acid) ซึ่งจัดเป็นสารออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์หลายชนิด ได้แก่ แบคทีเรีย (*Staphylococcus aureus, Enterococcus faecalis, Escherichia coli, Klebsiella pneumonia, Pseudomonas aeruginosa* และ *Salmonella typhi*) ฟังไจ (*Penicillium,*

Epidermophyton floccosum, Aspergillus niger, Microsporum canis, Candida albicans และ *Aspergillus flavus*) [21] และไวรัส [22]

นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของสารสกัดไบโอชาร์ที่ใช้ในการทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อทดสอบมีผลต่อการลดลงของปริมาณเส้นใยราของเชื้อทดสอบโดยตรง แม้ว่าสารสกัดไบโอชาร์ที่สกัดด้วยเมทานอล จะแสดงให้เห็นว่าสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อทดสอบได้สูงที่สุดที่ระดับความเข้มข้นของ 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แต่ในขณะเดียวกันก็พบว่าสารสกัดไบโอชาร์ที่สกัดด้วยน้ำกลั่นก็มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อทดสอบทั้งสองสายพันธุ์ด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Munawwar et al. [12] ที่รายงานไว้ก่อนหน้านี้ว่าสารสกัดไบโอชาร์จากซังข้าวโพดที่สกัดด้วยน้ำกลั่น มีผลทำให้การเจริญของ *Botrytis cinerea* (เชื้อราที่ก่อโรคในผักผลไม้หลายชนิด) ลดลง 36-67 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Sehar et al. [11] ที่พบว่า สารสกัดไบโอชาร์ด้วยน้ำกลั่นมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราก่อโรค *Botryodiplodia theobromae* สูงกว่าสารสกัดไบโอชาร์ที่สกัดด้วยเมทานอล

4. บทสรุป

จากการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของ *Aspergillus* sp. และ *Penicillium* sp. ของสารสกัดหยาบไบโอชาร์ พบว่าเชื้อทดสอบทั้งสองสายพันธุ์มีความอ่อนไหว (Sensitive) ต่อสารสกัดไบโอชาร์แต่ละชนิดในระดับที่แตกต่างกัน โดยทั้งชนิดของตัวทำละลายและระดับความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้ในการศึกษา พบว่ามีผลต่อเชื้อทดสอบทั้งสองสายพันธุ์โดยตรง ผลการศึกษาครั้งนี้ทำให้เห็นถึงศักยภาพของสารสกัดหยาบไบโอชาร์แต่ละชนิดในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคบางชนิด นอกจากนี้การวิเคราะห์หาสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อราในไบโอชาร์แต่ละชนิดอาจเป็นสิ่งจำเป็นต่อการเพิ่มพูนองค์ความรู้ สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านที่เกี่ยวข้องกับการยับยั้งหรือควบคุมจุลินทรีย์ก่อโรคชนิดอื่น ๆ ต่อไปในอนาคตได้

Table 1 Effects of methanolic and aqueous extracts of biochar on growth of *Aspergillus* sp.

Source of Biochar extract	Growth inhibition (%)					
	Concentrations of methanolic extract			Concentrations of aqueous extract		
	1%	2%	3%	1%	2%	3%
Sawdust	-	-	-	2.71±0.80	2.71±0.32	4.04±0.35
Coconut shell	-	-	-	-	-	3.32±0.61
Acacia wood	-	-	-	-	-	-
Rubber pericarp	-	5.67±0.26	7.00±0.62	-	-	-
Rubber wood	5.51±0.52	7.60±0.46	10.56±0.60	-	-	-

Note: - = No inhibition of *Aspergillus* sp. by biochar extracts

Table 2 Effects of methanolic and aqueous extracts of biochar on growth of *Penicillium* sp.

Source of Biochar extract	Growth inhibition (%)					
	Concentrations of methanolic extract			Concentrations of aqueous extract		
	1%	2%	3%	1%	2%	3%
Sawdust	-	-	-	-	-	-
Coconut shell	-	-	24.31±0.76	-	-	6.61±0.67
Acacia wood	-	-	19.56±0.47	-	-	10.83±0.53
Rubber pericarp	-	-	-	-	-	-
Rubber wood	-	-	-	-	-	-

Note: - = No inhibition of *Penicillium* sp. by biochar extracts

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย รสชาติ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างไบโอชาร์ และขอบคุณสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยนี้

6. References

[1] Tomczyk, A., Sokołowska, Z. and Boguta, P. 2020. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology.** 19: 191-215.

[2] Wijitkosum, S. and Jiwnok, P. 2019. Elemental composition of biochar obtained from agricultural waste for soil amendment and carbon sequestration. **Applied Sciences.** 9: 3980.

[3] Yu, H. and et al. 2019. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. **Journal of Environmental Management.** 232: 8-21.

[4] Yooyen, J., Wijitkosum, S and Sriburi, T. 2015. Increasing yield of soybean by adding biochar. **Journal of Environmental Research and Development.** 9: 1066–1074.

[5] Pituya, P. and Popradit, A. 2017. Development and restoration of sandy soil in the rain-shadow area with bio-charcoal. **VRU Research and Development Journal Science and Technology.** 12(3): 27-38. (*in Thai*)

[6] Farrell, M. and et al. 2013. Microbial utilization of biochar-derived carbon. **Science of the Total Environment.** 465, 288-297.

[7] Wang, G. and et al. 2019. Suppression of phytophthora blight of pepper by biochar amendment is associated with improved soil bacterial properties. **Biology and Fertility of Soils.** 55: 813-824.

[8] Thaenthanee, S. and Daosukho, S. 2016. The survival of agricultural microorganisms in biochar. **Bulletin of Applied Sciences.** 5(5): 89-95. (*in Thai*)

[9] Wang, G. and et al. 2020. Biochar mediated control of phytophthora blight of pepper is closely related to the improvement of the rhizosphere fungal community. **Frontiers in Microbiology.** 11: 1-12.

[10] Shahid, M., Jabeen, K. and Iqbal, S. 2018. Evaluation of antifungal potential of wood biochar against *Fusarium oxysporum* Schlecht. **Journal of Biological Society of Pakistan.** 64(2): 227-232.

[11] Sehar, A. and et al. 2017. Assessment of biochar and compost antifungal potential against *Botryodiplodia theobromae* Pat. **International Journal of Biology and Biotechnology.** 14(4): 585-589.

[12] Munawwar, M., Jabeen, K. and Iqbal, S. 2018. Biochar and compost antifungal activity against *Botrytis cinerea* Pers. Ex Fr. **Bangladesh Journal of Botany.** 47(1): 141-146.

[13] Muangkote, S. and et al. 2017. Effect of roasting temperatures of garlic, shallot and dried chili on antifungal activity of *Aspergillus niger*. **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University.** 19(3): 88-100. (*in Thai*)

[14] Ghuffar, S. and et al. 2021. Studies of *Penicillium* species associated with blue mold disease of grapes and management through plant essential oils as non-hazardous botanical fungicides. **Green Processing and Synthesis.** 10: 21-36.

[15] Habib, W. and et al. 2021. Occurrence and characterization of *Penicillium* species isolated from post-harvest apples in Lebanon. **Toxins.** 13: 730.

[16] Teoh, Y.P., Mashitah, M.D. and Salmiah, U. 2015. Antifungal activities of selected wood-degrading fungi of rubberwood. **Journal of Tropical Forest Science.** 27(3): 325–333.

[17] Petchpradab, P. and et al. 2009. Hydrothermal pretreatment of rubber wood for the saccharification process. **Industrial & Engineering Chemistry Research.** 48: 4587–4591.

[18] Lobo, F.C.M. and et al. 2021. An Overview of the antimicrobial properties of lignocellulosic materials. **Molecules.** 26: 1749.

[19] de Meo, C.M.L. and et al. 2020. Lignin isolated from *Caesalpinia pulcherrima* leaves has antioxidant, antifungal and immunostimulatory activities. **International Journal of Biological Macromolecules.** 162(1): 1725-1733.

[20] Husseinsyah, S. and Mostapha, M. 2011. The effect of filler content on properties of coconut shell filled polyester composites. **Malaysian Polymer Journal.** 6(1): 87-97.

[21] Pritha, S.D.S.J. and Karpagam, S. 2018. Antimicrobial activity of coconut shell oil. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research.** 9(4): 1628-1631.

[22] Dayrit, F.M. 2015. The properties of lauric acid and their significance in coconut oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 92: 15.

SNRU JST
SNRU Journal of Science and Technology
Journal home page: snrujst.snru.ac.th

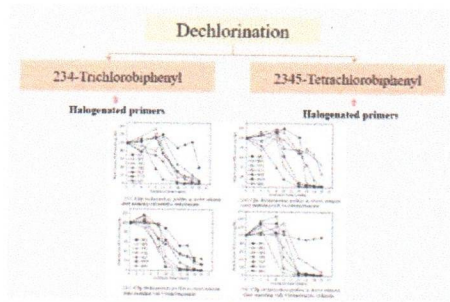
Dechlorination of 234-Trichlorobiphenyl and 2345-Tetrachlorobiphenyl by using halogenated primers

Wichidtra Sudjarid[1], Pita Jarupunphol[2,*]
[1]Department of Environmental Science, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000 Thailand
[2]Department of Information Technology, Phuket Rajabhat University, Phuket, 83000 Thailand
[*]**Corresponding Author**: p.jarupunphol@pkru.ac.th

Received: 12 June 2021; **Revised:** 10 December 2021; **Accepted:** 14 December 2021; **Available online:** 1 January 2022

Abstract

The research aimed to investigate the sustainability of the dechlorination ability of the microbes after long-term cold storage. Polychlorinated biphenyls (PCBs) dechlorinating bacteria were activated and characterised by priming congeners. Sediment slurries (SS) were collected from several streams around the Samut Prakan Province in Thailand. While dechlorination of 234-CBp was persistent, 2345-CBp dechlorination was relatively more active. Halogenated priming congeners, including methyl 4-bromobenzene, 14-dibromobenzene, 4-bromobenzonitrile, and 4-bromobezoic hydrazide, could significantly stimulate the dechlorination of 234-CBp but not 2345-CBp. The identified PCB dechlorinating groups were Firmicutes and Proteobacteria. Halogenated priming congeners could activate dechlorination in Thailand, where PCBs dechlorinating microbes were abundant.



Keywords: Sediment Slurries (SS); Polychlorinated Biphenyls (PCBs); Dechlorination; Halogenated Priming

©2022 Sakon Nakhon Rajabhat University reserved

1. Introduction

Thailand banned Polychlorinated Biphenyls (PCBs) since 1975 and has never imported or exported liquid PCBs until now. The significant sources of PCBs are transformers and capacitors imported and managed by the Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT), the Metropolitan Electricity Authority (MEA), and the Provincial Electricity Authority (PEA) [1]. PCBs are persistent in the environment classified as one of the 12 persistent organic pollutants (POPs). They are continuously released into the environment and primarily enter through water, soil, air, and aquatic lives for several decades. PCBs are too complicated to be oxidised and reduced. Two significant properties of PCBs, including low water solubility and highly lipophilicity, make PCBs easy to adsorb onto sediments. PCBs' lipophilic and persistent nature also contributes to high bioaccumulation potential and biomagnifications of PCBs in higher trophic levels of the food chain [2, 3]. PCBs could be dechlorinated in aerobic and anaerobic conditions, while highly chlorinated congeners could be dechlorinated under anaerobic conditions, and less chlorinated congeners could be oxidatively degraded. Dechlorination rates under an anaerobic environment are slower than in aerobic conditions [4]. In Thailand, Hexachlorobenzene (HCB) could be effectively dechlorinated in the sediments of several natural streams without any culture enrichment or nutrient supplement [5, 6]. In this case, these stream sediments could also be helpful for pure PCBs congeners degradation [7]. From their molecular structures, 234-Trichlorobiphenyl (234-CBps) and 2345-Tetrachlorobiphenyl (2345-CBps) seem to be susceptible to dechlorination since both of them have chlorine atoms in only one phenyl ring [7]. The dechlorination rates of PCBs could be enhanced by adding two-electron properties: 1) electron donors, e.g., volatile fatty acids and organic solvents [8, 9] and 2) electron acceptors, e.g., haloprimers, sulfate, and nitrate [10, 11]. The use of brominated biphenyls to initiate the reductive dechlorination of Aroclor 1260 in Housatonic River sediments has been significantly evidenced [12]. Besides, halogenated benzoates and other halogenated aromatic compounds could also extend the efficiency of PCBs dechlorination [12]. These compounds were used as "priming congeners" in several studies to support the dechlorination of microcosms. These compounds could initiate biphenyls catabolic enzyme as cometabolism of PCBs degradation. Several PCB dechlorinators have been identified under different conditions, environmental factors, stressors, and enrichment cultures.

Based on several studies, differences in PCBs dechlorinators could be detected when they were conducted under different conditions and microbial sources. However, given that environmental factors can vary the experimental results, the sustainability of the dechlorination ability of the microbes after being stored for a long time will be investigated. Besides, using priming congeners to activate and characterise the enrichment of PCBs will be studied in this research.

2. Materials and Methods

This research is based on the following methodological approaches.

Characterisation of sampling sites

Sediments and stream waters were collected from several natural water resources around industrial areas and their vicinity in the Samut Prakan Province of Thailand. Discharges from five PCB-contaminated areas were investigated; *1) Hum Lum Poo Canal (HCB)*, where treated and untreated discharges are obtained from the Bangpoo Industrial Estate and nearby factories, 2) *Bangplee Industrial Estate nearby canal (BP1, BP2)*, where effluent discharges are received from the central wastewater treatment plant of the Bangplee Industrial Estate, comprising several electronic factories that utilise dielectric fluids, 3) *Material Recovery Facilities Factory nearby canal (MF1, MF2)*, where discharges are obtained from small material recovery facilities, which possibly receive PCBs leakage during waste separation and cleaning, 4) *Southern Bangkok Power Plant nearby canal (PWP)*, where a certain amount of used transformers and capacitors were stored and 5) *Bangpakod Canal (BPK),* which has high water quality and is a habitat for many aquatic lives; hence, it served as a control for a less-PCB-contaminated site. Sediments used to determine the dechlorination activity in this study were based on stored processes. The fresh stream water were instantly experimented with after they had been collected. For approximately one year, the stored sediments were contained in a plastic bag under 4 °C.

Preparation of chemicals

All chemicals used in this research were reagent grade ordered from different locations. For example, 234-CBp and 2345-CBp were purchased from AccuStandard, Inc. (USA). Methyl 4-Bromobenzene (4-MBZ), 14-Dibromobezene (14-DBZ), 4-Bromobenzonitrile (4-BN), 4-Bromobezoic Hydrazide (4-BH) were purchased from Sigma Aldrich, Inc. (USA). Stock and standard solutions were prepared in acetone. The solutions were transferred into several 1.50 mL vials, sealed with butyl rubber stoppers and alumina caps, and refrigerated until used. All solvents used were GC grade.

Sediment slurry preparation and incubation

Sediment slurry (SS) was prepared with stored sediment and mixed with fresh stream water at a ratio of 1:1, as suggested by Chen *et al.* [6]. After that, 0.10 mL of each target PCB congener stock solution at 1,000 mg L^{-1} was spiked into the serum bottle to make an initial concentration of 2 mg L^{-1}. Next, halogenated priming congeners were separately amended from the stock solution prepared at 50,000 mg L^{-1} to provide the final level of 75 mg L^{-1}. The final acetone portion in the prepared sediment slurry was lower than 0.50% (v v^{-1}) to prevent any toxicity or potential impact on dechlorination by the amended solvent. The serum bottles were incubated in the dark at room temperature. Non-primer and sterile control sets were also prepared and monitored for comparison.

PCBs extraction and analytical procedures and gas chromatography analysis

All samples were extracted by solvent and ultrasonic extraction (EPA 3550). Application of GC analysis followed the US EPA 8082A method for GC/μECD (quantification) and the EPA 680 method for GC/MS (qualification) and has been described and has been described by Sudjarid *et al.* [7].

Microbial characteristics incubation

Dechlorinating microcosms in sediment slurries were enriched and enumerated using a serial-transfer technique with a suitable medium with 0.50% of yeast extract (20%, v v^{-1}). At the end of the dechlorination sessions of 234- and 2345-CBps by amending halogenated primers, those sediment slurries with superior degradation capability, including the Bangplee Industrial Estate site number 2 (BP2), the South-Bangkok Power Plant (PWP) and Bangpakod Canal (BPK), with separately amended Methyl 4-bromobenzene and 4-Bromobenzonitrile were chosen. The PCR-DGGE and DNA Sequencing were described by Muyzer *et al.* [13] and Altschul *et al.* [14].

3. Results and Discussion

Dechlorination ability by indigenous microbes

The sediment slurries' dechlorination ability from all sites has been tested and separately spiked with 234- and 2345-CBps. The microbial capabilities of both fresh and stored sediment slurries were investigated if their dechlorination abilities could be sustained after long-time storage (one year) without any substrate or nutrient supplement (Table 1). The COD:N:P ratios were 100:4:1 and 100:5:3 for fresh and stored slurries, respectively. The results showed insignificant differences between fresh and stored sediment slurries, implying that existing nutrients were sufficient for microbial activities [15]. Based on the investigation of 234-CBp dechlorination using fresh SS along Hua Lam Poo Canal, the initiative dechlorination occurred after eight weeks. When intermediate products began, the dechlorination could be completed within weeks 2 to 14 as described by Sudjarid *et al.* [7].

Unfortunately, 234-CBp dechlorination cannot be initiated under stored SS by natural microbes, but indigenous microbes from the Bangplakod site are still active (Fig. 1). The consequence of simulated tempered climate in sediment could retard the degradation of

Table 1 Sediment slurry characterizations.

Sampling Sites		COD	Phosphorus	TKN	SS	VSS
Bangplee Industrial Estate	Site 1 (BP1)	9,350	50	520	152,630	10,800
		(11,034)	(305)	(933)	(740,760)	(17,400)
	Site 2 (BP2)	12,750	100	780	125,750	11,650
		(19,862)	(540)	(1,053)	(751,210)	(18,765)
Small Material Recovery Facilities	Site 1 (MF1)	15,130	90	1,020	100,770	8,650
		(19,310)	(241)	(547)	(800,680)	(14,760)
	Site 2 (MF2)	36,160	90	400	144,320	8,560
		(24,828)	(179)	(1,107)	(858,910)	(12,985)
Hua Lum Poo Canal (HLP)		23,040	320	930	94,950	14,700
		(25,379)	(270)	(827)	(894,425)	(14,735)
South-Bangkok Power Plant (PWP)		13,480	200	1,580	205,990	12,100
		(13,241)	(229)	(747)	(858,910)	(13,620)
Bangplakod Canal (BPK)		12,480	40	640	188,050	19,850
		(11,030)	(72)	(427)	(741,450)	(17,350)

Note: all units are mg L^{-1}; in parenthesis were storage conditions.

234- CBp, even though fresh canal water could not be revived. These results represent that the PCBs dechlorinating microbes were prevalent, whether it was a high or low polluted site. Moreover, some notice that the indigenous microbes from the HLP site lost their degradation abilities after a long-term period of non-receiving xenobiotic pollutants. This outcome indicates that the dechlorination ability in the fresh SS was more effective than the stored SS despite insignificant differences in the basic parameters. The results also imply that the dechlorination activity of PCB-dechlorinating might decrease if they did not receive external xenobiotic compounds, carbon, or nutrient sources continuously.

In terms of 2345-CBps, all sites other than HLP sediment slurry sets are still feasible to be dechlorinated (Fig. 2). The dechlorination could occur after the 8^{th} – 20^{th} week. The results showed that 2345-CBp could be degraded more efficiently than 234-CBp. This reaction might be due to the reaction heat (ΔH_f) and/or Δln RRT of 2345-CBp to 235- and 245-CBp (–14.74, –14.82/0.55, 0.52) higher than 234-CBp to 24-CBp (–14.11/0.51) [16]. The results were significantly different from those in [16], who found that 234- and 2345-CBps did not dechlorinate from the indigenous microbes of the Ho-Tsin River, Kaohsiung, Taiwan, within 20 weeks of inoculation. The tropical climate and native microbes were hypothesised as two key factors causing different results. In this case, this study showed that the environmental conditions and/or native microorganisms in Thailand could degrade HCB or simple PCB congeners by using fresh sediments and compounds [5 – 7].

Dechlorination ability by amending halogenated primers

The PCBs dechlorination ability could not be sustained after long-term cold-stored sediment from the previous scenario. However, there are some plausible applications to stimulate PCB dechlorinating microbes and, therefore, accelerate the production of dehalogenating enzymes. This process might be preceded by introducing alternative halogenated electron acceptors/co-substrates to the dechlorination test. Four kinds of priming congeners were separately applied, including methyl 4-bromobenzene (4-MBZ), 14-dibromobenzene (14-DBZ), 4-bromobenzonitrile (4-BN), and 4-bromobenzoic hydrazide (4BH). Dechlorination of 234-CBp by amending methyl 4-bromobenzene is illustrated in Fig. 3. It can be noticed that the dechlorination began in the first stage after the 6^{th} week, and dechlorination could be completed within the 12^{th} week in the BP2, HLP and PWP sites and a second stage after the 14^{th} week.

The dechlorination of application of 14-dibromobezene was also found from 8 to 14 weeks and could be completed within the 20^{th} week in BP1 and 2, HLP, and PWP, but other sites remained (Fig. 4). It is interesting to note that the amendment of 4-bromobenzonitrile could effectively enhance dechlorination beginning after the 10^{th} week and completed within the 20^{th} week, excluding BP1 and BPK sediments (Fig. 5). However, the amendment of 4-bromobenzoic hydrazide could be activated at all sites of SS, except the BP1 and HLP sites (Fig. 6). These results revealed that the consortium from the HLP site could be effectively initiated and dechlorinated again after losing their capability, except amendment with 4-bromobenzoic hydrazide. The amendment of 4-bromobenzoic hydrazide, which provides both the bromo-isomer and hydrazide group, did not activate the 234-CBp dechlorination in the HLP and BP1 sediment.

The results showed that: 1) the microbes lost ability after non-receiving pollutants and initiative congeners were required; 2) the amendment of 4-bromobenzonitrile was favourable in all investigation sites; 3) the dechlorination ability could be improved by adding priming congeners regardless of the sample site areas. In contrast, the dechlorination initiation was not observable in the non-priming amended set, excluding the Bangplakod site. This finding suggested that the dechlorination initiation might be required for the abandoned, contaminated site, which has not continuously received aromatic and/or xenobiotic compounds for an extended period. Another remarkable aspect was discovered in a less-contaminating

area, the Bangplakod Canal, but the dechlorination ability was helpful compared to other sites. This is consistent with [12], who suggested that halogenated primers could initiate the dechlorination of PCBs even without structural analogues to PCBs. The initiative of microorganism capability, as such, is an alternative and plausible technique to clean up a long-term PCB-contaminated site with low energy released compounds. In contrast to 234-CBp dechlorination, the degradation of 2345-CBp could be activated by using indigenous microbes, excluding HLP.

The amendment of methyl 4-bromobenzene (Fig. 7), 14-dibromobezene (Fig. 8), 4-bromobenzonitrile (Fig. 9), and 4-bromobenzoic hydrazide (Fig. 10) significantly improved the dechlorination of the MF1 and MF2 and HLP sites but not 4-bromobenzoic hydrazide, which was not favourable to HLP sediments. This finding suggests that the sediment, which has been profoundly and continuously receiving the pollutants, might lose its degradation capability and be recovered by chemical stimulation. The priming compounds could reduce

bromine substituent and could not accelerate the dechlorination of PCBs in the cold storage sediments, except MF1, MF2 and HLP sites. While the priming compounds could enrich microorganisms utilising halobiphenyls as electron acceptors [12], the absence of dechlorination discovered in this article might be driven by inactive microorganisms, i.e., dechlorinators or support groups. Inactive PCBs dechlorinators were initiated instead of adding enriching microorganisms in these sites. The dechlorination intermediate products were varied depending upon the prevalence of co-existing consortia under natural conditions.

The abundance of PCB dechlorinators and their characterisation

This session began after the dechlorination process had completed and enriched cultures by using a serial transfer technique to characterise and identify the dynamic PCBs dechlorinators in the sampling sites. Fifteen helpful inoculating cultures were selected in the criteria of the short lag phase. Dechlorination completion time spiked with 234-CBps or 2345-CBp identified by the PCBs dechlorinating microbes. The sampling sites and priming congeners were selected from

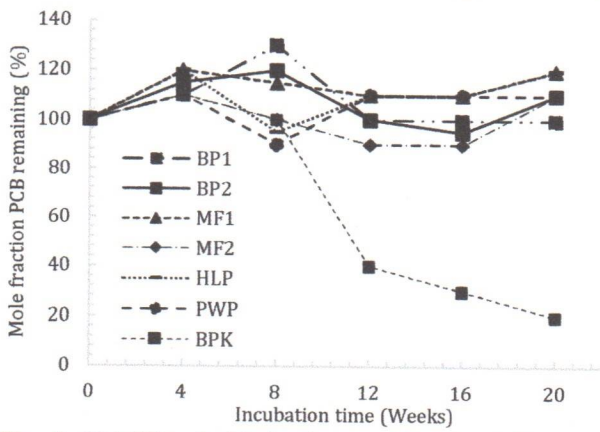


Fig. 1 234-CBp dechlorination profiles by indigenous microbes under stored sediments condition.

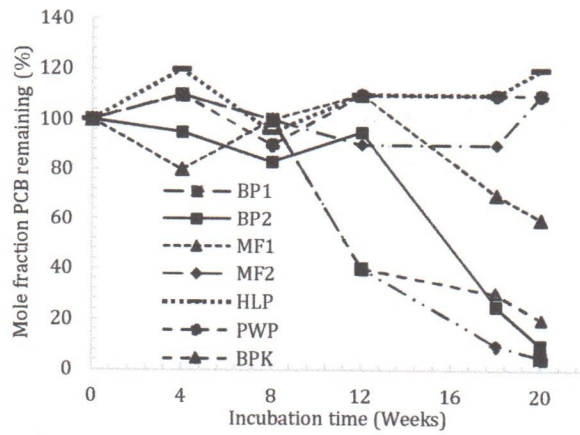


Fig. 2 2345-CBp dechlorination profiles by indigenous microbes under stored sediments condition.

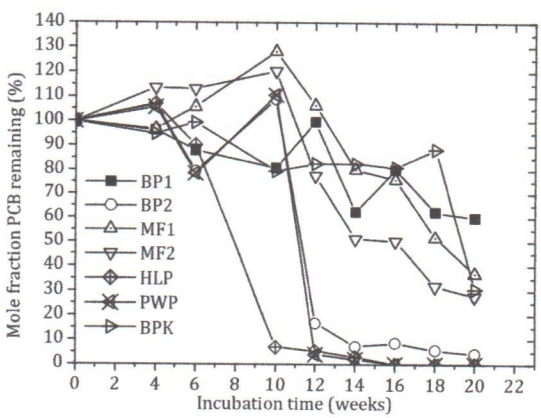


Fig. 3 234-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with methyl 4-bromobenzene.

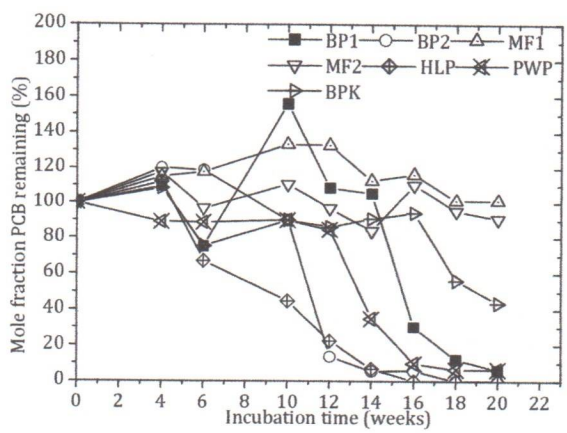


Fig. 4 234-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with 14-dibromobenzene.

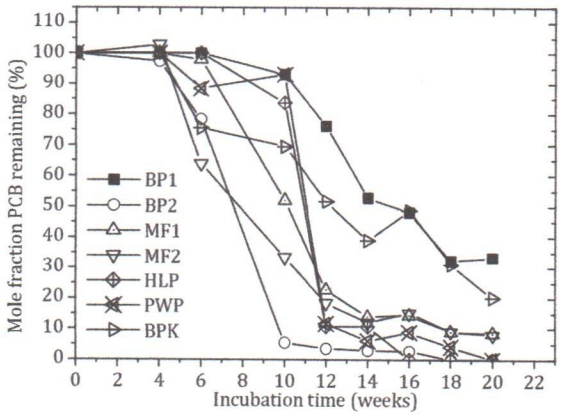


Fig. 5 234-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with 4-bromobenzonitrile.

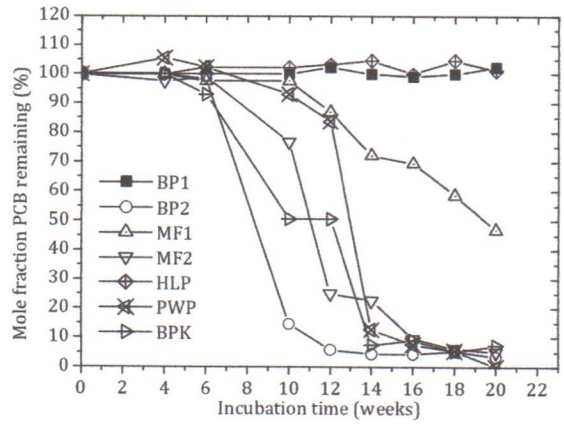


Fig. 6 234-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with 4-bromobenzoic hydrazide.

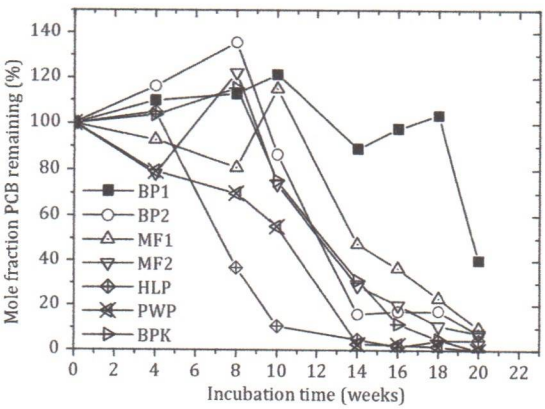


Fig. 7 2345-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with methyl 4- bromobenzene.

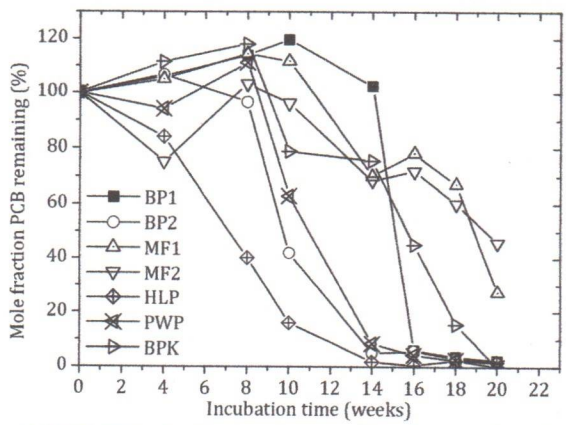


Fig. 8 2345-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with 14-dibromobenzene.

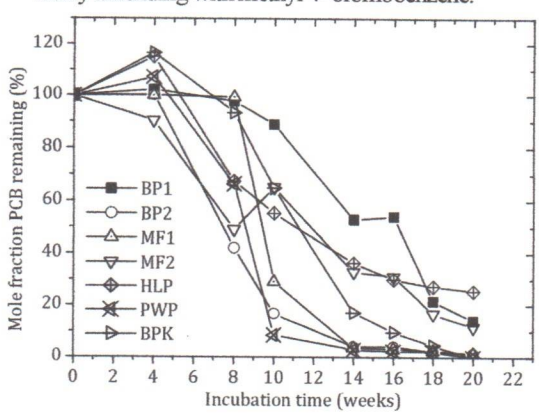


Fig. 9 2345-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with 4-bromobenzonitrile.

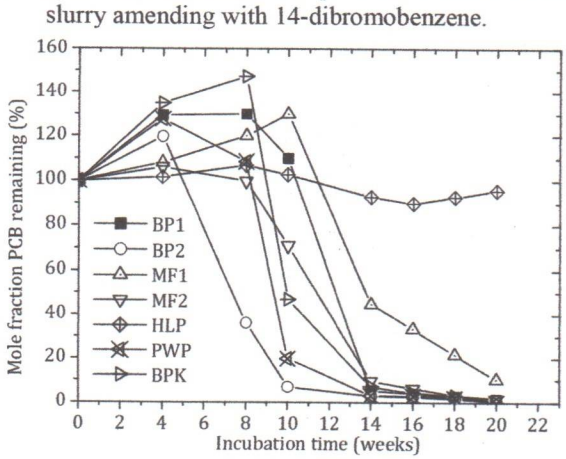


Fig. 10 2345-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with 4-bromobenzoic hydrazide.

Note: Hum Lum Poo Canal (HLP), Bangplee Industrial Estate (BP1, BP2), Material recovery facilities (MF1, MF2), South-Bangkok Power Plant (PWP), Bangpakod Canal (BPK)

the BP2, PWP and BPK, separately amended with 4-bromobezoic hydrazide and 4-bromobenzonitrile from PCBs dechlorination amending halogenated primers.

Table 2 represents the phylogenic analysis of DGGE bands. The sediments treated with 2345-CBps could provide the same group of dechlorinating microbes rather than those amended with halogenated compounds. The predominant bands were considered the closest relative of the uncultured bacterium of PCBs dechlorination in river sediment and *Pseudomonas putida*. Uncultured bacterium related to PCBs dechlorinating bacterial communities in river sediment was still discovered. These results were

supported by Yoshida *et al.* [17], who claimed that *Firmicutes* and *Proteobacteria* played a crucial role in reductively dechlorinating microbes. Based on 234- and 2345-CBps treatments, the band of dechlorinators, were trended to be similar to the group of PCB congeners spiking rather than the sampling sites or priming congeners.

Moreover, the South Bangkok Power plant sediment treated with 2345-CBps could discover the *Pseudomonas putida*, which diverse metabolism exploited for bioremediation of aromatic compounds in contaminated soil. PCB-dechlorinating microbes in a less contaminated sediment Bangplakod Canal could also be evidenced. However, this study did not detect the halobiphenyls, which contains PCB-dechlorinating strain. In this case, specific primers to increase the sensitivity of PCR and cloning samples might be required. Please note that the halogenating consortiums could also improve the dechlorination of polychlorinated biphenyls.

Table 2 Phylogenic analysis of DGGE bands.

Closest relative	Accession number	% Identity	Phylum/ Class
Uncultured *Anaerobranca* sp. clone SRB2	DQ069229	94	*Firmicutes*
Uncultured gamma proteobacterium clone Aerocomp_NB39 16S ribosomal	FJ754851	90	*Proteobacteria*
Uncultured bacterium clone AR018 16S ribosomal RNA gene, PCB dechlorinating bacterial communities in river sediment	GQ860186	98	*Proteobacteria*
Uncultured bacterium partial 16S rRNA gene	AJ621948	94	*Firmicutes*
Uncultured Firmicutes bacterium clone Z273MB13 16S ribosomal RNA gene	FJ484645	100	*Firmicutes*
Uncultured bacterium clone 3-2 16S ribosomal RNA gene	GQ324229	94	*Proteobacteria*
Uncultured gamma proteobacterium clone Aerocomp_NB39 16S ribosomal RNA gene	FJ754851	94	*Proteobacteria*
Uncultured bacterium clone Z552 16S ribosomal RNA gene	AY979304	92	*Firmicutes*
Uncultured bacterium clone AR062 16S ribosomal RNA gene, PCB dechlorinating bacterial communities in river sediment	GQ860277	96	*Proteobacteria*

Note: DNA bands quoted from BP2, PWP and BPK, separately amended with 4-bromobezoic hydrazide and 4-bromobenzonitrile

4. Conclusion

This article identified significant groups of PCBs dechlorinating microbes in Thailand. The cold temperature could reduce the microbial dechlorination capacity on PCBs. While the stored sediment under cold temperature could retard the dechlorination of 234-CBp, it is not applicable for the Bangplakod site. In the meantime, the dechlorination of 2345-CBp was active but not on the HLP site. The dechlorination capacity of the microbes on 234-CBp could be activated by adding appropriate halogenated primers. The priming congeners could improve the dechlorination of 234-CBps in stored sediment, except the HLP amended with 4-bromobenzoic hydrazide. Appropriate halogenated primers and concentrations must be selected to enhance the dichlorination ability.

This article represented that the dechlorinators were abundant in Thailand, where sediments, Firmicutes, and Proteobacteria were major dechlorinators. Moreover, inactive biodegradable chemicals associated with contaminated chemicals can be activated again after non-receiving pollutants, disturbing the limitation of natural resources. This article also illustrated that stored sediment could dechlorinate the 2345-CBp, but not from the HLP, MF1 and MF2 sites. Finally, given that environmental factors can vary the experimental results, the article confirmed that indigenous microbes can also be activated by halogenated primers in Thailand and contributed to the frontier experiment in the country. In other words, this article represented that biodegradable chemicals associated with toxic chemicals could initiate dechlorination again and that the tropical climate in Thailand is suitable to degrade PCBs.

5. References

[1] PCBs preliminary inventory: Enabling Activities for Development of National Plan for Implementation of the Stockholm Convention on POPs in Thailand, http:// pcd.go.th/haz/POPs_PCBs.pdf, 8 July 2005.

[2] B.C. Gomes, M.A.T. Adorno, D.Y. Okada, T.P. Delforno, P.C.F. Lima Gomes, I.K. Sakamoto, M.B.A. Varesche, Analysis of a microbial community associated with polychlorinated biphenyl degradation in anaerobic batch reactors, Biodegradation. 25 (2014) 797 – 810.

[3] G.M. Quero, D. Cassin, M. Botter, L. Perini, G.M. Luna, Patterns of benthic bacterial diversity in coastal areas contaminated by heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs), Front. Microbiol. 6 (2015) 1053 – 1068.

[4] D.A. Abramowicz, Aerobic and anaerobic PCB biodegradation in the environment, Environ. Health Perspect. 103 (1994) 97 – 99.

[5] J. Anotai, J.M. Chyan, W. Sudjarid, W. Wanitchapichat, I.M. Chen, Hexachlorobenzene dechlorination by

enriched mixed cultures from Thai canal, Fresenius Environ. Bull. 19 (2010) 469 – 473.

[6] I.M. Chen, W. Wanitchapichat, T. Jirakittayakorn, S. Sanohniti, W. Sudjarid, C. Wantawin, J. Voranisarakul, J. Anotai, Hexachlorobenzene dechlorination by indigenous sediment microorganisms, J. Hazard. Mater. 177(1 – 3) (2010) 244 – 50.

[7] W. Sudjarid, I.M. Chen, W. Monkong, J. Anotai, Reductive dechlorination of 2, 3, 4-chlorobiphenyl by biostimulation and bioaugmentation, Environ. Eng. Sci. 29 (2012) 255 – 261.

[8] L.F. Nies, T.M. Vogel, Effects of organic substrates on dechlorination of aroclor 1242 in anaerobic sediments, Appl. Environ. Microbiol. 26 (1990) 2612 – 2617.

[9] V. Krumins, J.W. Park, E.K. Son, L.A. Rodenburg, L.J. Kerkhof, M.M. Haggblom, D.E. Fennell, PCB dechlorination enhancement in Anacostia River sediment microcosms, Water Res. 43 (2009) 4549 – 4558.

[10] J. Wiegel, Q. Wu, Microbial reductive dehalogenation of polychlorinated biphenyls, FEMS Microbiol. Ecol. 32 (2000) 1 – 15.

[11] D.L. Bédard, H. Van Dort, K.A. Deweerd, Brominated Biphenyls Prime Extensive Microbial Reductive Dehalogenation of Aroclor 1260 in Housatonic River Sediment, Appl. Environ. Microbiol. 373 (1998) 1786 – 95.

[12] K.A. DeWeerd, D.L. Bédard, Use of Halogenated Benzoates and Other Halogenated Aromatic Compounds to Stimulate the Microbial Dechlorination of PCBs, Environ. Sci. Technol. 33 (1999) 2057 – 2063.

[13] G. Muyzer, E.C. de Waal, A.G. Uitterlinden, Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA, Appl. Environ. Microbiol. 53 (1993) 695 – 700.

[14] S.F. Altschul, W. Gish, W. Miller, E.W. Myers, D.J. Lipman, Basic local alignment search tool, J. Mol. Biol. 215 (1990) 403 – 410.

[15] G. Tchobanoglous, F.L. Burton, E. Metcalf, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse; McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering, The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, 1991.

[16] I.M. Chen, F.C. Chang, Y.S. Wang, Correlation of gas chromatographic properties of chlorobenzenes and polychlorinated biphenyls with the occurrence of reductive dechlorination by untamed microorganisms, Chemosphere. 45 (2001) 223 – 229.

[17] N. Yoshida, N. Takahashi, A. Hiraishi, Phylogenetic characterisation of a polychlorinated-dioxin-dechlorinating microbial community by use of microcosm studies, Appl. Environ. Microbiol. 71 (2005) 4325 – 4334.

Sci2.3-39

SNRU Journal of Science and Technology 14(1) January – April (2022) 12 – 18

SNRU JST

SNRU Journal of Science and Technology

Journal home page: snrujst.snru.ac.th

Dechlorination of 234-Trichlorobiphenyl and 2345-Tetrachlorobiphenyl by using halogenated primers

Wichidtra Sudjarid[1], Pita Jarupunphol[2,*]

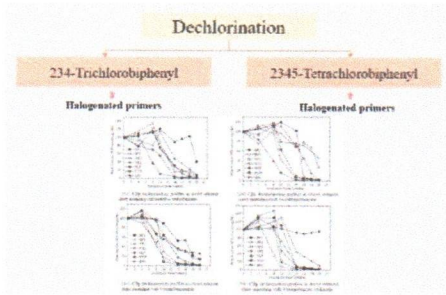
[1]Department of Environmental Science, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000 Thailand

[2]Department of Information Technology, Phuket Rajabhat University, Phuket, 83000 Thailand

[*]**Corresponding Author**: p.jarupunphol@pkru.ac.th

Received: 12 June 2021; **Revised:** 10 December 2021; **Accepted:** 14 December 2021; **Available online:** 1 January 2022

Abstract



The research aimed to investigate the sustainability of the dechlorination ability of the microbes after long-term cold storage. Polychlorinated biphenyls (PCBs) dechlorinating bacteria were activated and characterised by priming congeners. Sediment slurries (SS) were collected from several streams around the Samut Prakan Province in Thailand. While dechlorination of 234-CBp was persistent, 2345-CBp dechlorination was relatively more active. Halogenated priming congeners, including methyl 4-bromobenzene, 14-dibromobenzene, 4-bromobenzonitrile, and 4-bromobezoic hydrazide, could significantly stimulate the dechlorination of 234-CBp but not 2345-CBp. The identified PCB dechlorinating groups were Firmicutes and Proteobacteria. Halogenated priming congeners could activate dechlorination in Thailand, where PCBs dechlorinating microbes were abundant.

Keywords: Sediment Slurries (SS); Polychlorinated Biphenyls (PCBs); Dechlorination; Halogenated Priming

©2022 Sakon Nakhon Rajabhat University reserved

1. Introduction

Thailand banned Polychlorinated Biphenyls (PCBs) since 1975 and has never imported or exported liquid PCBs until now. The significant sources of PCBs are transformers and capacitors imported and managed by the Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT), the Metropolitan Electricity Authority (MEA), and the Provincial Electricity Authority (PEA) [1]. PCBs are persistent in the environment classified as one of the 12 persistent organic pollutants (POPs). They are continuously released into the environment and primarily enter through water, soil, air, and aquatic lives for several decades. PCBs are too complicated to be oxidised and reduced. Two significant properties of PCBs, including low water solubility and highly lipophilicity, make PCBs easy to adsorb onto sediments. PCBs' lipophilic and persistent nature also contributes to high bioaccumulation potential and biomagnifications of PCBs in higher trophic levels of the food chain [2, 3]. PCBs could be dechlorinated in aerobic and anaerobic conditions, while highly chlorinated congeners could be dechlorinated under anaerobic conditions, and less chlorinated congeners could be oxidatively degraded. Dechlorination rates under an anaerobic environment are slower than in aerobic conditions [4]. In Thailand, Hexachlorobenzene (HCB) could be effectively dechlorinated in the sediments of several natural streams without any culture enrichment or nutrient supplement [5, 6]. In this case, these stream sediments could also be helpful for pure PCBs congeners degradation [7]. From their molecular structures, 234-Trichlorobiphenyl (234-CBps) and 2345-Tetrachlorobiphenyl (2345-CBps) seem to be susceptible to dechlorination since both of them have chlorine atoms in only one phenyl ring [7]. The dechlorination rates of PCBs could be enhanced by adding two-electron properties: 1) electron donors, e.g., volatile fatty acids and organic solvents [8, 9] and 2) electron acceptors, e.g., haloprimers, sulfate, and nitrate [10, 11]. The use of brominated biphenyls to initiate the reductive dechlorination of Aroclor 1260 in Housatonic River sediments has been significantly evidenced [12]. Besides, halogenated benzoates and other halogenated aromatic compounds could also extend the efficiency of PCBs dechlorination [12]. These compounds were used as "priming congeners" in several studies to support the dechlorination of microcosms. These compounds could initiate biphenyls catabolic enzyme as cometabolism of PCBs degradation. Several PCB dechlorinators have been identified under different conditions, environmental factors, stressors, and enrichment cultures.

Based on several studies, differences in PCBs dechlorinators could be detected when they were conducted under different conditions and microbial sources. However, given that environmental factors can vary the experimental results, the sustainability of the dechlorination ability of the microbes after being stored for a long time will be investigated. Besides, using priming congeners to activate and characterise the enrichment of PCBs will be studied in this research.

2. Materials and Methods

This research is based on the following methodological approaches.

Characterisation of sampling sites

Sediments and stream waters were collected from several natural water resources around industrial areas and their vicinity in the Samut Prakan Province of Thailand. Discharges from five PCB-contaminated areas were investigated; *1) Hum Lum Poo Canal (HCB)*, where treated and untreated discharges are obtained from the Bangpoo Industrial Estate and nearby factories, 2) *Bangplee Industrial Estate nearby canal (BP1, BP2)*, where effluent discharges are received from the central wastewater treatment plant of the Bangplee Industrial Estate, comprising several electronic factories that utilise dielectric fluids, 3) *Material Recovery Facilities Factory nearby canal (MF1, MF2)*, where discharges are obtained from small material recovery facilities, which possibly receive PCBs leakage during waste separation and cleaning, 4) *Southern Bangkok Power Plant nearby canal (PWP)*, where a certain amount of used transformers and capacitors were stored and 5) *Bangpakod Canal (BPK),* which has high water quality and is a habitat for many aquatic lives; hence, it served as a control for a less-PCB-contaminated site. Sediments used to determine the dechlorination activity in this study were based on stored processes. The fresh stream water were instantly experimented with after they had been collected. For approximately one year, the stored sediments were contained in a plastic bag under 4 °C.

Preparation of chemicals

All chemicals used in this research were reagent grade ordered from different locations. For example, 234-CBp and 2345-CBp were purchased from AccuStandard, Inc. (USA). Methyl 4-Bromobenzene (4-MBZ), 14-Dibromobezene (14-DBZ), 4-Bromobenzonitrile (4-BN), 4-Bromobezoic Hydrazide (4-BH) were purchased from Sigma Aldrich, Inc. (USA). Stock and standard solutions were prepared in acetone. The solutions were transferred into several 1.50 mL vials, sealed with butyl rubber stoppers and alumina caps, and refrigerated until used. All solvents used were GC grade.

Sediment slurry preparation and incubation

Sediment slurry (SS) was prepared with stored sediment and mixed with fresh stream water at a ratio of 1:1, as suggested by Chen *et al.* [6]. After that, 0.10 mL of each target PCB congener stock solution at 1,000 mg L^{-1} was spiked into the serum bottle to make an initial concentration of 2 mg L^{-1}. Next, halogenated priming congeners were separately amended from the stock solution prepared at 50,000 mg L^{-1} to provide the final level of 75 mg L^{-1}. The final acetone portion in the prepared sediment slurry was lower than 0.50% (v v^{-1}) to prevent any toxicity or potential impact on dechlorination by the amended solvent. The serum bottles were incubated in the dark at room temperature. Non-primer and sterile control sets were also prepared and monitored for comparison.

PCBs extraction and analytical procedures and gas chromatography analysis

All samples were extracted by solvent and ultrasonic extraction (EPA 3550). Application of GC analysis followed the US EPA 8082A method for GC/μECD (quantification) and the EPA 680 method for GC/MS (qualification) and has been described and has been described by Sudjarid *et al.* [7].

Microbial characteristics incubation

Dechlorinating microcosms in sediment slurries were enriched and enumerated using a serial-transfer technique with a suitable medium with 0.50% of yeast extract (20%, v v^{-1}). At the end of the dechlorination sessions of 234- and 2345-CBps by amending halogenated primers, those sediment slurries with superior degradation capability, including the Bangplee Industrial Estate site number 2 (BP2), the South-Bangkok Power Plant (PWP) and Bangpakod Canal (BPK), with separately amended Methyl 4-bromobenzene and 4-Bromobenzonitrile were chosen. The PCR-DGGE and DNA Sequencing were described by Muyzer *et al.* [13] and Altschul *et al.* [14].

3. Results and Discussion

Dechlorination ability by indigenous microbes

The sediment slurries' dechlorination ability from all sites has been tested and separately spiked with 234- and 2345-CBps. The microbial capabilities of both fresh and stored sediment slurries were investigated if their dechlorination abilities could be sustained after long-time storage (one year) without any substrate or nutrient supplement (Table 1). The COD:N:P ratios were 100:4:1 and 100:5:3 for fresh and stored slurries, respectively. The results showed insignificant differences between fresh and stored sediment slurries, implying that existing nutrients were sufficient for microbial activities [15]. Based on the investigation of 234-CBp dechlorination using fresh SS along Hua Lam Poo Canal, the initiative dechlorination occurred after eight weeks. When intermediate products began, the dechlorination could be completed within weeks 2 to 14 as described by Sudjarid *et al.* [7].

Unfortunately, 234-CBp dechlorination cannot be initiated under stored SS by natural microbes, but indigenous microbes from the Bangplakod site are still active (Fig. 1). The consequence of simulated tempered climate in sediment could retard the degradation of

Table 1 Sediment slurry characterizations.

Sampling Sites		COD	Phosphorus	TKN	SS	VSS
Bangplee Industrial Estate	Site 1 (BP1)	9,350	50	520	152,630	10,800
		(11,034)	(305)	(933)	(740,760)	(17,400)
	Site 2 (BP2)	12,750	100	780	125,750	11,650
		(19,862)	(540)	(1,053)	(751,210)	(18,765)
Small Material Recovery Facilities	Site 1 (MF1)	15,130	90	1,020	100,770	8,650
		(19,310)	(241)	(547)	(800,680)	(14,760)
	Site 2 (MF2)	36,160	90	400	144,320	8,560
		(24,828)	(179)	(1,107)	(858,910)	(12,985)
Hua Lum Poo Canal (HLP)		23,040	320	930	94,950	14,700
		(25,379)	(270)	(827)	(894,425)	(14,735)
South-Bangkok Power Plant (PWP)		13,480	200	1,580	205,990	12,100
		(13,241)	(229)	(747)	(858,910)	(13,620)
Bangplakod Canal (BPK)		12,480	40	640	188,050	19,850
		(11,030)	(72)	(427)	(741,450)	(17,350)

Note: all units are mg L^{-1}; in parenthesis were storage conditions.

234- CBp, even though fresh canal water could not be revived. These results represent that the PCBs dechlorinating microbes were prevalent, whether it was a high or low polluted site. Moreover, some notice that the indigenous microbes from the HLP site lost their degradation abilities after a long-term period of non-receiving xenobiotic pollutants. This outcome indicates that the dechlorination ability in the fresh SS was more effective than the stored SS despite insignificant differences in the basic parameters. The results also imply that the dechlorination activity of PCB-dechlorinating might decrease if they did not receive external xenobiotic compounds, carbon, or nutrient sources continuously.

In terms of 2345-CBps, all sites other than HLP sediment slurry sets are still feasible to be dechlorinated (Fig. 2). The dechlorination could occur after the 8^{th} – 20^{th} week. The results showed that 2345-CBp could be degraded more efficiently than 234-CBp. This reaction might be due to the reaction heat (ΔH_f) and/or Δln RRT of 2345-CBp to 235- and 245-CBp (–14.74, –14.82/0.55, 0.52) higher than 234-CBp to 24-CBp (–14.11/0.51) [16]. The results were significantly different from those in [16], who found that 234- and 2345-CBps did not dechlorinate from the indigenous microbes of the Ho-Tsin River, Kaohsiung, Taiwan, within 20 weeks of inoculation. The tropical climate and native microbes were hypothesised as two key factors causing different results. In this case, this study showed that the environmental conditions and/or native microorganisms in Thailand could degrade HCB or simple PCB congeners by using fresh sediments and compounds [5 – 7].

Dechlorination ability by amending halogenated primers

The PCBs dechlorination ability could not be sustained after long-term cold-stored sediment from the previous scenario. However, there are some plausible applications to stimulate PCB dechlorinating microbes and, therefore, accelerate the production of dehalogenating enzymes. This process might be preceded by introducing alternative halogenated electron acceptors/co-substrates to the dechlorination test. Four kinds of priming congeners were separately applied, including methyl 4-bromobenzene (4-MBZ), 14-dibromobenzene (14-DBZ), 4-bromobenzonitrile (4-BN), and 4-bromobenzoic hydrazide (4BH). Dechlorination of 234-CBp by amending methyl 4-bromobenzene is illustrated in Fig. 3. It can be noticed that the dechlorination began in the first stage after the 6^{th} week, and dechlorination could be completed within the 12^{th} week in the BP2, HLP and PWP sites and a second stage after the 14^{th} week.

The dechlorination of application of 14-dibromobezene was also found from 8 to 14 weeks and could be completed within the 20^{th} week in BP1 and 2, HLP, and PWP, but other sites remained (Fig. 4). It is interesting to note that the amendment of 4-bromobenzonitrile could effectively enhance dechlorination beginning after the 10^{th} week and completed within the 20^{th} week, excluding BP1 and BPK sediments (Fig. 5). However, the amendment of 4-bromobenzoic hydrazide could be activated at all sites of SS, except the BP1 and HLP sites (Fig. 6). These results revealed that the consortium from the HLP site could be effectively initiated and dechlorinated again after losing their capability, except amendment with 4-bromobenzoic hydrazide. The amendment of 4-bromobenzoic hydrazide, which provides both the bromo-isomer and hydrazide group, did not activate the 234-CBp dechlorination in the HLP and BP1 sediment.

The results showed that: 1) the microbes lost ability after non-receiving pollutants and initiative congeners were required; 2) the amendment of 4-bromobenzonitrile was favourable in all investigation sites; 3) the dechlorination ability could be improved by adding priming congeners regardless of the sample site areas. In contrast, the dechlorination initiation was not observable in the non-priming amended set, excluding the Bangplakod site. This finding suggested that the dechlorination initiation might be required for the abandoned, contaminated site, which has not continuously received aromatic and/or xenobiotic compounds for an extended period. Another remarkable aspect was discovered in a less-contaminating

area, the Bangplakod Canal, but the dechlorination ability was helpful compared to other sites. This is consistent with [12], who suggested that halogenated primers could initiate the dechlorination of PCBs even without structural analogues to PCBs. The initiative of microorganism capability, as such, is an alternative and plausible technique to clean up a long-term PCB-contaminated site with low energy released compounds. In contrast to 234-CBp dechlorination, the degradation of 2345-CBp could be activated by using indigenous microbes, excluding HLP.

The amendment of methyl 4-bromobenzene (Fig. 7), 14-dibromobezene (Fig. 8), 4-bromobenzonitrile (Fig. 9), and 4-bromobenzoic hydrazide (Fig. 10) significantly improved the dechlorination of the MF1 and MF2 and HLP sites but not 4-bromobenzoic hydrazide, which was not favourable to HLP sediments. This finding suggests that the sediment, which has been profoundly and continuously receiving the pollutants, might lose its degradation capability and be recovered by chemical stimulation. The priming compounds could reduce

bromine substituent and could not accelerate the dechlorination of PCBs in the cold storage sediments, except MF1, MF2 and HLP sites. While the priming compounds could enrich microorganisms utilising halobiphenyls as electron acceptors [12], the absence of dechlorination discovered in this article might be driven by inactive microorganisms, i.e., dechlorinators or support groups. Inactive PCBs dechlorinators were initiated instead of adding enriching microorganisms in these sites. The dechlorination intermediate products were varied depending upon the prevalence of co-existing consortia under natural conditions.

The abundance of PCB dechlorinators and their characterisation

This session began after the dechlorination process had completed and enriched cultures by using a serial transfer technique to characterise and identify the dynamic PCBs dechlorinators in the sampling sites. Fifteen helpful inoculating cultures were selected in the criteria of the short lag phase. Dechlorination completion time spiked with 234-CBps or 2345-CBp identified by the PCBs dechlorinating microbes. The sampling sites and priming congeners were selected from

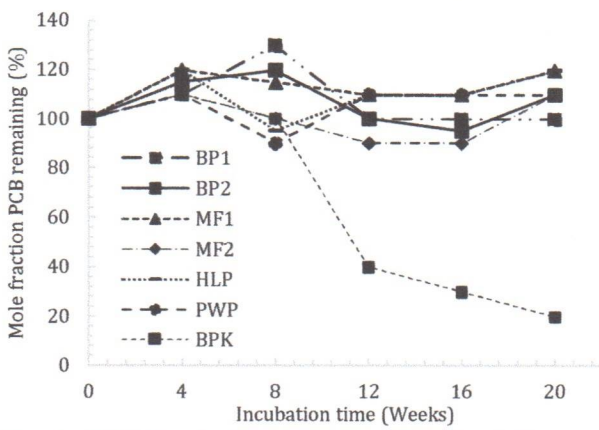


Fig. 1 234-CBp dechlorination profiles by indigenous microbes under stored sediments condition.

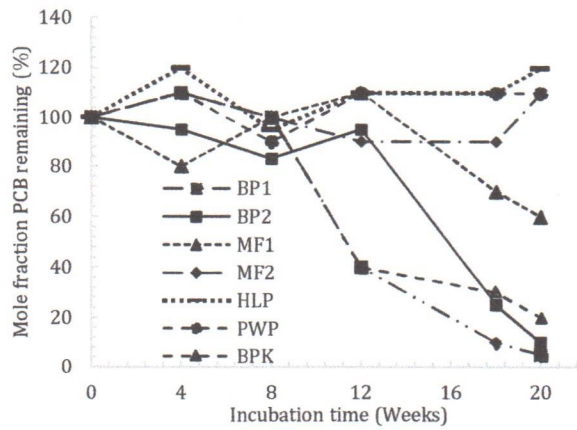


Fig. 2 2345-CBp dechlorination profiles by indigenous microbes under stored sediments condition.

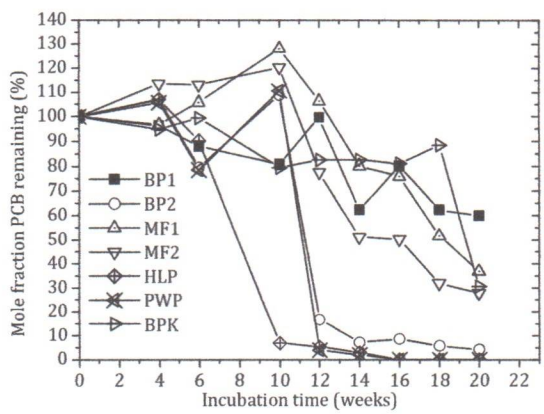


Fig. 3 234-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with methyl 4-bromobenzene.

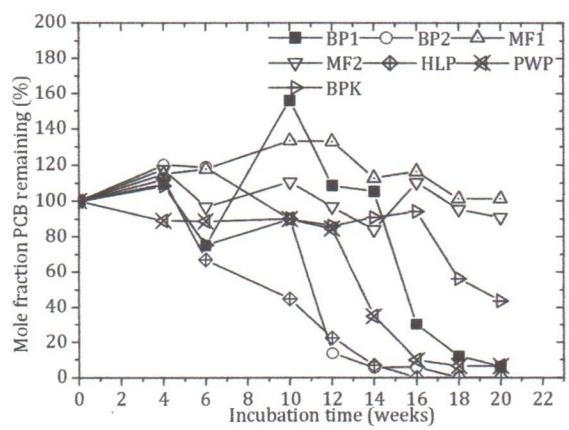


Fig. 4 234-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with 14-dibromobenzene.

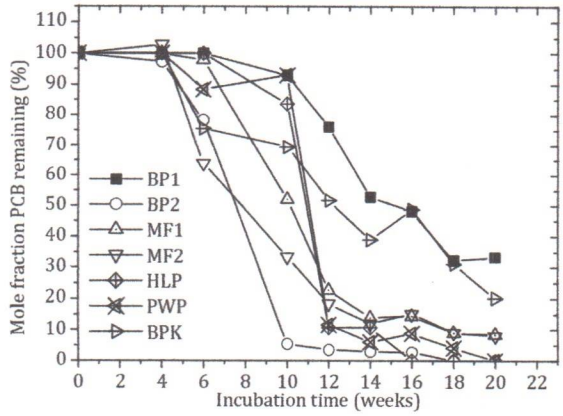


Fig. 5 234-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with 4-bromobenzonitrile.

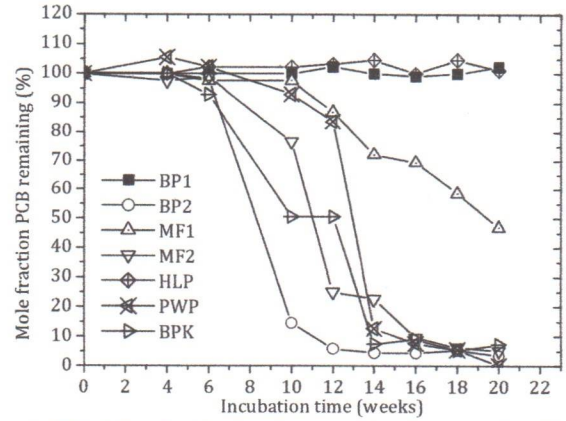


Fig. 6 234-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with 4-bromobenzoic hydrazide.

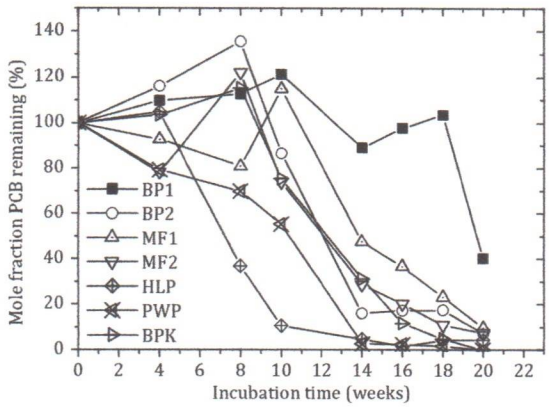


Fig. 7 2345-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with methyl 4- bromobenzene.

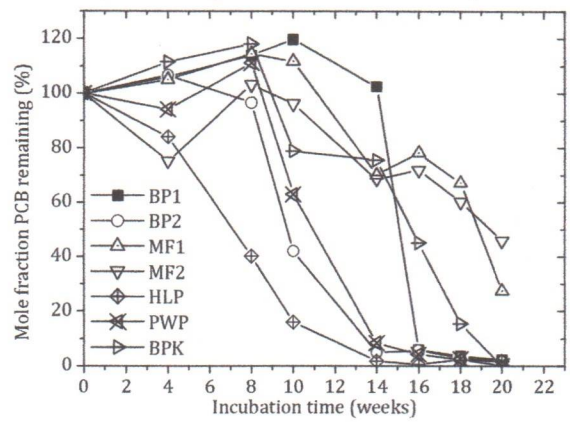


Fig. 8 2345-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with 14-dibromobenzene.

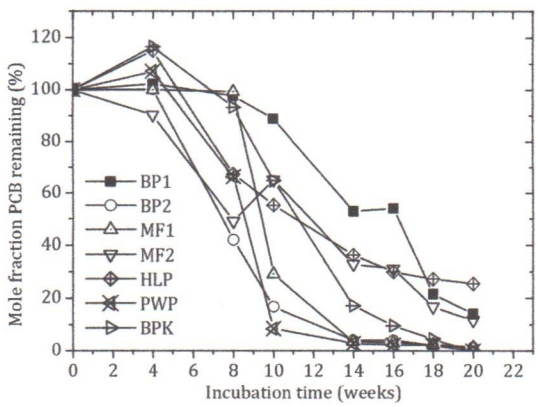


Fig. 9 2345-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with 4-bromobenzonitrile.

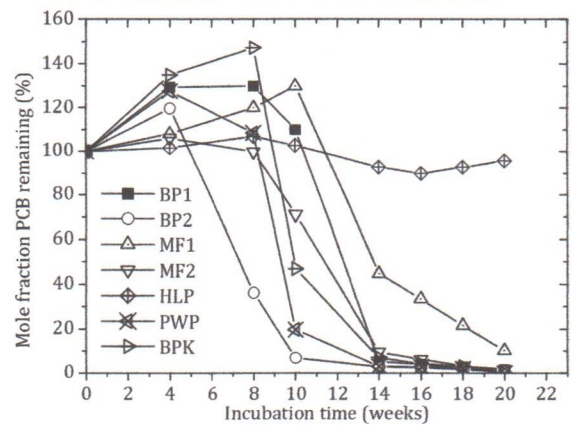


Fig. 10 2345-CBp dechlorination profiles in stored sediment slurry amending with 4-bromobenzoic hydrazide.

Note: Hum Lum Poo Canal (HLP), Bangplee Industrial Estate (BP1, BP2), Material recovery facilities (MF1, MF2), South-Bangkok Power Plant (PWP), Bangpakod Canal (BPK)

the BP2, PWP and BPK, separately amended with 4-bromobezoic hydrazide and 4-bromobenzonitrile from PCBs dechlorination amending halogenated primers.

Table 2 represents the phylogenic analysis of DGGE bands. The sediments treated with 2345-CBps could provide the same group of dechlorinating microbes rather than those amended with halogenated compounds. The predominant bands were considered the closest relative of the uncultured bacterium of PCBs dechlorination in river sediment and *Pseudomonas putida*. Uncultured bacterium related to PCBs dechlorinating bacterial communities in river sediment was still discovered. These results were

supported by Yoshida *et al.* [17], who claimed that *Firmicutes* and *Proteobacteria* played a crucial role in reductively dechlorinating microbes. Based on 234- and 2345-CBps treatments, the band of dechlorinators, were trended to be similar to the group of PCB congeners spiking rather than the sampling sites or priming congeners.

Moreover, the South Bangkok Power plant sediment treated with 2345-CBps could discover the *Pseudomonas putida*, which diverse metabolism exploited for bioremediation of aromatic compounds in contaminated soil. PCB-dechlorinating microbes in a less contaminated sediment Bangplakod Canal could also be evidenced. However, this study did not detect the halobiphenyls, which contains PCB-dechlorinating strain. In this case, specific primers to increase the sensitivity of PCR and cloning samples might be required. Please note that the halogenating consortiums could also improve the dechlorination of polychlorinated biphenyls.

Table 2 Phylogenic analysis of DGGE bands.

Closest relative	Accession number	% Identity	Phylum/ Class
Uncultured *Anaerobranca* sp. clone SRB2	DQ069229	94	*Firmicutes*
Uncultured gamma proteobacterium clone Aerocomp_NB39 16S ribosomal	FJ754851	90	*Proteobacteria*
Uncultured bacterium clone AR018 16S ribosomal RNA gene, PCB dechlorinating bacterial communities in river sediment	GQ860186	98	*Proteobacteria*
Uncultured bacterium partial 16S rRNA gene	AJ621948	94	*Firmicutes*
Uncultured Firmicutes bacterium clone Z273MB13 16S ribosomal RNA gene	FJ484645	100	*Firmicutes*
Uncultured bacterium clone 3-2 16S ribosomal RNA gene	GQ324229	94	*Proteobacteria*
Uncultured gamma proteobacterium clone Aerocomp_NB39 16S ribosomal RNA gene	FJ754851	94	*Proteobacteria*
Uncultured bacterium clone Z552 16S ribosomal RNA gene	AY979304	92	*Firmicutes*
Uncultured bacterium clone AR062 16S ribosomal RNA gene, PCB dechlorinating bacterial communities in river sediment	GQ860277	96	*Proteobacteria*

Note: DNA bands quoted from BP2, PWP and BPK, separately amended with 4-bromobezoic hydrazide and 4-bromobenzonitrile

4. Conclusion

This article identified significant groups of PCBs dechlorinating microbes in Thailand. The cold temperature could reduce the microbial dechlorination capacity on PCBs. While the stored sediment under cold temperature could retard the dechlorination of 234-CBp, it is not applicable for the Bangplakod site. In the meantime, the dechlorination of 2345-CBp was active but not on the HLP site. The dechlorination capacity of the microbes on 234-CBp could be activated by adding appropriate halogenated primers. The priming congeners could improve the dechlorination of 234-CBps in stored sediment, except the HLP amended with 4-bromobenzoic hydrazide. Appropriate halogenated primers and concentrations must be selected to enhance the dichlorination ability.

This article represented that the dechlorinators were abundant in Thailand, where sediments, Firmicutes, and Proteobacteria were major dechlorinators. Moreover, inactive biodegradable chemicals associated with contaminated chemicals can be activated again after non-receiving pollutants, disturbing the limitation of natural resources. This article also illustrated that stored sediment could dechlorinate the 2345-CBp, but not from the HLP, MF1 and MF2 sites. Finally, given that environmental factors can vary the experimental results, the article confirmed that indigenous microbes can also be activated by halogenated primers in Thailand and contributed to the frontier experiment in the country. In other words, this article represented that biodegradable chemicals associated with toxic chemicals could initiate dechlorination again and that the tropical climate in Thailand is suitable to degrade PCBs.

5. References

[1] PCBs preliminary inventory: Enabling Activities for Development of National Plan for Implementation of the Stockholm Convention on POPs in Thailand, http:// pcd.go.th/haz/POPs_PCBs.pdf, 8 July 2005.

[2] B.C. Gomes, M.A.T. Adorno, D.Y. Okada, T.P. Delforno, P.C.F. Lima Gomes, I.K. Sakamoto, M.B.A. Varesche, Analysis of a microbial community associated with polychlorinated biphenyl degradation in anaerobic batch reactors, Biodegradation. 25 (2014) 797 – 810.

[3] G.M. Quero, D. Cassin, M. Botter, L. Perini, G.M. Luna, Patterns of benthic bacterial diversity in coastal areas contaminated by heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs), Front. Microbiol. 6 (2015) 1053 – 1068.

[4] D.A. Abramowicz, Aerobic and anaerobic PCB biodegradation in the environment, Environ. Health Perspect. 103 (1994) 97 – 99.

[5] J. Anotai, J.M. Chyan, W. Sudjarid, W. Wanitchapichat, I.M. Chen, Hexachlorobenzene dechlorination by

enriched mixed cultures from Thai canal, Fresenius Environ. Bull. 19 (2010) 469 – 473.

[6] I.M. Chen, W. Wanitchapichat, T. Jirakittayakorn, S. Sanohniti, W. Sudjarid, C. Wantawin, J. Voranisarakul, J. Anotai, Hexachlorobenzene dechlorination by indigenous sediment microorganisms, J. Hazard. Mater. 177(1 – 3) (2010) 244 – 50.

[7] W. Sudjarid, I.M. Chen, W. Monkong, J. Anotai, Reductive dechlorination of 2, 3, 4-chlorobiphenyl by biostimulation and bioaugmentation, Environ. Eng. Sci. 29 (2012) 255 – 261.

[8] L.F. Nies, T.M. Vogel, Effects of organic substrates on dechlorination of aroclor 1242 in anaerobic sediments, Appl. Environ. Microbiol. 26 (1990) 2612 – 2617.

[9] V. Krumins, J.W. Park, E.K. Son, L.A. Rodenburg, L.J. Kerkhof, M.M. Haggblom, D.E. Fennell, PCB dechlorination enhancement in Anacostia River sediment microcosms, Water Res. 43 (2009) 4549 – 4558.

[10] J. Wiegel, Q. Wu, Microbial reductive dehalogenation of polychlorinated biphenyls, FEMS Microbiol. Ecol. 32 (2000) 1 – 15.

[11] D.L. Bédard, H. Van Dort, K.A. Deweerd, Brominated Biphenyls Prime Extensive Microbial Reductive Dehalogenation of Aroclor 1260 in Housatonic River Sediment, Appl. Environ. Microbiol. 373 (1998) 1786 – 95.

[12] K.A. DeWeerd, D.L. Bédard, Use of Halogenated Benzoates and Other Halogenated Aromatic Compounds to Stimulate the Microbial Dechlorination of PCBs, Environ. Sci. Technol. 33 (1999) 2057 – 2063.

[13] G. Muyzer, E.C. de Waal, A.G. Uitterlinden, Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA, Appl. Environ. Microbiol. 53 (1993) 695 – 700.

[14] S.F. Altschul, W. Gish, W. Miller, E.W. Myers, D.J. Lipman, Basic local alignment search tool, J. Mol. Biol. 215 (1990) 403 – 410.

[15] G. Tchobanoglous, F.L. Burton, E. Metcalf, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse; McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering, The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, 1991.

[16] I.M. Chen, F.C. Chang, Y.S. Wang, Correlation of gas chromatographic properties of chlorobenzenes and polychlorinated biphenyls with the occurrence of reductive dechlorination by untamed microorganisms, Chemosphere. 45 (2001) 223 – 229.

[17] N. Yoshida, N. Takahashi, A. Hiraishi, Phylogenetic characterisation of a polychlorinated-dioxin-dechlorinating microbial community by use of microcosm studies, Appl. Environ. Microbiol. 71 (2005) 4325 – 4334.

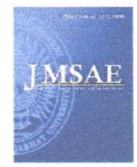
0.8

Sci2.3-40

JMSAE

P. Nuchuay et al. / J. Mater. Sci. Appl. Energy. 11(2) (2022) 244615

A study of annealing temperatures on electrical conductivity and optical properties of nanostructure ITO film as deposited by ion assisted e-beam evaporation



Peerapong Nuchuay[a, *], Chinoros Laongwan[a], Wimol Promcham[a], Athorn Vora-ud[b], Saksorn Limwichean[c], Mati Horprathum[c]

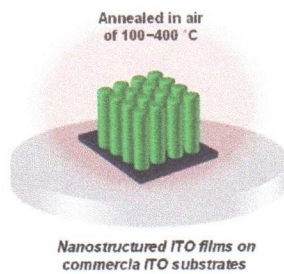
[a] Program of Industrial Electrical conductivity Technology, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Mueang, Surat Thani, 84100 Thailand
[b] Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Mueang, Sakon Nakhon, 47000 Thailand
[c] National Electronics and Computer Technology Center, Pathum Thani, 12120 Thailand

***Corresponding Author:** peerapong.nuc@sru.ac.th
https://doi.org/10.55674/jmsae.v11i2.244615

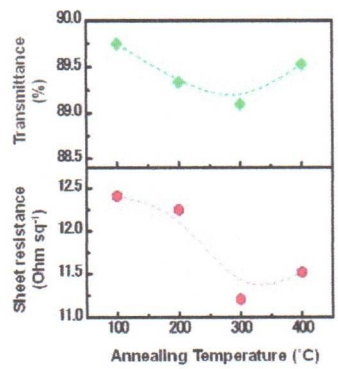
Received: 18 June 18 2021 | **Revised:** 12 July 2021 | **Accepted:** 27 April 2022 | **Available online:** 1 May 2022

Abstract

In this research, the electrical and optical properties of nanostructured Indium Tin Oxide (ITO) films were investigated. The ITO films were deposited by ion assisted e-beam evaporation with the glancing angle deposition (GLAD) technique on commercial ITO substrates, followed by annealing treatment. The results of crystal structure showed that the nanostructured ITO films are polycrystalline and cubic bixbyite structure (222). The sheet resistance and average transmission at the visible region were 12.17 Ω sq^{-1} and 89 %, respectively. The films presented the lowest resistivity and good transparency, where the sheet resistance and an average transmittance were 11.21 Ω sq^{-1} and 91% after annealing. The omnidirectional characteristics for a wide range of incident angle (0 − 80°) of nanostructured ITO film which was annealed at 300 °C had higher optical transmission than films without annealing. This work eventually proved that the plasma treatments have effectively promoted the performance of the dye-sensitized solar cells and confirmed their potentials in the real-world applications.



Nanostructured ITO films on commercia ITO substrates



Keywords : Nanostructured ITO; Anneal treatment; Ion assisted E-Beam evaporation

© 2022 Center of Excellence on Alternative Energy reserved

Introduction

Transparent conducting oxides (TCO) are the most widely used as front optoelectronic devices such as solar cells, flat panel displays, and light-emitting devices[1 – 6]. Most commonly used TCO films are aluminum-doped zinc oxide (AZO), fluorine-doped tin oxide (FTO), and indium tin oxide (ITO). Among them, ITO film is one of the most widely used materials for TCO film because of its unique properties such as highly degenerate n-type material with an optical bandgap of 3.50 − 4.30 eV, good electrical conductivity, high optical transparency, and long-term stability [8 − 10]. In addition, the nanostructure ITO films properties showed high optical absorption, enhance antireflection, and low reflective index due to the increasing of randomly diffused light of surface-to-volume ratios [10 − 12]. However, the way of increasing electrical conductivity and optical transparency of ITO film was applied by depositing seed layer indium tin oxide grown, followed by growing ITO films to obtain preferred (222) crystalline orientation in mixed argon and oxygen gas [13]. Additionally, post-deposition annealing treatment of the

films was practically used [12]. After post-deposition annealing of ITO film at temperatures higher than 200 °C was effective on the grain size of crystallinity [14], resulting in increasing crystallinity of ITO film. The improvement of the optical and electrical conductivity properties by annealing have been involved with the local ordering of the structure during crystallization and oxygen vacancies creation/annihilation that depends on the atmosphere of annealing systems.

In this report, nanostructured ITO films which were fabricated on commercial ITO (ITO Commercial 11.50 Ω sq^{-1}) and annealing treatment at different temperatures. Therefore, quality of nanostructured ITO films, surface morphology, electrical conductivity, and optical properties have been investigated.

Materials and Methods

Nanostructured ITO films were fabricated on Si wafer (100) and commercial ITO substrates by ion assisted e-beam evaporation with the GLAD technique at range of incident angle of 85° with respect to the substrate normal angle. The commercial substrates coating by ITO were used for characterization of the optical properties. These were chemically cleaned by acetone, isopropyl alcohol and deionized water in an ultrasonic cleaning system. Then, substrates were dried in nitrogen flow. The nanostructured ITO films on Si wafer were used for crystallinity and morphological characterization. Inside the chamber for deposition, the base pressure was 8×10^{-7} Torr, and the working gas oxygen flow rate of 8 sccm was fixed at operated pressure of 1×10^{-5} Torr during deposition to produce low energy oxygen ions. The ion gun current and voltage were fixed at 1 A and controlled at 120 V, respectively. After the deposition, all the prepared samples in the same conditions were separately annealed in the furnace in ambient for about 2 h at temperatures 200, 300 and 400 °C. The film thickness of all samples was fixed as 80 nm by controlling the deposition time. The XRD results of nanostructured ITO films were determined by grazing-incidence X-ray diffraction (KTTRAXIII, Rigaku). The morphological structures were studied by field-emission scanning electron microscope (SU8030, Hitachi). The electrical properties were measured by Four-point-probe (Jandel RM3). Additionally, the optical transmission was conducted using a UV-Vis-NIR spectrophotometer (Cary 7000, Agilent). The light source was performed at a normal incident angle from the film surfaces in the wavelength range from 200 – 2,000 nm for direct transmission measurements. Angle-dependent transmission was measured between 0 – 80° for scattered transmission measurements.

Results and Discussion

The surface and cross section images of nanostructured ITO films on Si wafer are shown in Fig. 1(a) and Fig. 1(b). Fig. 1(a) indicated the surface of the sample (as-deposited: ASD) with increasing annealed temperature at 100, 200, 300 and 400 °C, respectively. The surface morphologies before and after annealing were nearly identical. The results from FE-SEM indicated that the temperature annealing had no

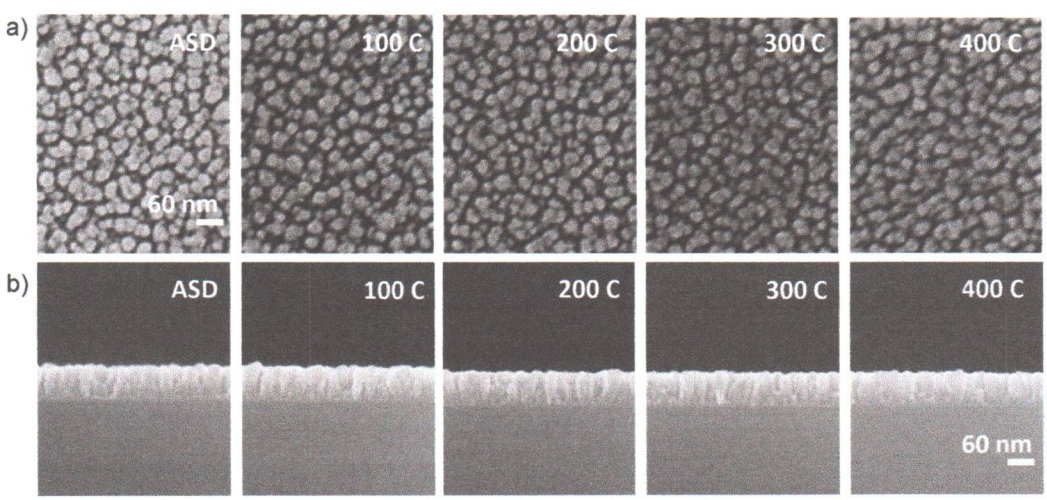


Fig. 1 (a) surface and (b) cross section images of nanostructured ITO films with various annealed temperature in the range of 100, 200, 300 and 400 °C.

effect on ITO nanostructure films. Our results are similar to those reported in literatures [15]. The cross sectional exhibiting a nanostructure of ITO films growth because of the shadowing effect.

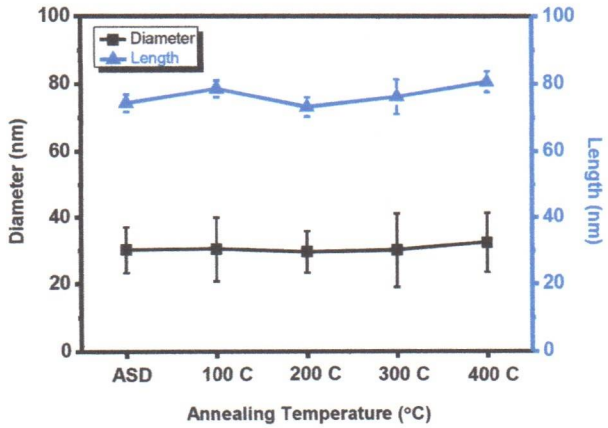


Fig. 2 Diameter and length of nanostructured ASD ITO films and annealed at different temperature in vacuum.

Fig. 2 shows the diameter and length of the nanostructured ITO films. The diameter of nanostructured ITO films annealing at 100, 200, 300, and 400 °C were 30.38, 29.90, 30.06 and 32.28 nm and length were 78.62, 75.29, 76.27 and 80.12 nm, respectively. Both of parameter exhibited a gradual change.

The XRD peaks of the nanostructured ITO films on Si wafer fabricated ASD and annealed at different temperature were shown in Fig. 3 The nanostructured ITO films deposited ASD and annealing at 100 − 200 °C were determined to be amorphous. The annealing at 300 °C, the nanostructured ITO film has revealed the XRD peaks which can be assigned to (211), (222), (400), (440) and (622) planes at 2θ degree of 21.13°, 30.70°, 35.60°, 51.30° and 60.63° respectively, indicating polycrystallinity with a cubic bixbyite structure (JCPDS 01089-4198). The nanostructured ITO films which were annealed at 300 and 400 °C showed a prominently strong (222) peak due to the preferable orientation of the structure at high temperature [13,15]. Moreover, it was observed that the crystallinity of nanostructured ITO film continuously increased with the increased temperature of the annealing temperature [16].

The sheet resistance of samples using four-point probe measurements, as shown in Fig. 4. The as-deposited ITO film was compared to the ITO film followed by annealing of nanostructured ITO films, indicating the sheet resistance of 12.17 Ω sq^{-1} and annealed ITO films were 12.41, 12.25, 11.21 and 11.52 Ω sq^{-1} of annealing temperature at 100, 200, 300 and 400 °C, respectively. The lowest resistivity of 11.21 Ω sq^{-1} was obtained from the film that was annealed at 300 °C, indicating that all annealed samples were acceptable to use as the TCO material for optoelectronic applications.

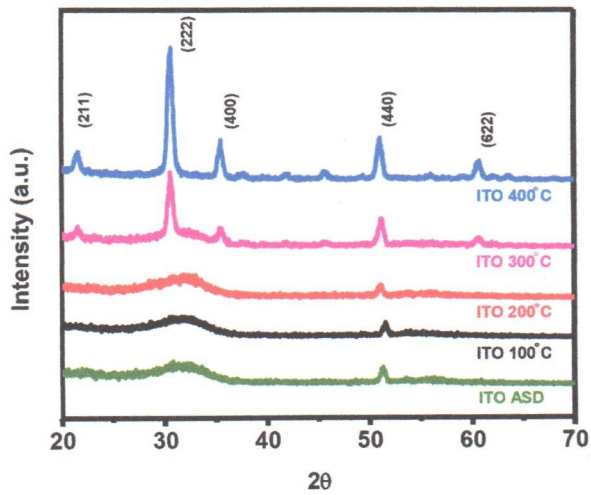


Fig 3. XRD peaks of the different nanostructured ITO films.

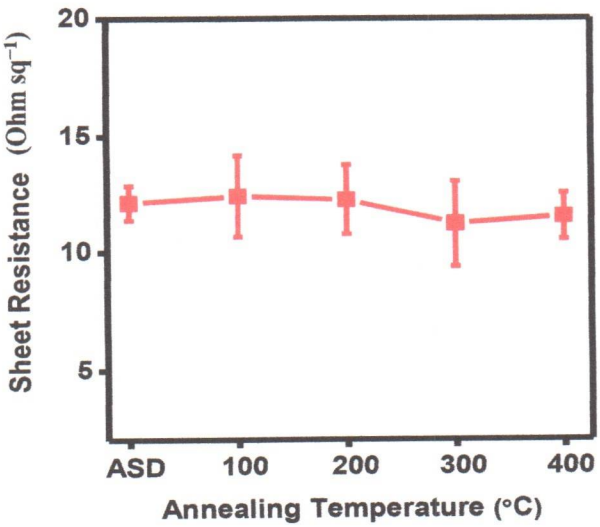


Fig. 4 Sheet resistance of ITO nanostructured films that was measured by four-point probes.

Fig. 5 (a) shows UV-visible light transmittance of nanostructured ITO films on commercial substrates, which were 89.75, 89.34, 89.10 and 89.53% of annealed

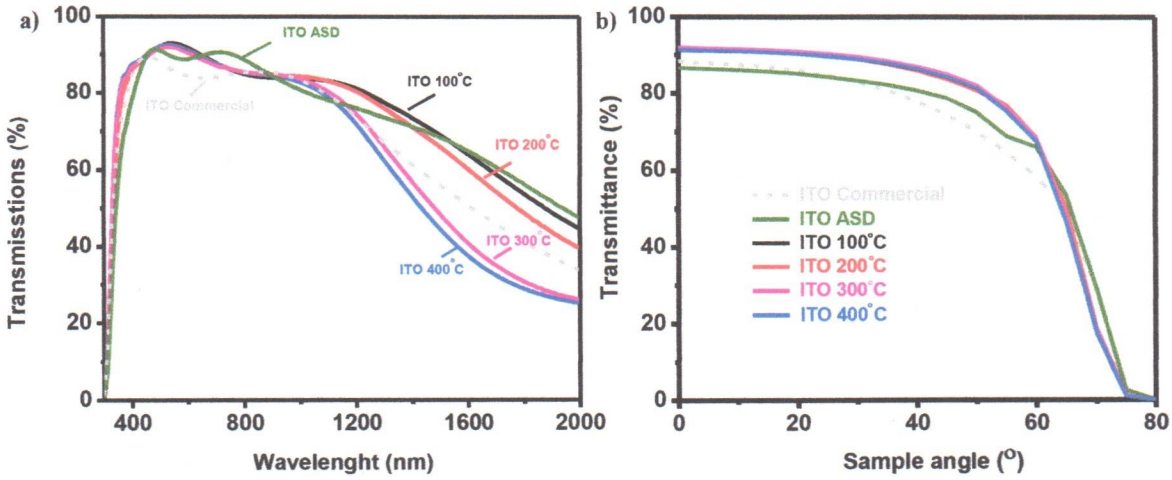


Fig. 5 (a) Optical properties and (b) the omnidirectional anti-reflection characteristics of nanostructured ITO films.

temperature from 100 – 400 °C, respectively. It was found that ITO films showed an average optical transmittance in the visible region (380 – 780 nm) which was higher than commercial ITO.

The omnidirectional anti-reflection characteristics of nanostructured ITO films were shown in Fig. 5(b), at specific wavelength range at 500 nm. The result was similar to those reported in literatures [16], which was a wide range of incident angle (0 – 80°). The graph showing the nanostructured ITO films of annealed temperature from 100 – 400 °C had omnidirectional transmission higher than the commercial ITO reference at all incidence angles due to the performance of the samples were sensitive to the incident angle and the Fresnel reflections from the rear sides [12]. Thus, nanostructured ITO films were applied to antireflection coatings of TCO applications.

Conclusion

Nanostructured ITO films were deposited by ion assisted e-beam evaporation with different temperature of annealing treatment. The crystal structure of nanostructured ITO films was mostly polycrystalline with the cubic bixbyite structure (222). The lowest resistivity of 11.21 Ω sq^{-1}, was obtained from the film that was annealed at 300 °C. The average optical transmittance of 89.75 % in the visible region could be obtained when the optimum temperature of annealing treatment was used. The nanostructured ITO films were found to have better optical properties than commercial ITO. Thus, the annealing treatments effectively promoted the performance of nanostructured ITO film and improved potential of optoelectronic applications.

Acknowledgement

The work was supported by National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC) and National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency (NSTDA). The authors gratefully acknowledge.

References

[1] J. Du, X. liang Chen, C. chi Liu, J. Ni, G. fu Hou, Y. Zhao, X. dan Zhang, Highly transparent and conductive indium tin oxide thin films for solar cells grown by reactive thermal evaporation at low temperature, Appl. Phys. A Mater. Sci. Process. 117 (2014) 815 – 822.

[2] A. Valla, P. Carroy, F. Ozanne, D. Muñoz, Understanding the role of mobility of ITO films for silicon heterojunction solar cell applications, Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 157 (2016) 874 – 880.

[3] S.K. Park, J.I. Han, W.K. Kim, M.G. Kwak, Deposition of indium-tin-oxide films on polymer substrates for application in plastic-based flat panel displays, Thin Solid Films. 397 (2001) 49 – 55.

[4] J. Hotovy, J. Hüpkes, W. Böttler, E. Marins, L. Spiess, T. Kups, V. Smirnov, I. Hotovy, J. Kováč, Sputtered ITO for application in thin-film silicon solar cells:

Relationship between structural and electrical properties, Appl. Surf. Sci. 269 (2013) 81 – 87.

[5] Y. Gil, H. Kim, Hybrid ITO transparent conductive electrodes embedded with Pt nanoclusters for enhanced output efficiency of GaN-based light-emitting diodes, Thin Solid Films. 603 (2016) 307 – 312.

[6] W. Wang, H. Peng, S. Chen, Highly transparent quantum-dot light-emitting diodes with sputtered indium-tin-oxide electrodes, J. Mater. Chem. C. 4 (2016) 1838 – 1841.

[7] C.J.M. Emmott, A. Urbina, J. Nelson, Environmental and economic assessment of ITO-free electrodes for organic solar cells, Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 97 (2012) 14 – 21.

[8] Y.S. Park, E. Kim, B. Hong, J. Lee, Characteristics of ITO films with oxygen plasma treatment for thin film solar cell applications, Mater. Res. Bull. 48 (2013) 5115 – 5120.

[9] M. Ismail, A.M. Rana, I. Talib, T.L. Tsai, U. Chand, E. Ahmed, M.Y. Nadeem, A. Aziz, N.A. Shah, M. Hussain, Room-temperature fabricated, fully transparent resistive memory based on ITO/CeO_2/ITO structure for RRAM applications, Solid State Commun. 202 (2015) 28 – 34.

[10] S. Xu, Y. Shi, Low temperature high sensor response nano gas sensor using ITO nanofibers, Sens. Actuators B Chem. 143 (2009) 71 – 75.

[11] X. Li, G.M. Kale, Influence of thickness of ITO sensing electrode film on sensing performance of planar mixed potential CO sensor, Sens. Actuators B Chem. 120 (2006) 150 – 155.

[12] P. Nuchuay, T. Chaikeeree, M. Horprathum, N. Mungkung, N. Kasayapanand, C. Oros, S. Limwichean, N. Nuntawong, C. Chananonnawathorn, V. Patthanasettakul, P. Muthitamongkol, B. Samransuksamer, S. Denchitcharoen, A. Klamchuen, C. Thanachayanont, P. Eiamchai, Engineered omnidirectional antireflection ITO nanorod films with super hydrophobic surface via glancing-angle ion-assisted electron-beam evaporation deposition, Curr. Appl. Phys. 17 (2017) 222 – 229.

[13] D.P. Pham, B.T. Phan, V.D. Hoang, H.T. Nguyen, T.K.H. Ta, S. Maenosono, C.V. Tran, Control of preferred (222) crystalline orientation of sputtered indium tin oxide thin films, Thin Solid Films. 570 (2014) 16 – 19.

[14] P. Canhola, N. Martins, L. Raniero, S. Pereira, E. Fortunato, I. Ferreira, R. Martins, Role of annealing environment on the performances of large area ITO films produced by rf magnetron sputtering, Thin Solid Films. 487 (2005) 271 – 276.

[15] N.M. Ahmed, F.A. Sabah, H.I. Abdulgafour, A. Alsadig, A. Sulieman, M. Alkhoaryef, The effect of post annealing temperature on grain size of indium-tin-oxide for optical and electrical properties improvement, Results Phys. 13 (2019) 102159.

[16] N. Manavizadeh, A. Khodayari, E. Asl Soleimani, S. Bagherzadeh, M.H. Maleki, Structural properties of post annealed ITO thin films at different temperatures, Iran. J. Chem. Chem. Eng. 28 (2009) 57 – 61.

วารสารพัฒนาการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยรังสิต ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2564
Journal of Rangsit University: Teaching & Learning Vol.15 No.2 July – December 2021
ISSN 1905-7881 (Print)/ ISSN 2651-1584 (Online)
Available online at https://jrtl.rsu.ac.th

การพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน

Development of Learning Innovation Creation Skill for Thai Language Teachers in the Three Southernmost Provinces by Using ICT-Based Learning

ณฤดี เนตรโสภา
Naruedee Netsopha

สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
Computer Department, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University
**Corresponding author, e-mail: naruedee2513@gmail.com, โทร: 088-5866724*
วันที่ส่งบทความ 3 มีนาคม 2563 วันที่แก้ไขครั้งสุดท้าย 1 พฤษภาคม 2563
วันที่ตอบรับบทความ 1 พฤษภาคม 2563 วันที่เผยแพร่ออนไลน์ 1 กรกฎาคม 2564

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน มีวัตถุประสงค์ 4 ประการ คือ 1) เพื่อศึกษาความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ 2) เพื่อพัฒนารูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน 3) เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน ของครูในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ และ 4) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่มีต่อรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยและพัฒนา แบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะที่ 1 ศึกษาความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน เป็นการวิธีวิจัยแบบผสมผสาน ระยะที่ 2 พัฒนารูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน เป็นการวิจัยและพัฒนา และระยะที่ 3 ศึกษาผลการใช้รูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน เป็นการวิจัยเชิงทดลอง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษารูปแบบคือ ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาผลการใช้รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน แบบวัดทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน และแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อรูปแบบ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบที

ผลการวิจัยพบว่า ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน อยู่ในระดับปานกลาง โดยต้องการพัฒนาทักษะการสร้างสื่อการสอนประเภทเกมมากที่สุด องค์ประกอบของรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน มี 3 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ 1) การเตรียมความพร้อม 2) การฝึกอบรม และ 3) การวัดและประเมินผล การฝึกอบรม 4 แผน ได้แก่ 1) การจัดการห้องเรียนออนไลน์ด้วย Google Classroom 2) การสร้างเกมถาม

ตอบออนไลน์ด้วยโปรแกรม Kahoot 3) การแทรกคำถามในวิดีโอด้วยโปรแกรม Edpuzzle และ 4) การสร้างข้อสอบออนไลน์ด้วย Google Form รูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.53/83.00 หลังการใช้รูปแบบครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้มีทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน อยู่ในระดับมาก โดยมีทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้หลังอบรมสูงกว่าก่อนอบรม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้มีความพึงพอใจต่อรูปแบบอยู่ในระดับมาก โดยสรุปรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐานมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ได้มาตรฐาน ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้มีทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้เพิ่มขึ้นจากก่อนอบรม จึงสามารถนำไปใช้พัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ให้กับครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ได้

คำสำคัญ: *รูปแบบการพัฒนา การสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ การเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน ครูภาษาไทย จังหวัดชายแดนภาคใต้*

Abstract

This research an developing the learning innovation creation skill for Thai language teachers in the three southernmost provinces by using ICT-based learning aimed 1) to study the Thai language teachers' needs on learning innovation creation skill by using ICT-based learning, 2) to develop learning innovation creation skill model for Thai language teachers in the three southernmost provinces by using ICT-based learning, 3) to develop the learning innovation creation skill by using ICT-based learning for Thai language teachers in the three southernmost provinces, and 4) to evaluate their satisfaction towards the use of model of learning innovation creation skill model for Thai language teachers in the three southernmost provinces by using ICT-based learning. This research study was conducted under three phases. The first phase was to study the needs on learning innovation creation skill by using ICT-based learning, the method was mixed method research. Then, the second phase was to develop learning innovation creation skill model for Thai language teachers in the three southernmost provinces by using ICT-based learning, the method was research and development. Finally, the third phase was to study about innovation creation skill by using ICT-based learning, the method was experimental research. The samples for study about innovation creation skill model were 30 from the Thai language teachers in the three southernmost provinces. The research instruments included the learning innovation creation skill model for Thai language teachers in the three southernmost provinces by using ICT-based learning, questionnaire for the learning innovation creation skill by using ICT-based learning, and satisfaction questionnaire for the learning innovation creation skill model by using ICT-based learning. Data were analyzed by the mean, standard deviation, and t-test.

Some significant results for Thai language teacher developments in the three southernmost provinces were found. The needs on learning innovation creation skill by using ICT-based learning was

at moderate level and the learning innovation creation skill that relate to gaming was mostly needed. There were three components of innovation creation skill by using ICT-based model, namely; 1) preparation, 2) training, and 3) measurement and assessment. The 4 training plan include 1) management online classroom with google classroom, 2) questions and answers online with kahoot, 3) questions inserted in video with edpuzzle program, and 4) creating online test with google form. The efficiency value of the learning innovation creation skill model developed was 84.53/83.00, the Thai language teachers in the three southernmost provinces owned skills in creation innovation learning by using ICT-based learning at a high level. Their skills to create learning innovations after training was higher with statistical significance at the level of .01 ($\rho < .01$), and the satisfaction of the model was at the high level. In summary, the efficiency of the model of learning innovation creation skill was at the standard level. Hence this model can benefit the development of the Thai language teachers' skill in creating learning innovation in the context of the three southernmost provinces.

Keywords: *Development Model, Creation Innovation Learning, ICT-based Learning, Thai Language Teachers, Southernmost Provinces.*

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารหรือ ICT มีบทบาทและเป็นเครื่องมือสำคัญในการทำงานด้านการศึกษา เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการศึกษา หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนต่างก็มีการนำ ICT มาเป็นเครื่องมือช่วยในการทำงาน (ทรงลักษณ์ สกุลวิจิตร์สินธุ, 2560, น. 439) ในการทำงานด้านการศึกษาในศตวรรษที่ 21 ครูจำเป็นจะต้องปรับวิธีสอน (Pedagogy) ให้เหมาะสมกับการพัฒนาผู้เรียน เพื่อให้ได้ผู้เรียนที่มีคุณลักษณะของเด็กไทยในศตวรรษที่ 21 ด้วยการพัฒนาผู้เรียนให้เป็นผู้มีคุณลักษณะสำคัญ 3 ประการ คือ 1) มีทักษะที่หลายหลาย สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ มีความรับผิดชอบ 2) มองโลกในแง่ดี และ 3) มีทักษะด้านภาษา ดังนั้น การที่ครูจะมีความสามารถในการพัฒนาผู้เรียนให้มีคุณลักษณะของเด็กไทยในศตวรรษที่ 21 ได้ ครูจะต้องมีการเรียนรู้ มีการปรับตัวและพัฒนาตนเองอยู่เสมอ เพื่อให้มีคุณลักษณะของครูในศตวรรษที่ 21 หรือเป็นครูผู้สอนที่มีคุณลักษณะของครูไทยยุคไทยแลนด์ 4.0 คุณลักษณะสำคัญของครูไทยในศตวรรษที่ 21 ไว้ 7 ประการ ดังนี้ 1) สร้างและบูรณาการความรู้ได้ 2) มีความคิดวิเคราะห์และสร้างสรรค์ 3) มีวิสัยทัศน์และตกผลึกทางความคิดเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับผู้เรียน 4) ต้องรู้และเข้าใจเทคโนโลยีใหม่ มีทักษะใหม่ ๆ พร้อมทั้งชี้แนะข้อดีข้อเสียให้กับผู้เรียนได้ 5) มีทักษะการสอนเด็กให้เติบโตเต็มศักยภาพและสร้างผลงานใหม่ ๆ 6) ต้องเข้มแข็งในจรรยาบรรณ คุณธรรม จริยธรรม และชักชวนให้คนอื่น ๆ ทำเพื่อสังคม และ 7) มีบทบาทด้านการสอนและวิชาชีพ พัฒนาคุณภาพของโรงเรียนและวิชาชีพร่วมกับผู้บริหารมากขึ้น (สำนักงานส่งเสริมสังคมแห่งการเรียนรู้และคุณภาพเยาวชน, 2557)

การพัฒนาคุณภาพครู เป็นแนวทางสำคัญในการปฏิรูปการศึกษาของประเทศไทยให้ประสบความสำเร็จตามเป้าหมาย โดยเฉพาะครูภาษาไทยซึ่งเป็นครูผู้สอนกลุ่มสาระการเรียนรู้ 1 ใน 8 กลุ่มสาระการเรียนรู้ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2561, น. 20) รายวิชากลุ่มสาระภาษาไทยเป็นวิชาที่มีความสำคัญสำหรับเด็กไทย เพราะภาษาไทยเป็นเอกลักษณ์ของชาติ เป็นสมบัติทาง

วัฒนธรรม อันก่อให้เกิดความเป็นเอกภาพและเสริมสร้างบุคลิกภาพของคนในชาติให้มีความเป็นไทย เป็นเครื่องมือในการติดต่อสื่อสารเพื่อสร้างความเข้าใจและความสัมพันธ์ที่ดีต่อกัน ทำให้สามารถทำงานและดำเนินชีวิตร่วมกันในสังคมได้อย่างราบรื่น นอกจากนี้ภาษาไทยยังเป็นสื่อแสดงภูมิปัญญาของบรรพบุรุษด้านวัฒนธรรม ประเพณีและสุนทรียภาพ เป็นสมบัติที่ล้ำค่าควรแก่การเรียนรู้ อนุรักษ์และสืบสานให้คงอยู่คู่ชาติไทยตลอดไป (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551, น. 37)

การพัฒนาครูให้มีคุณลักษณะที่เหมาะสมกับการศึกษาในศตวรรษที่ 21 ไพฑูรย์ สินลารัตน์ ได้เสนอแนวทางการพัฒนาครูไว้ 3 องค์ประกอบ ได้แก่ การผลิตครูต้องมีกระบวนการให้ได้บุคลากรที่มีคุณภาพ การพัฒนาครูที่มีอยู่ในปัจจุบันให้รู้จักปรับตัวเข้าสู่โลกปัจจุบัน และการใช้ครูให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สำนักงานส่งเสริมสังคมแห่งการเรียนรู้และคุณภาพเยาวชน, 2557) ดังนั้นครูจึงต้องเร่งปรับตัวให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงในปัจจุบัน โดยสิ่งที่ครูผู้สอนจะต้องปรับตัวหรือเตรียมความพร้อม ได้แก่ สอนให้นักเรียนมีทักษะทางด้านสังคม ด้านคุณธรรม ควบคู่ไปกับเทคโนโลยี ปรับเปลี่ยนรูปแบบวิธีการเรียนการสอน นอกเหนือจากการท่องจำจากตำรา เพิ่มพูนทักษะ ความรู้ความสามารถของตัวเองให้มากขึ้น สอดคล้องกับความเห็นของ สุมน อมรวิวัฒน์ ที่กล่าวว่า ทุกวันนี้การใช้ชีวิตของคนเราไม่เหมือนเดิม ทั้งสภาพสังคม สิ่งแวดล้อม รวมทั้งเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปไปอย่างรวดเร็ว บทบาทของครูไทยจากเดิมขอบเขตอยู่ที่ชั้นเรียน แต่ปัจจุบันครูต้องรู้จักปรับเปลี่ยนการสอน ไม่มุ่งเน้นเฉพาะเรื่องทฤษฎี แต่ต้องเปลี่ยนบริบทการเรียนการสอนที่ทำให้นักเรียนรู้จักหาคำตอบและตั้งคำถามด้วยตนเอง (สำนักงานส่งเสริมสังคมแห่งการเรียนรู้และคุณภาพเยาวชน, 2557)

เป็นที่ยอมรับกันว่า ICT เป็นเทคโนโลยีที่มีความทันสมัย เหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนสำหรับพัฒนาผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 (สำนักข่าวไทย, 2561) และในอนาคต ซึ่งสอดคล้องกับความเห็นของ ณรงค์ พันธุ์คง และณมน จีรังสุวรรณ (2562, น. 119-129) ที่ว่า ในอนาคต 10-20 ปี ข้างหน้า หากจะนำเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารไปใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการจัดการศึกษาให้เกิดความรู้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ สถาบันการศึกษาจะต้องเตรียมความพร้อมของบุคลากรทางด้านไอซีทีใน 3 รูปแบบ คือ เป็นเนื้อหาของการเรียน เป็นเครื่องมือ และเป็นวิธีคิด นวัตกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาด้วย ICT ช่วยสนับสนุนให้การจัดการเรียนการสอนมีคุณภาพมากขึ้น เนื่องด้วยเป็นสื่อการสอนที่มีคุณลักษณะของสื่อนวัตกรรมการศึกษา ดังนี้ 1) เป็นสื่อที่สนองต่อความเป็นเอกัตบุคคล 2) เป็นสื่อที่เอื้อต่อการเรียนรู้แบบมีปฏิสัมพันธ์ 3) เป็นสื่อที่ช่วยให้มีการแบ่งปันประสบการณ์ซึ่งกันและกัน 4) มีการออกแบบหน่วยการเรียนรู้ที่ชัดเจนและยืดหยุ่น 5) เป็นสื่อที่ให้การสะท้อนผลต่อผู้เรียนได้ดี และ 6) เป็นสื่อที่ตอบสนองต่อคุณภาพด้านข้อมูลสารสนเทศ (อนุวัฒน์ เอี่ยมแสน, 2562, น. 156-157)

จากความสามารถของ ICT ดังกล่าวหากครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ได้นำมาใช้เป็นสื่อการเรียนรู้น่าจะช่วยพัฒนาผลการเรียนรู้วิชาภาษาไทยให้กับนักเรียนในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่มีผลการประเมินต่ำกว่าเกณฑ์ติดอันดับรั้งท้ายของประเทศ (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ, 2561) ให้สูงขึ้นได้ เพราะ ครูผู้สอนเป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน (วีระ วงศ์สรรค์, 2559, น. 102) ประการสำคัญในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนใต้เป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายด้านภาษา นักเรียนส่วนใหญ่ใช้ภาษามลายูถิ่นในการติดต่อสื่อสาร สาเหตุนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทยต่ำ ด้วยคุณลักษณะเด่นของ ICT ที่สามารถสร้างนวัตกรรมทางการศึกษาได้ดี มีความหลากหลาย และน่าสนใจ หากครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้สามารถนำ ICT มาพัฒนานวัตกรรม/สื่อการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับนักเรียนและเนื้อหา น่าจะช่วยให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกลุ่มสาระภาษาไทยของนักเรียนในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้สูงขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษารูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้

2. เพื่อพัฒนารูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ด้าน โดยใช้ ICT เป็นฐาน

3. เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้

4. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่มีต่อรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. รูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน หมายถึง กระบวนการ/ขั้นตอนการถ่ายทอดองค์ความรู้และฝึกทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) ให้กับครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ เพื่อนำไปใช้สร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) การเตรียมความพร้อม 2) การฝึกอบรม และ 3) การวัดและประเมินผล

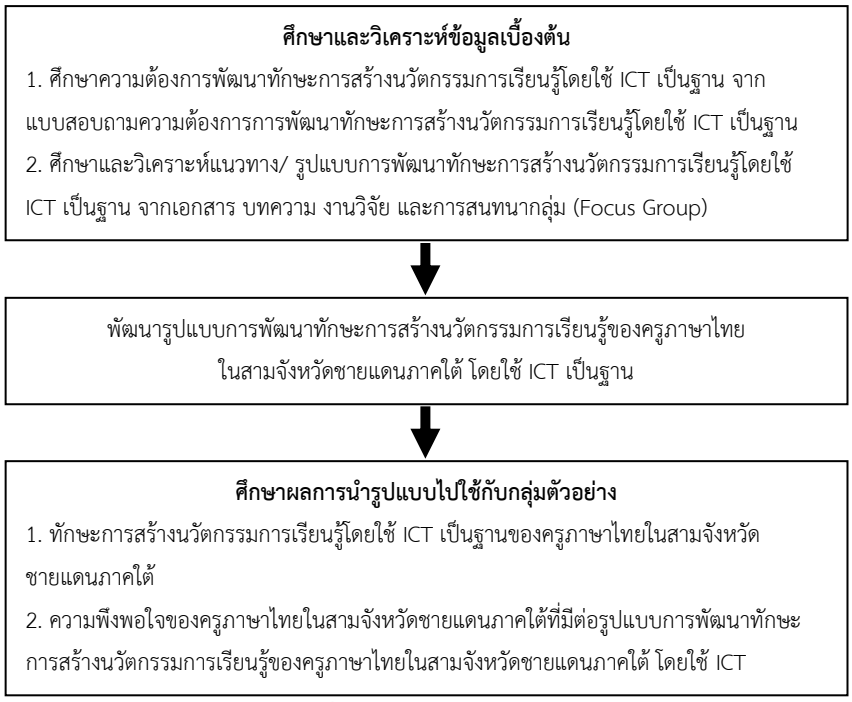
2. ทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน หมายถึง ความรู้ความสามารถในการจัดการเรียนรู้และ/หรือสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 4 โปรแกรม ได้แก่ 1) การจัดการห้องเรียนออนไลน์ด้วย Google Classroom 2) การสร้างเกมถามตอบออนไลน์ด้วยโปรแกรม Kahoot 3) การแทรกคำถามในวิดีโอด้วยโปรแกรม Edpuzzle และ 4) การสร้างข้อสอบออนไลน์ด้วย Google Form

3. นวัตกรรมการเรียนรู้ หมายถึง สื่อการเรียนการสอนที่สร้างหรือพัฒนาขึ้นใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้น

4. ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ หมายถึง ครูผู้สอนกลุ่มสาระภาษาไทยสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ (ยะลา ปัตตานี และ นราธิวาส) ที่แจ้งความประสงค์เข้าร่วมโครงการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน มีกรอบแนวคิดในการวิจัย ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

ระยะที่ 1 ศึกษาความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน การวิจัยระยะที่ 1 เป็นการวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Method Research) การวิจัยในระยะนี้มีความสอดคล้องกับขั้นการวิเคราะห์ (Analysis) ตามขั้นตอนการพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนของ ADDIE Model การวิจัยระยะที่ 1 แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ 1) วิเคราะห์ข้อมูลจากเอกสาร แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2) วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน 3) สรุปผลการสนทนากลุ่ม (Focus Group) และ 4) กำหนดองค์ประกอบของรูปแบบการพัฒนาครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ด้านทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1.1.1 แนวคิด ทฤษฎี เอกสาร บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน

1.1.2 ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่แจ้งความประสงค์เข้าร่วมโครงการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนการสอนโดยใช้ ICT เป็นฐาน จำนวน 330 คน

1.2 กลุ่มตัวอย่าง แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1.2.1 แนวคิด ทฤษฎี เอกสาร บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐานสำหรับครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้

1.2.2 ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ จำนวน 180 คน ผู้วิจัยเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีสุ่มอย่างง่าย (Simple Sampling) โดยกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างตามสูตรคำนวณของเครซี่และมอร์แกน (Krejcie & Morgan, 1970)

2. ผู้เชี่ยวชาญ ผู้เชี่ยวชาญในการวิจัยระยะที่ 1 มี 2 กลุ่ม ดังนี้

2.1 ผู้เชี่ยวชาญในการสนทนากลุ่ม (Focus Group) จำนวน 9 ท่าน ซึ่งคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Selection)

2.2 ผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล จำนวน 3 ท่าน ทำการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Selection)

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การดำเนินการวิจัยในระยะที่ 1 มีเครื่องมือการวิจัย ดังนี้

3.1 แบบบันทึกรายการเชิงสังเคราะห์ สังเคราะห์จากผลการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำแบบบันทึกรายการเชิงสังเคราะห์ที่สร้างขึ้น เสนอผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเหมาะสม ความครอบคลุมของข้อคำถาม ความชัดเจนของภาษา ซึ่งผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่า แบบบันทึกรายการเชิงสังเคราะห์มีความถูกต้อง เหมาะสม ภาษาที่ใช้มีความชัดเจน ข้อคำถามมีความครอบคลุมทุกประเด็น

3.2 แบบบันทึกการสนทนากลุ่ม แนวทางการสร้างข้อคำถามได้จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำแบบบันทึกการสนทนากลุ่มที่สร้างขึ้น เสนอผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเหมาะสม ความครอบคลุมของข้อคำถาม ความชัดเจนของภาษา ซึ่งผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่า ให้ปรับสำนวนคำถามในการสนทนากลุ่มบางข้อ

3.3 แบบสอบถามความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ ข้อคำถามและประเด็นในการศึกษาสังเคราะห์จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบบสอบถามแบ่งเป็น 3 ตอน คำถามแต่ละข้อมีความสอดคล้อง (IOC) ไม่น้อยกว่า .60

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 รวบรวมข้อมูลจากแนวคิด ทฤษฎี เอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ลงในแบบบันทึกรายการเชิงสังเคราะห์

4.2 รวบรวมข้อมูลด้วยการสนทนากลุ่ม (Focus Group) โดยผู้เชี่ยวชาญ 9 ท่าน

4.3 รวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 วิเคราะห์และจัดกระทำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี เอกสาร บทความ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยใช้แบบบันทึกรายการเชิงสังเคราะห์

5.2 สรุปผลการระดมความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้แบบบันทึกผลการสนทนากลุ่ม

5.3 วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน โดยหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ระยะที่ 2 พัฒนารูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ การวิจัยระยะที่ 2 เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) การวิจัยในระยะนี้สอดคล้องกับขั้นการออกแบบ (Design) และการพัฒนา (Development) ตามขั้นตอนการพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนของ ADDIE Model การวิจัยระยะที่ 2 แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างและหาคุณภาพชุดฝึกอบรมเพื่อพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน จำนวน 4 แผน ได้แก่ 1) แผนการฝึกอบรมเรื่อง การจัดการห้องเรียนออนไลน์ด้วย Google Classroom 2) แผนการฝึกอบรมเรื่อง การสร้างเกมถามตอบออนไลน์ด้วยโปรแกรม Kahoot 3) แผนการฝึกอบรมเรื่อง การแทรกคำถามในวิดีโอด้วยโปรแกรม Edpuzzle และ 4) แผนการฝึกอบรมเรื่อง การสร้างข้อสอบออนไลน์ด้วย Google Form

ขั้นตอนที่ 2 จัดทำคู่มือการใช้ชุดฝึกอบรมเพื่อพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร คือ ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่แจ้งความประสงค์เข้าร่วมโครงการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนการสอนโดยใช้ ICT เป็นฐาน จำนวน 330 คน

1.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างของการวิจัย แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1.2.1 กลุ่มทดลองรายบุคคล จำนวน 3 คน คัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Selection)

1.2.2 กลุ่มทดลองกลุ่มย่อย จำนวน 30 คน คัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Selection)

2. ผู้เชี่ยวชาญ ผู้เชี่ยวชาญในการวิจัยระยะที่ 2 คือ ผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล จำนวน 3 ท่าน ทำการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Selection)

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 แบบวัดทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน สังเคราะห์จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด จำนวน 23 ข้อ คำถามแต่ละข้อมีความสอดคล้อง (IOC) ไม่น้อยกว่า .60 และค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม เท่ากับ .887

3.2 แบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อรูปแบบ สังเคราะห์จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด จำนวน 23 ข้อ คำถามแต่ละข้อมีความสอดคล้อง (IOC) ไม่น้อยกว่า .60 และค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามเท่ากับ .835

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยระยะที่ 2 ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลเพื่อการพัฒนารูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ฯ ให้มีประสิทธิภาพ ดังนี้

4.1 นำรูปแบบฯ ที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับกลุ่มทดลองรายบุคคล วิเคราะห์ประสิทธิภาพได้ค่า E_1/E_2 เท่ากับ 70: 75 จากนั้นมีการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของกลุ่มทดลอง และจุดบกพร่องที่ผู้วิจัยพบในระหว่างการทดลองใช้กับกลุ่มทดลองรายบุคคล

4.2 นำรูปแบบฯ ที่ผ่านการปรับปรุงหลังจากนำไปใช้กับกลุ่มทดลองรายบุคคล ไปใช้กับกลุ่มทดลองรายกลุ่ม ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพได้ค่า E_1/E_2 เท่ากับ 84.53: 83.00 จากนั้นมีการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของกลุ่มทดลอง

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยระยะที่ 2 ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของรูปแบบการพัฒนาครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ด้านทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน ด้วยพิจารณาเกณฑ์ประสิทธิภาพ E_1/E_2

ระยะที่ 3 ศึกษาผลการใช้รูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ การวิจัยในระยะที่ 3 เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) แบบกลุ่มตัวอย่างกลุ่มเดียว ทดสอบก่อน-หลัง (One-Group Pretest-Posttest Design) การวิจัยในระยะนี้สอดคล้องกับขั้นการนำไปใช้ (Implementation) และขั้นการประเมินผล (Evaluation) ตามขั้นตอนการพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนของ ADDIE Model

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร คือ ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่แจ้งความประสงค์เข้าร่วมโครงการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนการสอนโดยใช้ ICT เป็นฐาน จำนวน 330 คน

1.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ จำนวน 30 คน คัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Selection)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เครื่องมือการวิจัยที่ใช้ในการวิจัยระยะที่ 3 ได้แก่

2.1 แบบวัดทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน

2.2 แบบสอบถามความพึงพอใจของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่มีต่อรูปแบบฯ

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิจัยระยะที่ 3 มีการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

3.1 เก็บรวบรวมคะแนนก่อนอบรมตามรูปแบบฯ โดยรวบรวมจากแบบวัดทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน

3.2 รวบรวมคะแนนหลังอบรมตามรูปแบบฯ โดยรวบรวมจากแบบวัดทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน และแบบสอบถามความพึงพอใจของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่มีต่อรูปแบบฯ

4. การวิเคราะห์ข้อมูล การวิจัยระยะที่ 3 ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

4.1 วิเคราะห์ทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน โดยหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

4.2 เปรียบเทียบทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน ก่อนและหลังการอบรมตามรูปแบบฯ โดยใช้การทดสอบที (t-test)

4.3 วิเคราะห์ความพึงพอใจของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่มีต่อรูปแบบฯ โดยวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ผลการศึกษา

1. ความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้

ทักษะด้าน ICT	ความต้องการพัฒนา		
	$(\overline{X})$	S.D.	ความหมาย
การสร้างสื่อการสอนประเภทเกม	2.93	0.26	มาก
การจัดการห้องเรียนออนไลน์	2.76	0.62	มาก
การสร้างสื่อการสอนประเภทวิดีโอ	2.34	0.56	มาก
การสร้างข้อสอบออนไลน์	2.87	0.45	มาก
การสืบค้นความรู้บนระบบเครือข่าย	1.68	0.62	ปานกลาง
การซ่อมบำรุงอุปกรณ์ ICT	1.58	0.54	น้อย
การสร้างสื่อการสอนเสมือนจริง (AR)	1.63	0.55	น้อย
ทักษะ ICT อื่น ๆ	1.13	0.34	น้อย
รวม	**2.11**	**0.16**	**ปานกลาง**

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของแนวทางการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้

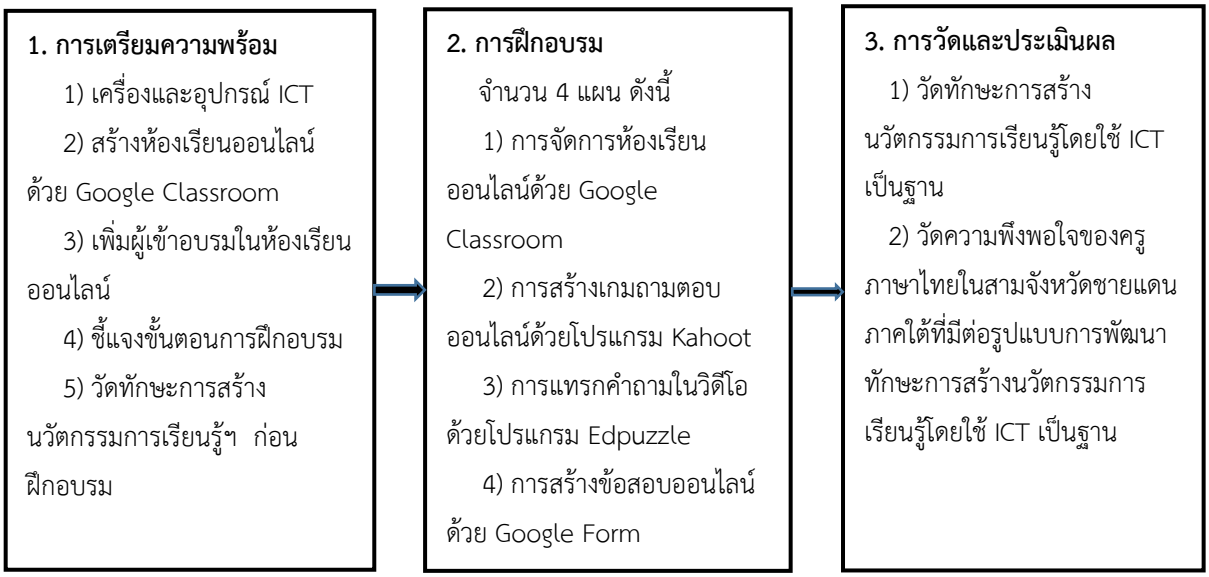
แนวทางการพัฒนาทักษะ	จำนวน	ร้อยละ
การปฐมนิเทศ	58	32.22
การฝึกอบรม	74	41.11
การศึกษาดูงาน	27	15.00
การศึกษาต่อ	15	8.33
แนวทางอื่น ๆ	6	3.33
รวม	**180**	**100.00**

จากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 พบว่า ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้มีความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน โดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง ($\overline{X}$=2.11) โดยมีความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างสื่อการสอนประเภทเกมมากที่สุด ($\overline{X}$=2.93) และครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 41.11) เห็นว่าการฝึกอบรมเป็นแนวทางในการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน

2. รูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน

จากผลการศึกษาความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ ดังตารางที่ 1 และ 2 รวมทั้งการระดมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ (Focus

Group) ผู้วิจัยได้สังเคราะห์รูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน ได้ 3 องค์ประกอบหลัก ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 องค์ประกอบหลักของรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทย ในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน

และผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน

คะแนน	คะแนนเต็ม	($\bar{X}$)	ร้อยละของค่าเฉลี่ย
ประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1)	39	32.97	84.53
ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2)	60	50.00	83.00

จากตารางที่ 3 พบว่า รูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน มีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.53/83.00 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ได้มาตรฐาน ดังนั้นรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ฯ ที่พัฒนาขึ้น จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้พัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน

3. ผลการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ ดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้

การฝึกอบรม	ระดับทักษะ		
	$(\overline{X})$	S.D.	ความหมาย
การจัดการห้องเรียนออนไลน์ด้วย Google Classroom	3.92	0.76	มาก
การสร้างเกมถามตอบออนไลน์ด้วยโปรแกรม Kahoot	4.54	0.31	มากที่สุด
การแทรกคำถามในวิดีโอด้วยโปรแกรม Edpuzzle	3.56	0.61	มาก
การสร้างข้อสอบออนไลน์ด้วย Google Form	4.13	0.72	มาก
รวม	**3.99**	**0.52**	**มาก**

จากตารางที่ 4 พบว่า ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้มีทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน อยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$=3.99) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า มีทักษะการสร้างเกมถามตอบออนไลน์ด้วยโปรแกรม Kahoot มากที่สุด ($\overline{X}$=4.54) รองลงมา ได้แก่ ทักษะการสร้างข้อสอบออนไลน์ด้วย Google Form ($\overline{X}$=4.13) ทักษะการจัดการห้องเรียนออนไลน์ด้วย Google Classroom ($\overline{X}$=3.92) และทักษะการแทรกคำถามในวิดีโอด้วยโปรแกรม Edpuzzle ($\overline{X}$=3.56)

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ ก่อนและหลังการอบรมด้วยรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน

กลุ่มตัวอย่าง	N	$(\overline{X})$	df	T	p
ก่อนอบรม	30	3.07	29	-43.713	.000
หลังอบรม	30	3.99			

*p < .01

จากตารางที่ 5 พบว่า ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้มีทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐานก่อนและหลังการอบรมด้วยรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมฯ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยมีทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ฯ หลังอบรมสูงกว่าก่อนอบรม

4. ความพึงพอใจของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่มีต่อรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความพึงพอใจของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่มีต่อรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน

รายการ	ความพึงพอใจ		
	$(\overline{X})$	S.D.	ความหมาย
การเตรียมความพร้อม			
1. ความพร้อมของเครื่องและอุปกรณ์ ICT	4.70	0.47	มากที่สุด
2. การชี้แจงเกี่ยวกับการฝึกอบรม	4.50	0.51	มากที่สุด
3. กระบวนการวัดทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ก่อนการอบรม	4.77	0.43	มากที่สุด
4. กระบวนการสร้างความตระหนักถึงความสำคัญของ ICT ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้	4.33	0.71	มาก

รายการ	ความพึงพอใจ		
	($\overline{X}$)	S.D.	ความหมาย
5. กระบวนการสร้างแรงจูงใจในการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน	4.40	0.62	มาก
รวม	**4.54**	**0.27**	**มากที่สุด**
การฝึกอบรม			
1. เรื่อง การจัดการห้องเรียนออนไลน์ด้วย Google Classroom	4.31	0.19	มาก
2. เรื่อง การสร้างเกมถามตอบออนไลน์ด้วยโปรแกรม Kahoot	4.93	0.20	มากที่สุด
3. เรื่อง การแทรกคำถามในวิดีโอด้วยโปรแกรม Edpuzzle	3.78	0.56	มาก
4. เรื่อง การสร้างข้อสอบออนไลน์ด้วย Google Form	4.51	0.43	มากที่สุด
รวม	**4.38**	**0.20**	**มาก**
การวัดและประเมินผล			
1. กระบวนการวัดทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้หลังการอบรม	4.67	0.48	มากที่สุด
2. กระบวนการสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ฯ	4.20	0.76	มาก
รวม	**4.43**	**0.50**	**มาก**
โดยภาพรวม	**4.43**	**0.17**	**มาก**

จากตารางที่ 6 พบว่า ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้มีความพึงพอใจต่อรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ฯ โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$=4.43) เมื่อพิจารณาในรายองค์ประกอบ พบว่า มีความพึงพอใจต่อการเตรียมความพร้อมมากที่สุด ($\overline{X}$=4.54) รองลงมาคือ การวัดและประเมินผล ($\overline{X}$=4.43) และการฝึกอบรม ($\overline{X}$=4.38) ตามลำดับ

อภิปรายผลการศึกษา

1. การที่ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ มีความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐาน โดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง และเมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ส่วนใหญ่มีความต้องการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ฯ อยู่ในระดับมาก น่าจะเป็นเพราะ ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้มีความต้องการพัฒนาศักยภาพของตนเองให้เป็นผู้มีความรู้และทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะกับการจัดการศึกษาเป็นนวัตกรรมการเรียนรู้ที่แปลกใหม่ที่สามารถดึงดูดความสนใจของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 สอดคล้องกับความต้องการของครูผู้สอนส่วนใหญ่ในปัจจุบัน ดังผลการศึกษาของ วาเลน ดุลยากร, ประกอบ กรณีกิจ, และจินตวีร์ คล้ายสังข์ (2562, น. 352-368) ที่ศึกษาพบว่า ครูส่วนใหญ่มีความต้องการบูรณาการ ICT ในการสอน โดยครูผู้สอนต้องการให้มีผู้เชี่ยวชาญภายนอกที่มีประสบการณ์ด้านการบูรณาการ ICT ในการสอนช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเลือกใช้ ICT ในการสอน รองลงมาคือ การร่วมมือกันในการผลิตสื่อ ICT และเตรียมอุปกรณ์ และการร่วมมือกันออกแบบการสอนโดยใช้ ICT แก้ปัญหาผู้เรียน

2. การที่รูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้โดยใช้ ICT เป็นฐาน มีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.53/83.00 จัดเป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพได้มาตรฐาน น่าจะเป็นเพราะการฝึกอบรม (Training) เป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาทรัพยากรบุคคล การฝึกอบรมช่วยเพิ่มพูนความรู้และประสิทธิภาพในการทำงานให้กับบุคลากร การฝึกอบรมความรู้ใหม่ ๆ อยู่เสมอจะช่วยให้บุคลากรมีความรู้ความชำนาญที่

เหมาะสำหรับการทำงาน เจริญก้าวหน้าไปพร้อม ๆ กับองค์กร (ราเชนทร์ นพณัฐวงศกร, ปุณณ์พิชญา รอดเปล่ง, และอาริยาพัชร์ น้อยวิไล, 2559) ซึ่งสอดคล้องกับ วรลักษณ์ คำหว่าง และนงลักษณ์ ใจฉลาด (2560, น. 129) ที่ศึกษาพบว่า แนวทางการพัฒนาทักษะสารสนเทศ สื่อ เทคโนโลยี ควรใช้การอบรมเชิงปฏิบัติการหรือสัมมนา อีกทั้งรูปแบบการพัฒนาครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ ด้านทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน ที่พัฒนาขึ้น มีการแบ่งการฝึกอบรมออกเป็นแผนการฝึกอบรมย่อย ๆ โดยแต่ละแผนการฝึกอบรมจะเน้นการฝึกปฏิบัติการใช้งาน ICT จัดเตรียมความพร้อมทั้งด้านวัสดุอุปกรณ์และแรงบันดาลใจในการพัฒนาตนเองของครูผู้สอนที่เข้ารับการพัฒนาตามรูปแบบ ทั้งนี้เพื่อให้ครูผู้สอนสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง อนึ่ง แผนการฝึกอบรมที่พัฒนาขึ้นในครั้งนี้ได้เลือกใช้โปรแกรมพื้นฐาน ใช้งานง่าย และให้บริการฟรี มาใช้ในการฝึกทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้

3. การที่ทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ ICT เป็นฐานของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ หลังการอบรมอยู่ในระดับมาก และสูงกว่าก่อนอบรม น่าจะเป็นเพราะ ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้มีความต้องการพัฒนาตนเองด้าน ICT ให้เป็นผู้มีความรู้และทักษะที่พร้อมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง เพื่อให้เป็นครูที่มีคุณลักษณะของครูผู้สอนในศตวรรษที่ 21 และเป็นครูผู้สอนที่มีคุณลักษณะตามที่ผู้เรียนต้องการ ดังที่มีเสียงสะท้อนจากผู้เรียนว่า “อยากได้ครูผู้ที่มีทักษะในการสอนให้ผู้เรียนให้เป็นผู้ทักษะในการเรียนรู้ด้วยตนเอง และนำเนื้อหาไปใช้ในชีวิตจริงได้” (สำนักงานส่งเสริมสังคมแห่งการเรียนรู้และคุณภาพเยาวชน, 2557) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ อนุวัฒน์ เอี่ยมแสน (2562, น. 159) ที่ผลการศึกษาพบว่า ครูในโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานเขตกรุงเทพมหานครมีความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันทางการศึกษาอยู่ในระดับมาก เพราะ ครูมีความพร้อมที่จะเปลี่ยนแปลงการจัดการเรียนการสอน เพื่อส่งเสริมและสร้างองค์ความรู้ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดให้กับผู้เรียน

4. การที่ครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้มีความพึงพอใจต่อรูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน น่าจะเป็นเพราะ รูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ฯ ที่พัฒนาขึ้น เป็นรูปแบบฯ ที่มีประสิทธิภาพ เหมาะสำหรับพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาครูให้มีคุณลักษณะของผู้สอนในศตวรรษที่ 21 ใน 3 แนวทาง คือ การผลิตครูต้องมีกระบวนการให้ได้บุคลากรที่มีคุณภาพ การพัฒนาครูที่มีอยู่ในปัจจุบันให้รู้จักปรับตัวเข้าสู่โลกปัจจุบัน และการใช้ครูให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สำนักงานส่งเสริมสังคมแห่งการเรียนรู้และคุณภาพเยาวชน, 2557) ซึ่งสอดคล้องกับความคิดเห็นของ ฝ่ายพัฒนาบุคคล มหาวิทยาลัยรังสิต (2561) ที่กล่าวว่า กระบวนการฝึกอบรมช่วยให้บุคลากรมีความรู้และความเชี่ยวชาญในการปฏิบัติงานอย่างมีคุณภาพและประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความก้าวหน้าในหน้าที่การงานของบุคลากรเอง และความก้าวหน้าขององค์กร

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งนี้

ด้วยการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ตามรูปแบบฯ ที่พัฒนาขึ้น จะเน้นการฝึกปฏิบัติเพื่อให้ผู้เข้าอบรมสามารถนำความรู้ไปใช้งานจริง ดังนั้นเพื่อให้การใช้รูปแบบฯ มีประสิทธิภาพมากที่สุด คุณสมบัติของผู้เข้าอบรมอย่างน้อย จะต้องสามารถใช้งานคอมพิวเตอร์พื้นฐานและสามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตได้

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรพัฒนารูปแบบการพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ ICT เป็นฐานให้กับครูผู้สอนในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้กลุ่มสาระอื่น ๆ หรือครูภาษาไทยในพื้นที่อื่น ๆ

2.2 ควรศึกษาแนวทางอื่น ๆ ที่ช่วยพัฒนาทักษะการสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้ ICT เป็นฐาน

2.3 ควรศึกษาความคงทนของการเรียนรู้และทักษะด้าน ICT ของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่ผ่านการเรียนรู้ตามรูปแบบฯ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากงบประมาณบำรุงการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ประจำปีงบประมาณ 2562 การอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา และการให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีของครูภาษาไทยในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่ผู้วิจัยคัดเลือกเป็นกลุ่มตัวอย่างในครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

บรรณานุกรม

กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

ณรงค์ พันธุ์คง, และณมน จีรังสุวรรณ. (2562). การพัฒนาตัวบ่งชี้สมรรถนะด้านไอซีทีสำหรับผู้สอนในมหาวิทยาลัยราชภัฏ. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา*, *14*(1), 119-129.

ทรงลักษณ์ สกุลวิจิตร์สินธุ. (2560). การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการเรียนรู้ร่วมกันทางออนไลน์. *Veridian E-Journal, Silpakorn University, 10*(2), 437-450.

ฝ่ายพัฒนาบุคคล มหาวิทยาลัยรังสิต. (2561). *การพัฒนาบุคลากร*. สืบค้น 1 สิงหาคม 2561, จาก https://www.rsu.ac.th/hrd2/develop/.

ราเชนทร์ นพณัฐวงศกรม, ปุณณ์พิชญา รอดเปล่ง, และอาริยาพัชร์ น้อยวิไล. (2559). การฝึกอบรม : หัวใจสำคัญของการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติสหวิทยาการเอเชียอาคเนย์ 2559 ครั้งที่ 3.* กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์.

วรลักษณ์ คำหว่าง, และนงลักษณ์ ใจฉลาด. (2560). แนวทางพัฒนาทักษะครูในศตวรรษที่ 21 สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา ในจังหวัดพิษณุโลก. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, *6*(1), 129-138.

วาเลน ดุลยากร, ประกอบ กรณีกิจ, และจินตวีร์ คล้ายสังข์. (2562). การศึกษาสภาพและความต้องการพัฒนาความสามารถการบูรณาการไอซีทีในการสอนของครูระดับประถมศึกษา สังกัดคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชน. *วารสารครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, *47*(2), 352-368.

วีระ วงศ์สรรค์. (2559). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาที่มีผลการเรียนต่ำ. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี*, *5*(1), 95-104.

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2561). *ระบบประกาศและรายงานผลสอบโอเน็ต*. สืบค้น 26 พฤศจิกายน 2561, จาก http://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/Login.aspx.

สำนักข่าวไทย. (2561). *ครูไทย ยุคไทยแลนด์ 4.0* . สืบค้น 26 พฤศจิกายน 2561, จาก https://tna.mcot.net/tna-175809.

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2561). *แนวทางการประเมินคุณภาพตามมาตรฐานการศึกษาระดับปฐมวัย ระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานและระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานศูนย์การศึกษาพิเศษ.* กรุงเทพฯ : ม.ป.พ.

สำนักงานส่งเสริมสังคมแห่งการเรียนรู้และคุณภาพเยาวชน. (2557). *ยุทธการเปลี่ยน 'ครูเฉย' สู่ครูยุคศตวรรษที่ 21.* สืบค้น 15 ธันวาคม 2561, จาก http://seminar.qlf.or.th/Seminar/Topic/29

อนุวัฒน์ เอี่ยมแสน. (2562). ความต้องการใช้สื่อนวัตกรรมเพื่อการเรียนรู้ของครูในโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานเขตกรุงเทพมหานคร. *วารสารวิจัยการบริการการพัฒนา*, *9*(3), 151-161.

Krecie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). "Determining Sample Size for Research Activities". *Educational and Psychological Measurement.,30*, 607-610

Translated Thai References

Aimseam, A. (2019). The Need for Using Educational Innovation Media for Learning of the School Teachers Under the Office of Basic Education Commission in Bangkok. *The Journal of Department Administration Research*, *9*(3), 151-161. [in Thai]

Dulyakorn,V., Koraneekit, P. & Khlaisan, J. (2019). Needs Assessment of ICT Integrated Teaching Ability Development for Primary School Teachers under the Office of the Private Education Committee (Private School). *Journal of Education Studies, Chulalongkorn University*, *47*(2), 352-368. [in Thai]

Human Department Rangsit University. (2018). *Human Resources Development*. Retrieved August 1, 2018, from https://www.rsu.ac.th/hrd2/develop/. [in Thai]

Kumvang, W., & Jaichalad, N. (2017). Guideline of 21st Century Skills for Phitsanulok Secondary Educational Service Area Office. *Lampang Rajabhat University Journal, 6*(1), 129-138. [in Thai]

Ministry of Education. (2008). *Basic Education Curriculum 2008*. Bangkok : Khurusapha Ladprao printing House. [in Thai]

National Institute of Educational Testing Institute. (2018). *Onet Announcement and Reporting System.* Retrieved November 26, 2018, from http://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/Login.aspx.. [in Thai]

Nopnatwongsakorn, R., Rodpleng, P., & Noiwilai, A. (2016). Training : Heart of Human Resources Development. In *The 3rd SAU National Interdisciplinary Conference 2016*. Bangkok : Southeast Asia University. [in Thai]

Office of the Basic Education Commission. (2018). *Guidelines for Quality Assessment in Early Childhood Education, Basic Education and Special Education Center.* Bangkok : N.P. [in Thai]

Office of the Social Promotion of Learning and Youth Quality. (2014). *The Operation to Changing the 'Teacher Indifference' into 21st Century Teacher*. Retrieved December, 15, 2018, from http://seminar.qlf.or.th/Seminar/Topic/29. [in Thai]

Office of the Thai News. (2018). *Thai Teachers in Thailand 4.0*. Retrieved November, 26, 2018, from https://tna.mcot.net/tna-175809 [in Thai]

Punkong, N., & Jeerungsuwan, N. (2019). A Development ICT Competency Indicator for Academic Personnel in Rajabhat Universities. *Journal of Yala Rajabhat University*, *14*(1), 119-129 [in Thai]

Sakulwichitsintu, S. (2017). Using the Information Technology for Collaborative Learning online. *Veridian E-Journal, Silpakorn University, 10*(2), 437-450 [in Thai]

Wongsan, W. (2016). The Development in Academic Achievement of Primary Student at Low Grade. *Academic Journal Bangkokthonburi University, 5*(1), 95-104. [in Thai]

7.00

Sci2.3-42

Engineering and Applied Science Research 2022;49(1):36-46 Research Article

EASR

Engineering and Applied Science Research

https://www.tci-thaijo.org/index.php/easr/index

Published by the Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand

Biodiesel production process catalyzed by acid-treated golden apple snail shells (*Pomacea canaliculata*)-derived CaO as a high-performance and green catalyst

Sunti Phewphong[1)], Wuttichai Roschat*[1, 2)], Phongsakorn Pholsupho[1, 2)], Preecha Moonsin[3)], Vinich Promarak[4)] and Boonyawan Yoosuk[5)]

[1)]Biomass Energy Research Laboratory, Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institute, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000, Thailand
[2)]Program of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000, Thailand
[3)]Program of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani 34000, Thailand
[4)]Department of Materials Science and Engineering, School of Molecular Science & Engineering, Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology, Rayong 21210, Thailand
[5)]National Metal and Materials Technology Center (MTEC), Prathumthani 12120, Thailand

Received 9 December 2020
Revised 17 May 2021
Accepted 18 May 2021

Abstract

In this study, acid-treated golden apple snail shells (*Pomacea canaliculata*)-derived calcium oxide (CaO_tr) were used as a high-performance catalyst for the transesterification of palm oil and waste cooking oil (WCO) because the golden apple snail shells were found in plenty in Thailand, and they were also the major pest of rice. The obtained final materials were calcined in air at 800 °C for 3 h referred by TGA analysis denoting as CaO_tr catalyst. All of the catalysts were characterized and tested by using several techniques including XRD, EDX, SEM, basic strength by Hammett indicator method, total basic site by TPD-CO_2, and BET specific surface area by N_2 adsorption. The results indicated that the CaO_tr had a specific surface area of 7.5544 m^2/g and it was higher than CaO_un approximately 2 times. The kinetics of the reaction followed pseudo-first-order with the rates constants of reaction (k) equal 1.35×10^{-2} min^{-1} for the reaction which catalyzed by acid-treated golden apple snail shells-derived CaO catalyst (CaO_tr), while un-treated golden apple snail shells-derived CaO catalyst (CaO_un) gave k value of 1.18×10^{-2} min^{-1}, respectively. Under the optimal of reaction conditions at catalyst loading of 5 wt. %, methanol/oil molar ratio of 12:1, reaction temperature 65 °C, and 5% v/v relative to the amount of methanol of THF as a co-solvent; more than 97% yield of biodiesel could be achieved in 150 min by using CaO_tr. The final part, biodiesel product obtained from palm oil and WCO catalyzed by CaO_tr catalyst has high quality and meets the specified standards of biofuels for the diesel engines both of the EN-14214 and ASTM-D6751 standard testing method. Thus, the utilization of the acid treatment method for enhancement of the catalytic activity of CaO catalyst from golden apple snail shells and the applied co-solvent method for increase the performance of biodiesel production was a process with a high potential in the biodiesel production for the community scale and industrial scale.

Keywords: Golden apple snail shells (*Pomacea canaliculata*), CaO, Acid-treatment, Biodiesel oil, Kinetics of reaction

1. Introduction

Generally, biodiesel oil is well known that it is one of the best choices for alternative renewable energy sources because it can be produced from various sources of plant oil and animal fat. In addition, biodiesel oil is biodegradable, non-toxicity, and environmentally friendly with showing low emission pollutant gases such as CO, CO_2, NO, NO_x and SO_x. It also can be used directly in the diesel engine with no requirement modifications engine especially agricultural engines [1-4].

Biodiesel is generally produced on an industrial scale with the use of transesterification reactions catalyzed by homogeneous catalysts such as sodium hydroxide (NaOH), potassium hydroxide (KOH), and sodium methoxide (CH_3ONa) [4, 5]. Normally, the methanol (CH_3OH) is popularly applied as a reagent in the biodiesel production process via the transesterification reaction than ethanol (C_2H_5OH) due to the methanol is suitable physicochemical properties, highly active in the mild reaction conditions, and easy phase separation [6]. Although these homogeneous catalysts provide a high yield of biodiesel products under the moderate reaction conditions (low temperature and pressure) and short reaction time, it has many drawbacks including a large amount of wastewater from the cleaning process to remove the catalyst and soap in the product. It is also corrosion of the reactor and sensitive with water and free fatty acid that content in the oil as raw material to produce soap formation. These major problems have directly increased the cost of biodiesel production and the environmental crisis [6-8]. Consequently, several researchers have focused on solving the disadvantages of the homogeneous catalytic process with the use of heterogeneous catalysts for biodiesel production.

*Corresponding author. Tel.: +66 4297 0030
Email address: roschat1@gmail.com
doi: 10.14456/easr.2022.4

The advantages of heterogeneous catalysts are less reactivity with free fatty acid and moisture in the oil, easy to separate from the reaction mixture, reduced the use of water for cleaning biodiesel product, and simple to reuse and recycle [7, 8]. However, the major drawback of the heterogeneous catalyst is the case of the slow reaction rate (needed to the long reaction time) and requirement a large amount of catalyst due to the problem from the reaction mixture. In the system of biodiesel production via the heterogeneous catalyzed process, it consists of a three-phase mixture namely the oil (reactants), methanol (reagent), and the catalyst [7, 9]. Hence, the solution to this problem is a great challenge to enhance the biodiesel production process. The modification of the heterogeneous catalyst is one of the attractive ways from several choices into development biodiesel production.

Alkaline earth metal oxides especially calcium oxide (CaO) is one of the most chosen to apply in the biodiesel production process because they are low cost, non-toxicity, easy to find and prepare, and can be used under mild reaction conditions and easy to reusability [7-11]. Several articles have been reported the use of egg shells and shells as raw materials for synthesis CaO as a catalyst and study the optimum reaction conditions [12]. Buasri et al. [13] has reported the application of eggshell wastes to prepare CaO as a heterogeneous catalyst for synthesis biodiesel product. They found that the calcinated eggshell at 900 °C for 4 h under the air atmosphere can be converted to CaO material and the optimum conditions to produce biodiesel product including the reaction time of 4 h, methanol to oil molar ratio of 9:1, reaction temperature of 65 °C, catalyst loading of 20 wt. % to give the yield of biodiesel approximately of 92–94%. Sai Bharadwaj et al. [14] have presented that the utilization of eggshell to generate CaO as a catalyst for biodiesel production from rubber seed oil (RSO). The results found that the conversion of RSO to biodiesel product reached a yield of 99.7% at the condition of 4 wt. % of the catalyst, 12:1 methanol to oil molar ratio, and 3 h of reaction time. Pike et al. [15] utilized eggshells as catalyst to synthesize biodiesel product at room temperature. The results indicated that the biodiesel yield was 97-98% after the reaction time of 11 h for the use of catalyst 5.8 wt. %, and 6:1 methanol to oil molar ratio.

Furthermore, the uses of several type shells as raw material to synthesize CaO catalyst for biodiesel production have been reported. Roschat et al. [3] was used the river snail shell-derived CaO catalyst to produce biodiesel oil from palm oil and waste cooking oil. The results found that the reaction condition at the temperature of 65 °C, methanol to oil molar ratio of 12:1 and catalyst amount of 3 h, gave the yield of biodiesel highly of 94-97%. Sani et al. [16] applied the waste snail shell by calcination at 800 °C for 4 h to convert $CaCO_3$ to CaO and they also reported relating to the catalytic activity of the obtained catalyst. The results displayed that the yield of biodiesel was 84.14% following reaction conditions of temperature at 60 °C, time of 3 h, and methanol to oil molar ratio of 9:1. Laskar et al. [17] found that a waste snail shell (*Pila spp.*) can be used to prepare the CaO catalyst with a calcination temperature of 900 °C for 4 h. This report was shown that the biodiesel yield of 98% was achieved following the optimized conditions of the catalyst loading of 3 wt. %, a reaction time of 7 h, methanol to oil molar ratio of 6:1, and carried out at ambient temperature (28 °C). Hangun-Balkir [18] utilized waste shells (the eggshells and lobster shells) to prepare CaO as sustainable catalysts for biodiesel production from *camelina sativa* oil. The maximum biodiesel yields were the conditions of catalyst loading amount of 1 wt. %, methanol to oil molar ratio with 12:1 and time of 3 h at 65 °C. In the previous examples, it is found that the traditional preparation of CaO as a catalyst from several shells with simple calcination is not enough to enhance catalytic activity due to the biodiesel production process still need to use a long reaction time.

Therefore, the present work emphasizes the use of the waste shells from agricultural namely golden apple snail shells (*Pomacea canaliculata*) which are found in plenty in Thailand and they are also the major pest of rice. The utilization of golden apple snail shells to prepare CaO as a catalyst for biodiesel production is interested especially the development and improvement of their catalytic activity. Consequently, the objective of this work is the preparation of a highly active CaO derived from golden apple snail shells by the acid treatment and hydrothermal method which might be a way to increase efficiency and catalytic activity. Due to the acid treatment method followed by the calcination of the raw material could be eliminated some impurity and may cause corrosion on parts of the surface of them which resulted in a larger area of the obtained catalyst. The physicochemical properties of the obtained catalyst were analyzed, characterized, and tested by several techniques such as XRD, BET surface area, SEM, EDX, TGA, Hammett indicators method and CO_2-TPD. The palm oil and waste cooking oil were used as a precursor to performing the transesterification reaction in order to examine the catalytic activity of CaO catalyst with and without acid treatment of the golden apple snail shells. Additionally, the reaction rate kinetics of this biodiesel production process was investigated by following the hypothesis of pseudo-first-order kinetic. In the final part of this work, the obtained biodiesel product was evaluated following the European Standard methods (EN14214) and American Society testing and material (ASTM) method which was the standard method for testing biodiesel oil as a bio–auto fuel. All of the data obtained from this work could be employed for applications in the biodiesel production process both on the community-scale and industrial-scale production in the future.

2. Experimental

2.1 Materials

The palm oil and waste cooking oil (denoted as WCO) were collected from the commercial sources in Thai market and the free fatty acid (FFA) content was 0.28 mg KOH/g of oil and 1.24 mg KOH/g of oil, respectively. Golden apple snail shells (*Pomacea canaliculata*) were obtained from agricultural areas in Sakon Nakhon province. The chemicals used in this work namely methanol (CH_3OH), tetrahydrofuran (C_4H_8O; THF), acetone (C_3H_6O), hydrochloric acid (HCl), sodium carbonate (Na_2CO_3), potassium hydroxide (KOH), and calcium oxide (CaO) were obtained from SIGMA and QReC™. Hammett indicators namely phenolphthalein ($C_{20}H_{14}O_4$), thymolphthalein ($C_{28}H_{30}O_4$), indigo carmine ($C_{16}H_8N_2Na_2O_8S_2$), 2,4-dinitroaniline ($C_6H_5N_3O_4$), and 4-nitroaniline ($C_6H_6N_2O$) used to test the basic strengths (H_-value) of the catalyst were purchased from Aldrich and Fluka.

2.2 Catalyst preparation and characterization

The highly active CaO derived from golden apple snail shells (*Pomacea canaliculata*) via the acid treatment and hydrothermal method was performed by cleaning the shells with water several times and air-dried in an oven at 100 °C for 3 h. After that, the dried golden apple snail shells were crushed and sieved to be the powder. Then, the obtained powder material was brought into the process of acid treatment and the overall reactions for the acid-treated golden apple snail shells-derived CaO catalyst step can be summarized from chemical equation (1)-(3):

$$CaCO_{3(s)} + 2HCl_{(ag)} \longrightarrow CaCl_{(ag)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(1)} \quad (1)$$

$$CaCl_{2(ag)} + Na_2CO_{3(ag)} \longrightarrow CaCO_{3(s)} + 2NaCl_{(ag)} \quad (2)$$

$$CaCO_{3(s)} \longrightarrow CaO_{(s)} + CO_{2(g)} \quad (3)$$

The acid treatment process started with the direct interaction of the obtained golden apple snail shells powder ($CaCO_3$) reacted against HCl (concentration 2 molar) to produce $CaCl_2$ solution. Subsequently, the obtained $CaCl_2$ solution was reacted with Na_2CO_3 to generate $CaCO_3$ phase by sedimentation. The obtained $CaCO_3$ phase was dried in hot air oven 100 °C for 3 h. The final step for preparing the catalyst was the calcination of the obtained $CaCO_3$ material for the transformation into the highly active CaO at the temperature of 800 °C for 3 h based on TGA analysis results denoted as CaO_tr. The raw material golden apple snail shells were also calcined at the same condition to produce the CaO phase (denoted as CaO_un) for the comparison of the catalytic activity against CaO_tr.

The first process of the characterization part started with the use of thermal gravimetric analysis (a Rigaku TG/DTA 8120 thermal analyzer, Japan) to determine the thermal decomposition of the $CaCO_3$ phase obtained by acid treatment and compared with raw material golden apple snail shells. The condition of the TGA analysis consists of a heating rate of 10 °C/min under the airflow and the thermal degradation range for analysis of the sample was between room temperature to 1000 °C. All of the obtained material was identified by X–ray powder diffraction (XRD) (a Brüker D5005 X-ray diffractometer, Germany) followed parameter of the Cu Kα radiation (k = 1.5418 A) at 1600 W, 40 kV, and 40 mA, 0.02° per step, and the range of 2Θ from 20-80°. EDX-720 (Shimadzu, Japan) was applied to determine the elementals chemical composition of the sample both before and after the treatment of golden apple snail shells. Bel-sorp-mini II (Bel-Japan) was used to study surface area according to Brunauer-Emmett-Teller (BET) isotherm plot of nitrogen adsorption and desorption at the low temperature. The morphology of the treated golden apple snail shells was studied by JEOL JSM 6010LV scanning electron microscope (Shimadzu, Japan). The basic site property of the obtained material was tested by temperature programmed desorption using a probe molecule of CO_2 (CO_2-TPD method) with the Chemisorption Analyzer (Belcat B, Bel-Japan). Finally, the Hammett indicator method was used to test basic strength of the obtained CaO sample by observing the color change of all indicators namely phenolphthalein (pK_a=9.7), thymolphthalein (pK_a=9.9), indigo carmine (pK_a=12.2), 2, 4-dinitroaniline (pK_a=15) and 4-nitroaniline (pK_a=18.4) followed the method of Roschat et al., (2018).

2.3 Transesterification reaction process

The biodiesel oil was synthesized via transesterification reaction of palm oil against methanol by following the conditions consisting of 12:1 methanol to oil molar ratio, 5 wt.% of CaO catalyst and reaction temperature of 65 °C agreeable with the report of Roschat et al. [2, 3, 19] and Hangun-Balkir [18]. The reaction was carried out in a 3-necked round flask batch reactor with a size of 250 mL and equipped with a reflux condenser, magnetic stirrer, and a thermometer control. This work focused on the catalytic performance tests of CaO_tr compared with CaO_un under the same reaction condition. To monitor the reaction progress, the reaction mixture was sampled 0.5-1.0 mL every specific period of time. The excess amount of methanol in the reaction mixture was eliminated by an oven at 80 °C for 3 h before preliminary testing with the Thin-layer chromatography (TLC) method which referred from Supamathanon et al. [20] as depicted in Figure 1.

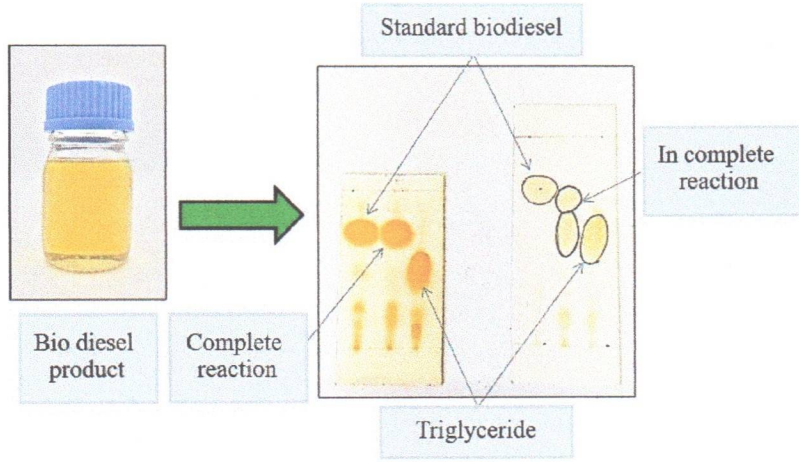


Figure 1 Monitoring the transesterification reaction progress by the thin-layer chromatography (TLC) method.

The percentage conversion of the palm oil to biodiesel product (denoted as fatty acid methyl ester; %FAME) was evaluated by proton nuclear magnetic resonance (^{1}H-NMR) using a Brüker AVANCE III HD (600 MHz) spectrometer (Brüker, Germany) and the $CDCl_3$ was employed as a solvent as shown in Figure 2. To calculate %FAME, the equation from reports of Niju et al. [7, 10] and Roschat et al. [19] was used and referred according to the Eq. (4) as following:

$$\% \text{ FAME} = \frac{2_{A-CH_3}}{3_{A-CH_2}} \times 100 \quad (4)$$

where %FAME is the percentage conversion of the palm oil to biodiesel product. A-CH_3 is an integration value of the methoxy protons of the methyl ester (biodiesel) moiety ($C\underline{H}_3$–OCO–) at chemical shift of 3.68 ppm. A-CH_2 is an integration value of the proton in α–carbonyl methylene protons (R–$C\underline{H}_2$–OCO–) both in triglyceride and methyl ester (biodiesel) at chemical shift of 2.31 ppm. The factors 3 and 2 were derived from the number of attached protons both of the methoxy group and α–carbonyl methylene group, respectively. It should be noted that all of the data in this study were averages from at least three measurements with a deviation within 3%.

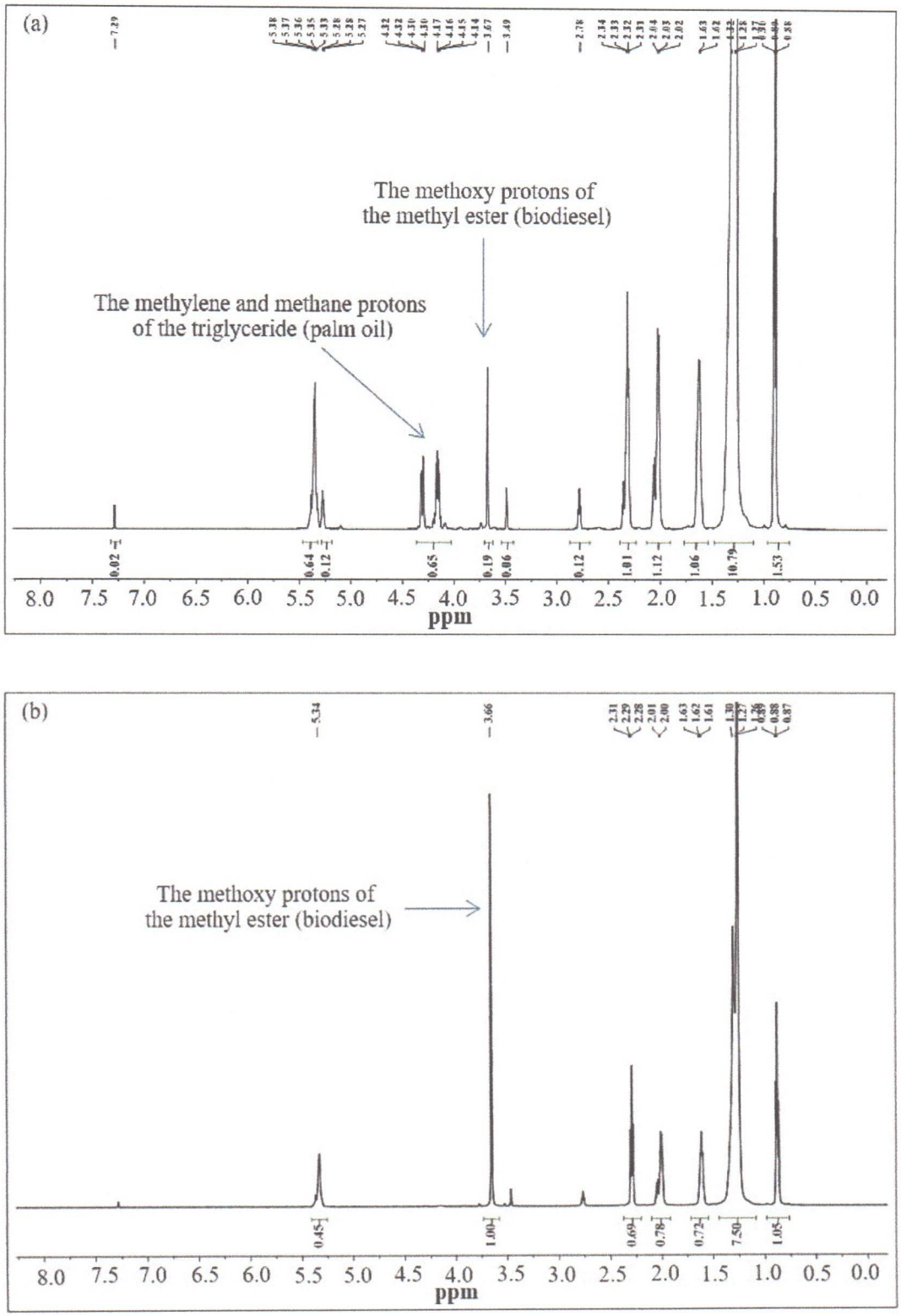


Figure 2 ^{1}H-NMR spectra of (a) incomplete reaction (triglyceride + biodiesel) and (b) complete reaction (shown only biodiesel product).

2.4 The study of reaction kinetics of the transesterification catalyzed by CaO_tr and CaO_un

The data of reaction kinetics from the transesterification of palm oil with methanol and catalyzed by CaO catalyst derived from the golden apple snail shells both with and without treatment was used to compare the catalytic activity. The calculation of reaction rate coefficient (k) employed the method from the report of Roschat et al. [2, 3], Muthukumaran et al. [21], Hebbar et al. [22], and Feyzi and Shahbazi [23]. In this case, the transesterification reaction is assumed to be a single step and pseudo-first order reaction which can be rearranged the equation as in the following:

$$-\ln[1 - X_{ME}] = kt \quad (5)$$

where X_{ME} is the yield of FAME (%FAME/100). k is the reaction rate coefficient and t is the reaction time. Consequently, the equation (5) was applied to study the reaction kinetics of the transesterification catalyzed by CaO_tr compared with CaO_un by the plot of $-\ln[1-X_{ME}]$ versus t which obtained linear graph and the slope to be a k constant.

2.5 The study of fuel properties of biodiesel product

The final process of the study in this work was the evaluated fuel properties of the final biodiesel product. The first step started by purification of the obtained biodiesel oil with the accorded method from the report of Roschat et al. [2, 3]. After the purification process, the purified biodiesel oil was evaluated and tested agreeable to ASTM D6751 and EN 14214 standard method for bio-auto fuel [24-26]. This work focused on the physicochemical property of the testing purified biodiesel oil namely methyl ester content (%FAME) by using gas chromatography (GC-2010, Shimadzu, Japan), kinematic viscosity at 40 °C, density at 15 °C, pour point, cloud point, oxidation stability, total acid number, and total contamination, respectively. All of the parameters for testing the purified biodiesel oil were performed at the Materials for Energy Research Group laboratory, the National Metal and Materials Technology Center (MTEC), the National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Thailand.

3. Results and discussion

3.1 The catalyst preparation and characterizations

The obtained $CaCO_3$ material from the acid treatment process of golden apple snail shells (*Pomacea canaliculata*) was analyzed by thermogravimetric analysis (TGA) and compared with golden apple snail shells material as illustrated in Figure 3. The results found that a major decomposition in the range of 600-800 °C was to be the loss of CO_2 molecule from $CaCO_3$ to give CaO phase both of obtained $CaCO_3$ material from the golden apple snail shells and acid treatment process. These similar results were also explained and reported from the research of Roschat et al. [3], Lee et al. [5], and Laskar et al. [16]. Therefore, the temperature of 800 °C was suitable to select for calcination the obtained $CaCO_3$ phase from the acid treatment process and golden apple snail shells for 3 h to produce CaO_tr and CaO_un as a catalyst. Because from 800 °C onwards, the decomposition of $CaCO_3$ phase which transformed to CaO phase was complete and the weight of the sample remained constant although the temperature was higher than 800 °C. Thus, a temperature of at least 800 °C would be applied to produce CaO material from natural shells which this summary was also in agreement with the reports of Roschat et al. [3] and Laskar et al. [16].

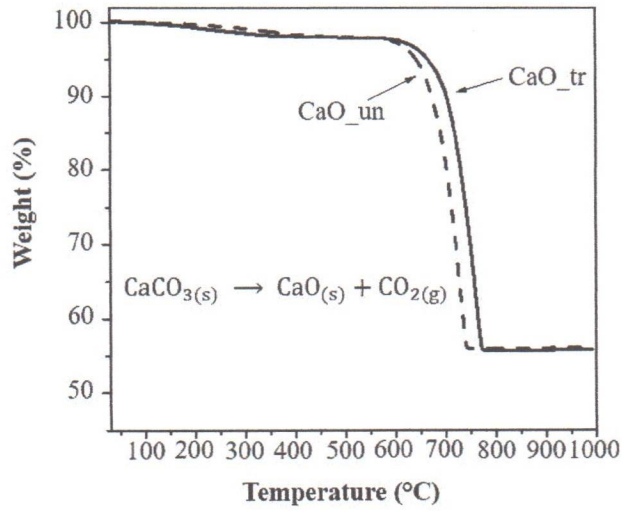


Figure 3 TGA Thermogram of the resulting material obtained from the golden apple snail shells and the acid treatment process.

Figure 4 (a) illustrated the XRD patterns of raw golden apple snail shells and golden apple snail shells after treating with acid. The results found that the raw golden apple snail shells were an orthorhombic structure of $CaCO_3$ phase, while after acid-treated it was found that the resulting materials were a rhombohedral structure. This result could be discussed that the acid treatment process changed the structure and atomic arrangement of $CaCO_3$ compounds. However, the calcination of the $CaCO_3$ phase both with and without acid treatment at 800 °C for 3 h followed by TGA data found that the obtained materials were CaO phase which was a simple cubic structure as displayed in Figure 4 (b). Furthermore, the result was also shown that the crystalline phase of CaO_tr has higher than that of CaO_un. This phenomenon was also discussed in reports of Phewphong et al. [27], and Cizer et al. [28].

The EDX spectroscopy as depicted in Figure 5 showed the element percentage of the materials both with and without the acid treatment process. The data indicated that the raw golden apple snail shells had the purity of $CaCO_3$ equal to 95.05%. On the other hand, the obtained $CaCO_3$ material after the purification process with acid treatment had a percentage of purity achieved to 100%. In this case, the acid-treated golden apple snail shells reached a high purity due to the reaction between golden apple snail shells ($CaCO_3$ phase) with HCl acid that could be extracted Ca^{2+} ion and converted it to $CaCl_2$ compound completely. After that, the $CaCl_2$ solution sedimented by the reaction with Na_2CO_3 to give purified $CaCO_3$ material. This process could eliminate other impurities and it also rearranged the structure of the resulting $CaCO_3$ according to the XRD data.

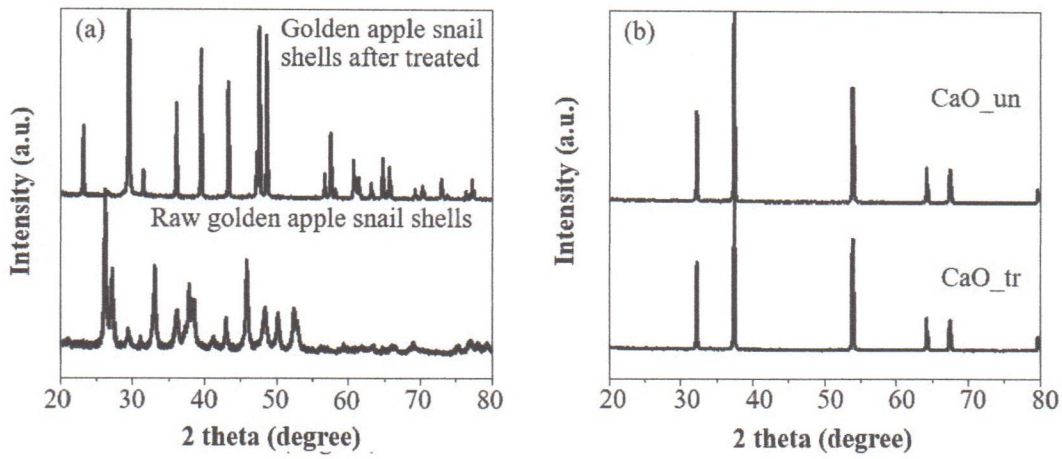


Figure 4 XRD Patterns of (a) raw golden apple snail shells and golden apple snail shells after treating them with acid and (b) resulting material after calcination process namely CaO_tr and CaO_un.

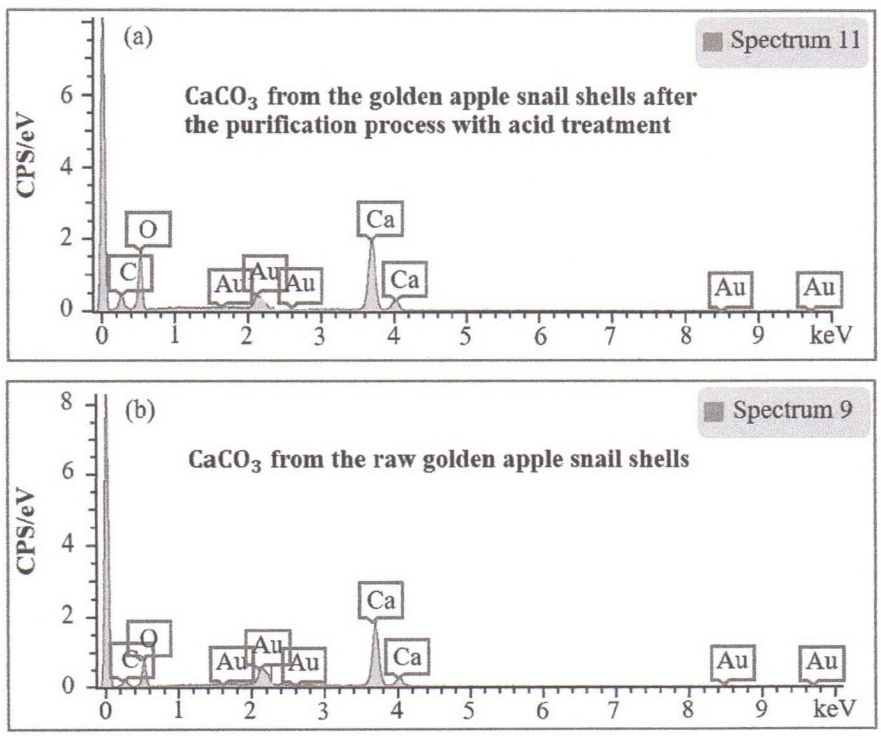


Figure 5 EDX Spectrum of $CaCO_3$ obtained from (a) the golden apple snail shells after the purification process with acid treatment and (b) the raw golden apple snail shells.

Figure 6 presented the SEM image morphology of CaO_un and CaO_tr catalyst. The CaO_tr (Figure 6(b)) displayed the image like a small sheet stacked neatly together and agglomerated spheres. Additionally, it has a porous distributing throughout the particle. When compared morphology against CaO_un as shown in Figure 6 (a), the result showed the different particle sizes distributed alternately both small and large particle sizes. Moreover, the distribution porous of CaO_un tended to be relatively less than CaO_tr. These results accorded with the specific surface area obtained by the BET isotherm as illustrated in Table 1. The CaO_un derived from calcination golden apple snail shells had a specific surface area 3.8772 m^2/g which similarly a specific surface area of CaO derived from river snail shells as the same condition process [3]. However, the specific surface area of CaO_tr obtained from the acid-treated golden apple snail shells increased to 7.5544 m^2/g and showed higher than that of CaO_un approximately 2 times. The results of the BET specific surface area data of each catalyst in this work followed the SEM image morphology in Figure 6.

Table 1 The specific surface area, total basic site, and basic strength of the catalysts.

Samples	Specific surface area (m^2/g)	Total basic site (mmol/g)	Basic strength (H_ value)	%FAME[a]	
				Palm oil	WCO
CaO_un	3.8772	4.14	15.0 < H_<18.4	79.5	74.6
CaO_tr	7.8544	7.82	15.0 < H_<18.4	93.2	91.0

[a] Transesterification conditions: catalyst loading amount of 5 wt.%, methanol to oil molar ratio of 12:1, reaction temperature of 65 °C and reaction time of 180 min.

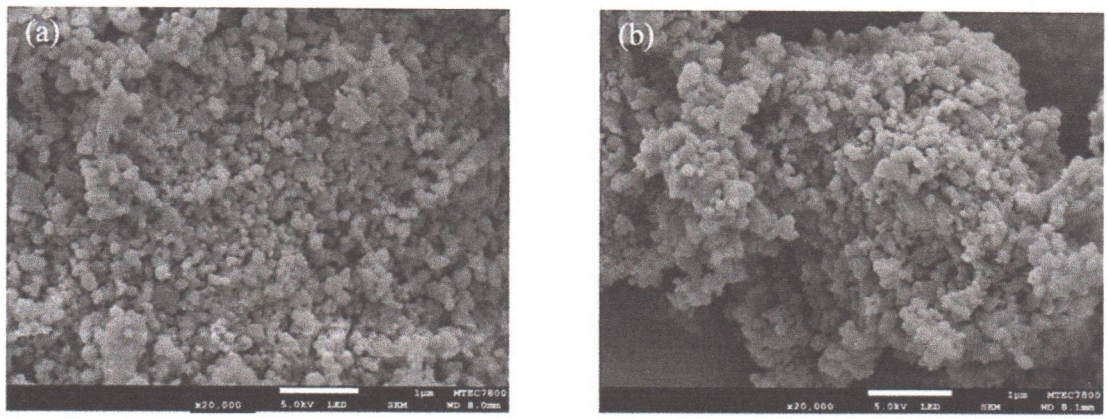


Figure 6 SEM Image of (a) the CaO_un and (b) the CaO_tr catalyst derived from golden apple snail shells.

The total basic site of all CaO catalysts in this study was evaluated by the CO_2-TPD technique and showed the results in Figure 7. The data revealed that the CaO_tr catalyst had higher total basic site than that of CaO_un almost 2 times. These results could be described that the morphology of CaO_tr catalyst had a high specific surface area due to the acid treatment method and it directly correlated with the active site [7, 10, 19]. Furthermore, all of the CaO catalysts were also tested the basic strength (H_- value) by the Hammett indicator method. The H_- value of all the CaO catalysts showed a strong basic strength in the range of 15.0-18.4 which could change the color of 2, 4-dinitroaniline (pKa = 15.0) indicator but could not change the color of 4–nitroaniline (pKa = 18.4).

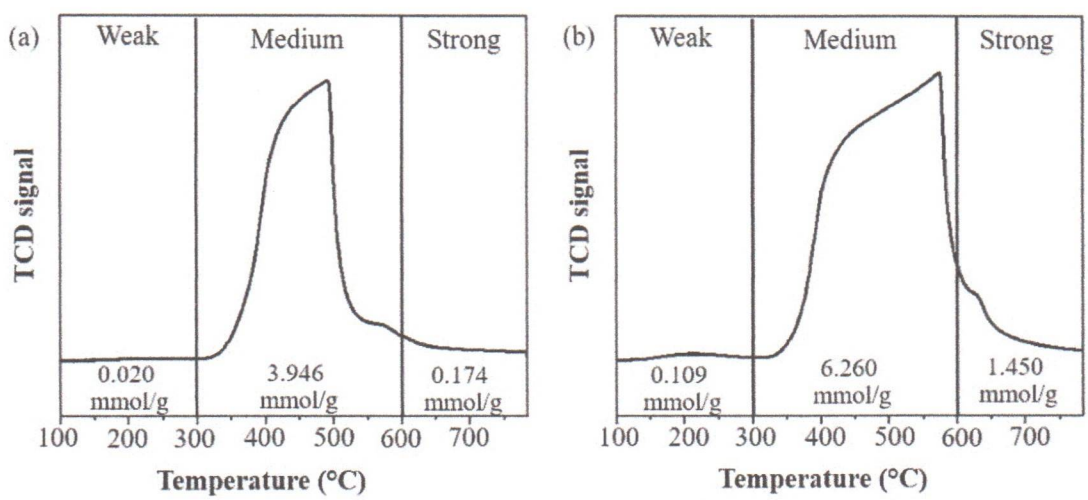


Figure 7 CO_2-TPD of (a) the CaO_un and (b) the CaO_tr catalyst obtained from golden apple snail shells.

All of the results from the preparation and characterization of the CaO_un and CaO_tr catalyst demonstrated that the acid treatment method before calcination golden apple snail shells have directly affected the morphology of both specific surface area, total basic site and basic strength of the catalysts. In this case, the CaO_tr catalyst has a larger specific surface area and higher the total basic site than that of CaO_un. Consequently, the catalyst activity of the CaO_tr catalyst was higher than that of the CaO_un on the transesterification reaction both of the palm oil and WCO to biodiesel products as also presented in Table 1. Thus, these results could confirm that the acid treatment process not only increased the purity of CaO_tr but also improved the physicochemical properties especially the catalytic activity of CaO_tr catalyst for use to the transesterification reaction process.

3.2 The reaction kinetics of the biodiesel production process catalyzed by CaO_tr and CaO_un

The reaction kinetics study of the transesterification reaction for biodiesel production is one of the important points because this data can be used to explain the reaction mechanism, design and control the reaction condition that directly affected the rate of reaction. Hence, this study focused on the comparison of the reaction kinetics catalyzed by CaO_tr and CaO_un catalyst in the transesterification

reaction of palm oil to biodiesel products under the same reaction conditions. The results as demonstrated in Figure 8 (a) showed the comparison catalytic performance between CaO_tr and CaO_un catalyst in terms of the yield of biodiesel product (%FAME) versus reaction time. In the case of using the CaO_un as a catalyst, the reaction was completely at the reaction time of 300 min (5 h) with the FAME yield of higher than 90%. On the other hand, the conversion of palm to biodiesel product was completely at the reaction time only 180 min (3 h) with higher than 93% of FAME yield under the catalyzed reaction by CaO_tr. When compared of the results with the other reports found that the traditional calcination method of the natural shells for synthesis CaO catalyst gave similar results with CaO_un such as Buasri et al. [13]. They applied eggshell for use as raw material to produce CaO catalyst with the traditional calcination method and tested the catalytic activity of the obtained catalyst. From this report, the yield of biodiesel was approximate 92-94% with a reaction time of 4 h. While Pike et al. [14] reported that CaO derived from eggshells as starting material could produce the biodiesel yield around 97-98% after the reaction time was up to 11 hours. Sani et al. [15] presented the report of the use of waste snail shells to generate CaO catalyst and testing the performance of their catalyst. The result indicated that the yield of biodiesel was only 84.14% with a reaction time of 3 h. Laskar et al. [16] revealed the report involving the use of CaO catalyst obtained from waste snail shell (*Pila spp.*) in the biodiesel production process. This report displayed that the biodiesel yield was achieved of 98% under the reaction time of 7 h. All of the examples reports obviously indicated that the preparation of CaO catalyst by conventional calcination provided quite a few catalyst efficiencies compared to that of CaO_tr catalyst.

Furthermore, the evaluation of the reaction kinetics of palm oil to biodiesel production was illustrated in Figure 8 (b) which was the plot of $-\ln [1-X_{ME}]$ against t (time) and slope was equal to rate constant (k). The k value was the descriptor of the reaction speed which k value has a high as equal as a high rate of reaction and meaning the reaction would complete at the short reaction time. This case observed that the k value of the use CaO_tr catalyst had an equal of 1.35×10^{-2} min^{-1} which was higher than that of CaO_un catalyst (1.18×10^{-2} min^{-1}) as around 14%. Consequently, all these results of the reaction kinetics study could confirm that CaO_tr derived from the acid treatment process of golden apple snail shells has a high catalytic activity and agreeable with the results from the evaluated the catalyst characterization.

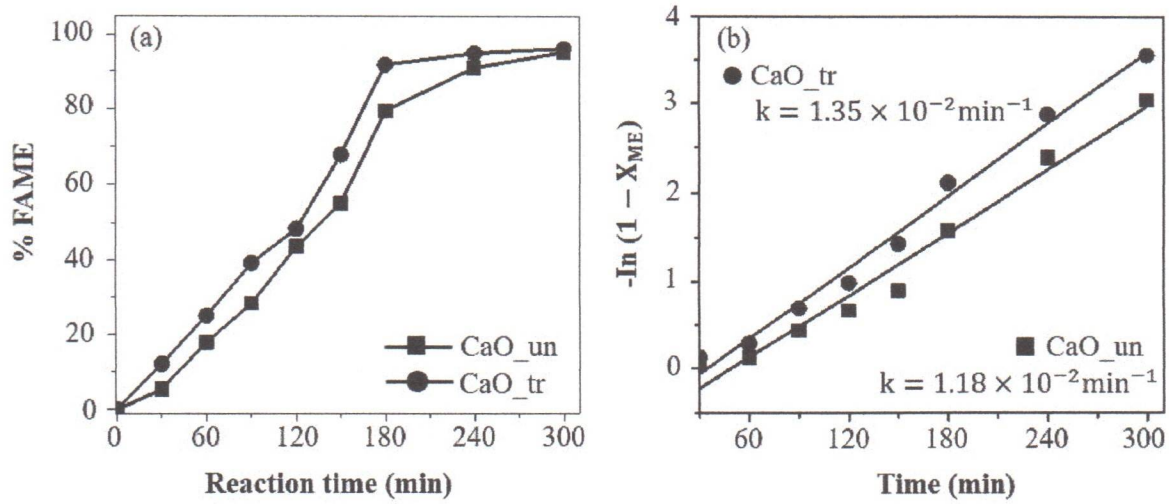


Figure 8 (a) comparison of catalytic performance between CaO_un and CaO_tr, and (b) the reaction kinetics study by plot $-\ln [1-X_{ME}]$ against t (time) and the slope was equal to rate constant (k) (transesterification conditions: catalyst loading amount of 5 wt.%, methanol to oil molar ratio of 12:1, and reaction temperature of 65 °C)

3.3 The study of the decreasing in reaction time by added the co-solvent

Several reports indicated that adding a small amount of the co-solvent such as THF and acetone could improve biodiesel production by decreasing the reaction time and increasing the rate of a transesterification reaction [29-31]. The effect of co-solvent on the biodiesel production process could describe by the dissolution between triglyceride (oil) as a hydrophobic against hydrophilic methanol during the reaction mixture process which co-solvent would be as a binder [32-34].

As shown in Table 2 without a co-solvent system, the biodiesel production process gave the FAME yield which tended to be relatively low in every catalyst especially CaO_un (yield of FAME as only 78.2% at the reaction time of 180 min). While using THF and acetone as a co–solvent by adding a small amount of co-solvent (5% v/v) into methanol, the data represented not only yield of FAME has increased but the reaction time is also shorter. Focus on the use of THF as a co-solvent system, the reaction completed at around 150 min by the FAME yield higher than 93% which catalyzed with every CaO catalyst. Furthermore, the comparison of the type of co-solvent between THF and acetone revealed that the reaction trend using THF was higher than that of acetone consistent with the report of Rochat et al. [3], Tu et al. [35], and Ambat et al. [36]. Moreover, Trisupakitti et al. [37] reported that calcium oxide catalysts generated from golden apple cherry snail shells (*Pomacea canaliculata*) could provide biodiesel up to 95.2% under the optimum conditions of 0.8 wt.% catalyst loading amount, 12:1 methanol to oil molar ratio, 65 °C, and used the reaction time up to 6 h. Thus, adding a small amount of THF as a co-solvent into the biodiesel production process could improve biodiesel yield under the shorter reaction time which meant a reduction in overall production costs and was a green production process.

Transesterification conditions: catalyst loading amount of 5 wt.%, methanol to oil molar ratio of 12:1, reaction temperature of 65 °C and 5% v/v of the co-solvent relative to amount of methanol. It should be noted that all of the data in this study were averages from at least three measurements with a deviation within 3%.

Table 2 The results study the effect of co-solvent on the decrease in reaction time for biodiesel production from palm oil.

Type of catalysts	Non co-solvent				THF as a co-solvent				Acetone as a co-solvent			
	%FAME at the reaction time (min)				%FAME at the reaction time (min)				%FAME at the reaction time (min)			
	90	120	150	180	90	120	150	180	90	120	150	180
CaO_un	33.8	47.3	63.0	78.2	67.9	80.1	93.2	95.7	60.9	77.6	90.7	93.8
CaO_tr	50.9	66.5	80.2	94.4	75.2	86.5	97.5	97.6	71.2	84.1	94.9	96.8
CaO[a]	43.1	55.7	72.4	83.7	73.1	84.3	95.2	96.8	69.8	83.6	91.5	96.8
CaO[b]	44.4	59.5	72.1	89.6	77.7	85.8	98.0	97.8	70.7	84.0	93.4	97.0

[a]CaO derived from egg shell (calcined at 800 °C for 3 h)
[b]CaO commercial grade

3.4 Fuel properties of biodiesel product synthesized by using CaO_tr catalyst.

The fuel properties of the final biodiesel product derived from palm oil and WCO catalyzed by CaO_tr were evaluated following the EN-14214 and ASTM-D6751 standard test method especially the major properties of biodiesel product for diesel engine namely methyl ester content, kinematic viscosity, density, acid number, copper strip corrosion, oxidation stability, carbon residue, sulfated ash, total contamination, cloud point, and pour point. The results in Table 3 presented the fatty acid methyl ester composition and methyl ester content of biodiesel product analyzed by gas chromatography (GC) technique and the percentage conversion of oil to biodiesel (biodiesel yield) both the use of palm oil and WOC as a raw material. The major fatty acid methyl ester composition of palm oil biodiesel was methyl oleate ($C_{18:1}$), methyl palmitate ($C_{16:0}$), and methyl linoleate ($C_{18:2}$), respectively. WCO biodiesel had the major fatty acid methyl ester composition including methyl oleate ($C_{18:1}$), methyl palmitate ($C_{16:0}$), methyl linoleate ($C_{18:2}$), and methyl palmitoleate ($C_{16:1}$), respectively, because this oil was processed via frying and may be resulted to contamination from the food especially the animal fats.

The percentage of methyl ester content (%FAME) was calculated following the equation from EN-14214 standard test method which used the relation between total peak areas of the methyl ester versus the peak area of methyl heptadecanoate ($C_{17:0}$) as an internal standard. In this case, %FAME of palm oil biodiesel and WCO biodiesel were higher than that of the criterion value definition of standard biodiesel fuel (>96.5%). Additionally, the yield of biodiesel product calculated by the ratio volume of biodiesel product against the volume of the oil (palm oil and WCO) as a raw material indicated that the use of palm oil as a starting material had a high percentage of yield product than the use of WCO. This phenomenon could be discussed that the WCO was contaminated of impurity such as moisture, free fatty acid, and food waste. These impurities directly affected the transesterification reaction because this reaction process could cause a competitive reaction namely a saponification reaction to generate the soap as a by-product. Similar research reports were found by Roschat et al. [2], Changmai et al. [12], and Luu et al. [33].

Table 3 The percentage of FAME composition of biodiesel product obtained from palm oil and WCO catalyzed by CaO_tr and evaluated by gas chromatography (GC) following the EN-14214 standard test method.

Peak	FAME Compound name	Composition (wt. %)[a]	
		Palm oil biodiesel	WCO biodiesel
1	Methyl laurate ($C_{12:0}$)	0.35	0.30
2	Methyl myristate ($C_{14:0}$)	0.80	0.70
3	Methyl palmitate ($C_{16:0}$)	35.50	29.35
4	Methyl palmitoleate ($C_{16:1}$)	1.50	11.60
5	Methyl stearate ($C_{18:0}$)	2.60	2.30
6	Methyl oleate ($C_{18:1}$)	46.10	36.50
7	Methyl linoleate ($C_{18:2}$)	11.00	16.55
8	Methyl linolenate ($C_{18:3}$)	1.15	1.00
9	Methyl arachidate ($C_{20:0}$)	0.50	1.20
10	Methyl eicosenoate ($C_{21:1}$)	0.50	0.50
Total peak areas of the methyl ester ($\sum A$)		36,570	35,920
Peak area of methyl heptadecanoate ($C_{17:0}$) as an internal standard (AIS)		15,770	15,650
$\%FAME = \frac{(\sum A) - (AIS)}{AIS} \times \frac{CIS \times VIS}{m} \times 100$		97.69 (m = 1.35 mg)	96.66 (m = 1.34 mg)
where CIS = concentration of the methyl heptadecanoate solution (1 mg/mL) VIS = volume of the methyl heptadecanoate solution (1 mL) m = mass of the biodiesel sample (mg)			
$\text{Biodiesel yield} = \frac{\text{volume of biodiesel}}{\text{volume of oil}} \times 100$		87.5 (%v/v)	85.3 (%v/v)

[a] Transesterification conditions: catalyst loading amount of 5 wt.%, methanol to oil molar ratio of 12:1, reaction temperature of 65 °C, 5% v/v of THF as a co–solvent relative to amount of methanol and reaction time of 150 min.

The fuel properties of the final biodiesel product obtained from palm oil and WCO and catalyzed by CaO_tr were evaluated at the National Metal and Materials Technology Center (MTEC)-Thailand, using the EN-14214 and ASTM-D6751 standard testing method as shown in Table 4. All of the results indicated that both palm oil and WCO biodiesel product have high-quality fuel properties, met the specified standards and, they were suitable to use any diesel-engine especially a diesel engine for agriculture such as walk-behind tractor and tractor. Therefore, all of these studies could be concluded that CaO_tr derived from golden apple snail shells has a high potential for applications as a green, low–cost, and renewable catalyst for biodiesel production in the community scale and industrial scale to self-reliance on renewable energy.

Table 4 Fuel properties of biodiesel product (FAME) derived from the different raw material and catalyzed by CaO_tr catalyst.

Fuel properties	Standard biodiesel	Palm oil biodiesel[c]	WCO biodiesel[c]
Methyl ester content (%)[a]	> 96.5	97.69	96.66
Kinematic viscosity @40°C (cSt)[a]	3.5-5.0	4.22	4.31
Density at 15 °C (kg/m^3)[a,b]	860-900	880	883
Acid number (mg KOH/g oil)[a,b]	< 0.5	0.28	0.33
Copper strip corrosion[a,b]	No. 1	No. 1	No. 1
Oxidation Stability (h)[a]	> 6	> 12	>12
Carbon residue (%w/w of oil)[a]	≤ 0.05	0.034	0.042
Sulfated ash (%w/w of oil)[a,b]	≤ 0.02	0.012	0.016
Total contamination (ppm)[a]	< 24	18.0	18.2
Flash point (°C)[a]	> 120	188	191
Cloud point (°C)[b]	report	<6	<6
Pour point (°C)[b]	report	<–5	<–5

[a]European standard (EN-14214) test method
[b]American Society for Testing and Material (ASTM-D6751) standard test method
[c]Transesterification conditions: catalyst loading amount of 5 wt.%, methanol to oil molar ratio of 12:1, reaction temperature of 65 °C, 5% v/v of THF as a co-solvent relative to amount of methanol and reaction time of 150 min.

4. Conclusion

Transesterification of refined palm olein oil and WCO to biodiesel product catalyzed by CaO derived from the acid treated golden apple snail shells (*Pomacea canaliculata*) were studied. All of the characterization (TGA, XRD, SEM, and EDX) results indicated that acid-treated golden apple snail shells before the calcination process at 800 °C for 3 h was a sufficient technique to improve the purity of the obtained CaO catalyst achieved to 100% while CaO derived from un-treated golden apple snail shells has lower purity of about 95.05%. In addition, physicochemical properties namely BET specific surface area, CO_2-TPD (total basic site) and the catalytic activity of CaO_tr showed higher than CaO_un. According to the study of reaction kinetics for biodiesel production catalyzed by CaO_tr was higher than the reaction catalyzed by CaO_un which reaction time completed at 3 h and 5 h, respectively. Moreover, to apply the co-solvent method by adding a small amount of THF and acetone in the reaction mixture could increase the rate of reaction and reduce the reaction time. Additionally, the final palm oil biodiesel and WCO biodiesel product obtained from the reaction the synthesis catalyzed by CaO_tr have high qualities following standard biodiesel fuel both ASTM and EN testing methods and could be used with a diesel engine for agriculture as well. Therefore, the acid–treated golden apple snail shells before the hydrothermal process not only directly enhanced the purity, physicochemical properties, and catalytic performance of the obtained CaO catalyst but also improved the catalytic activity for the transesterification reaction of palm olein oil and WCO to be the biodiesel product. Consequently, all of the data in this research work is one of the possible ways to develop and improve the catalytic activity of economic CaO catalyst which synthesized from natural shells as a raw material for the green biodiesel production process both on the local community and industrial scale.

5. Acknowledgements

The authors gratefully thank the Biomass Energy Research Laboratory under the Center of Excellence on Alternative Energy, and Research and Development Institute, Sakon Nakhon Rajabhat University-Thailand, for supporting the apparatus, equipment, and research funding (Number: 44/2561). The authors would like also thankful to the Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology-Thailand, for the evaluation FAME yield of biodiesel by the ^{1}H-NMR technique and the National Metal and Materials Technology Center (MTEC)-Thailand, for testing of the fuel properties of the obtained biodiesel product.

6. References

[1] Mathiarasi R, Mugesh kanna C, Partha N. Transesterification of soap nut oil using novel catalyst. J Saudi Chem Soc. 2017;21(1):11-7.
[2] Roschat W, Siritanon T, Yoosuk B, Promarak V. Biodiesel production from palm oil using hydrated lime-derived CaO as a low-cost basic heterogeneous catalyst. Energ Convers Manag. 2016;108:459-67.
[3] Roschat W, Siritanon T, Yoosuk B, Promarak V. Economical and green biodiesel production process using river snail shells-derived heterogeneous catalyst and co-solvent method. Bioresour Technol. 2016;209:343-50.
[4] Ali B, Yusup S, Quitain AT, Alnarabiji MS, Kamil RNM, Kida T. Synthesis of novel graphene oxide/bentonite bi-functional heterogeneous catalyst for one-pot esterification and transesterification reactions. Energ Convers Manag. 2018;171:1801-12.
[5] Lee SL, Wong YC, Tan YP, Yew SY. Transesterification of palm oil to biodiesel by using waste obtuse horn shell-derived CaO catalyst. Energ Convers Manag. 2015;93:282-8.
[6] Roschat W, Phewphong S, Khunchalee J, Moonsin P. Biodiesel production by ethanolysis of palm oil using SrO as a basic heterogeneous catalyst. Mater Today Proc. 2018;5(6):13916-21.
[7] Niju S, Meera S, Begum KM, Anantharaman N. Enhancement of biodiesel synthesis over highly active CaO derived from natural white bivalveclam shell. Arab J Chem. 2016;9(5):633-9.
[8] Roschat W, Phewphong S, Moonsin P, Thangthong A. The kinetic study of transesterification reaction for biodiesel production catalyzed by CaO derived from eggshells. J Mater Sci Appl Energ. 2019;8(1):358-64.
[9] Krishnamurthy KN, Sridhara SN, Ananda Kumar CS. Optimization and kinetic study of biodiesel production from *Hydnocarpus wightiana* oil and dairy waste scum using snail shell CaO nano catalyst. Renew Energ. 2020;146:280-96.
[10] Niju S, Meera S, Begum KM, Anantharaman N. Modification of egg shell and its application in biodiesel production. J Saudi Chem Soc. 2014;18(5):702-6.

[11] Devaraj K, Veerasamy M, Aathika S, Manim Y, Thanarasu A, Dhanasekaran A. Study on effectiveness of activated calcium oxide in pilot plant biodiesel production. J Clean Prod. 2019;225:18-26.
[12] Changmai B, Vanlalveni C, Ingle AP, Bhagat R, Rokhum L. Widely used catalysts in biodiesel production: a review. RSC Adv. 2020;10:41625-79.
[13] Buasri A, Chaiyut N, Loryuenyong V, Wongweang C, Khamsrisuk S. Application of eggshell wastes as a heterogeneous catalyst for biodiesel production. Sustain Energ. 2013;1(2):7-13.
[14] Bharadwaj AS, Singh M, Niju S, Begum KM, Anantharaman N. Biodiesel production from rubber seed oil using calcium oxide derived from eggshell as catalyst-optimization and modeling studies. Green Process Synth. 2019;8(1):430-42.
[15] Piker A, Tabah B, Perkas N, Gedanken A. A green and low-cost room temperature biodiesel production method from waste oil using egg shells as catalyst. Fuel. 2016;182:34-41.
[16] Sani J, Samir S, Rikoto II, Sanda A, Sm M, Mm L, et al. Production and characterization of heterogeneous catalyst (CaO) from snail shell for biodiesel production using waste cooking oil. Innovat Energ Res. 2017;6(2):1-4.
[17] Laskar IB, Rajkumari K, Gupta R, Chatterjee S, Paul B, Rokhum L. Waste snail shell derived heterogeneous catalyst for biodiesel production by the transesterification of soybean oil. RSC Adv. 2018;8(36):20131-42.
[18] Hangun-Balkir Y. Green biodiesel synthesis using waste shells as sustainable catalysts with *Camelina sativa* oil. J Chem. 2016;2016:1-10.
[19] Roschat W, Phewphong S, Thangthong A, Moonsind P, Yoosuk B, Kaewpuang T, et al. Catalytic performance enhancement of CaO by hydration-dehydration process for biodiesel production at room temperature. Energ Convers Manag. 2018;165:1-7.
[20] Supamathanon N, Wittayakun J, Prayoonpokarach S. Properties of Jatropha seed oil from Northeastern Thailand and its transesterification catalyzed by potassium supported on NaY zeolite. J Ind Eng Chem. 2011;17(2):182-5.
[21] Muthukumaran C, Praniesh R, Navamani P, Swathi R, Sharmila G, Kumar N. Process optimization and kinetic modeling of biodiesel production using non-edible *Madhuca indica* oil. Fuel. 2017;195:217-25.
[22] Hebbar HRH, Math MC, Yatish KV. Optimization and kinetic study of CaO nano-particles catalyzed biodiesel production from *Bombax ceiba* oil. Energ. 2018;143; 25-34.
[23] Feyzi M, Shahbazi Z. Preparation, kinetic and thermodynamic studies of Al-Sr nanocatalysts for biodiesel production. J Taiwan Inst Chem E. 2017;71:145-55.
[24] Abedin MJ, Kalam MA, Masjuki HH, Sabri MFM, Ashrafur Rahman SM, Sanjid A, et al. Production of biodiesel from a non-edible source and study of its combustion, and emission characteristics: a comparative study with B5. Renew Energ. 2016;88: 20-9.
[25] Shi Y, Liang X. Novel carbon microtube based solid acid from pampas grass stick for biodiesel synthesis from waste oils. J Saudi Chem Soc. 2019;23(5):515-24.
[26] Dantas J, Leal E, Cornejo D, Kiminami R, Costa AF. Biodiesel production evaluating the use and reuse of magnetic nanocatalysts $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ synthesized in pilot-scale. Arab J Chem. 2010;13(1):3026-42.
[27] Phewphong S, Najai K, Seetawan T. The various concentration effected on crystallite size of calcium carbonate. Key Eng Mater. 2016;675-676:667-70.
[28] Cizer O, Rodriguez-Navarro C, Ruiz-Agudo E, Elsen J, Van Gemert D, Van Balen K. Phase and morphology evolution of calcium carbonate precipitated by carbonation of hydrated lime. J Mater Sci. 2012;47(16):6151-65.
[29] Akkarawatkhoosith N, Kaewchada A, Jaree A. Enhancement of continuous supercritical biodiesel production: influence of co-solvent types. Energ Procedia. 2019;156:48-52.
[30] Pan H, Li H, Zhang H, Wang A, Jin D, Yang S. Effective production of biodiesel from non-edible oil using facile synthesis of imidazolium salts-based Bronsted-Lewis solid acid and co-solvent. Energ Convers Manag. 2018;166:534-44.
[31] Yin X, Duan X, You Q, Dai C, Tan Z, Zhu X. Biodiesel production from soybean oil deodorizer distillate using calcined duck eggshell as catalyst. Energ Convers Manag. 2016;112:199-207.
[32] Luu PD, Takenaka N, Luu BV, Pham LN, Imamura K, Maeda Y. Co-solvent method produce biodiesel from waste cooking oil with small pilot plant. Energ Procedia. 2014;61:2822-32.
[33] Luu PD, Troung H, Luu BV, Pham LN, Imamura K, Takenaka N, et al. Production of biodiesel from Vietnamese *Jatropha cuecas* oil by a co-solvent method. Bioresour Technol. 2014;173:309-316.
[34] Ismail D, Religia P, Wijanarko A. Utilization of n-hexane as co-solvent to increase biodiesel yield on direct transesterification reaction from marine microalgae. Procedia Environ Sci. 2015;23:412-20.
[35] Thanh LT, Okitsu K, Sadanaga Y, Takenaka N, Maeda Y, Bandow H. A new co-solvent method for the green production of biodiesel fuel-optimization and practical application. Fuel. 2013;103:742-8.
[36] Ambat I, Srivastava V, Iftekhar S, Haapaniemi E, Sillanpaa M. Effect of different co-solvents on biodiesel production from various low-cost feedstocks using Sr-Al double oxides. Renew Energ. 2020;146:2158-69.
[37] Trisupakitti S, Ketwong C, Senajuk W, Phukapak C, Wiriyaumpaiwong S. Golden apple cherry snail shell as catalyst for heterogeneous transesterification of biodiesel. Braz J Chem Eng. 2018;35(4):1283-91.

1.00

Sci2.3-43

Fuel 308 (2022) 122009

Contents lists available at ScienceDirect

Fuel

journal homepage: www.elsevier.com/locate/fuel

Full Length Article

The synthesis of a high-quality biodiesel product derived from Krabok (*Irvingia Malayana*) seed oil as a new raw material of Thailand

Wuttichai Roschat [a,b,*], Sunti Phewphong [b], Phongsakorn Pholsupho [a,b], Krittiyanee Namwongsa [a,b], Pimwipha Wongka [a,b], Preecha Moonsin [c], Boonyawan Yoosuk [d], Vinich Promarak [e]

[a] Program of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Mueang District, Sakon Nakhon 47000, Thailand
[b] Biomass Energy Research Laboratory, Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University, Mueang District, Sakon Nakhon 47000, Thailand
[c] Program of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Mueang District, Ubon Ratchathani, 34000, Thailand
[d] National Energy Technology Center (ENTEC), 114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand
[e] Department of Material Science and Engineering, School of Molecular Science & Engineering, Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology, Wangchan, Rayong 21210, Thailand

ARTICLE INFO

Keywords:
Krabok (*Irvingia Malayana*) seed oil
Extraction
High-quality biodiesel product
Transesterification
Calcium oxide

ABSTRACT

The production of high-quality biodiesel product from Krabok (*Irvingia Malayana*) seed oil, new high efficiency, and high potential raw material, was studied using liquid biofuel energy in Thailand. The seed flesh of Krabok was extracted with hexane as a solvent by several techniques to compare the efficiency of each extraction method. The optimal technique for extracting the oil from the Krabok seed flesh was the Soxhlet extraction method which could extract oil content up to 63.58 wt%. The major fatty acid compositions of the obtained Krabok seed flesh oil were lauric acid ($C_{12:0}$) and myristic acid ($C_{14:0}$) as around 52 and 35 wt%, respectively. Additionally, the results also found that the extracted Krabok seed flesh oil was obtained greater than 95 wt% of the saturated fatty acid compound. The synthesis of a high-quality biodiesel product from Krabok seed flesh oil was performed via a one-step transesterification process catalyzed by a CaO catalyst. The obtained Krabok seed flesh oil biodiesel product was within both the ASTM-D6751 and EN-14214 standards for liquid bio-auto fuels, and it has properties that were very close to high-speed petroleum diesel oil. Consequently, the Krabok seed flesh oil was one of the exciting sources of raw materials in terms of high efficiency, quality, and potentiality in the production of biodiesel products.

1. Introduction

Thailand is one of the countries that promotes and encourages the use of renewable energy and alternative energy from various sources such as solar cells, hydropower, wind power, and biomass following the Alternative Energy Development Plan (AEDP2015-2036) [1,2]. One of the energies that are promoted for commercial use is biofuels energy, namely biodiesel oil and bioethanol by blending with petroleum diesel oil and gasoline to get diesel B7, B10, and B 20 (blending biodiesel oil 7%, 10%, and 20% with petroleum diesel oil, respectively) and gasohol E10, E20 and E85 (blending bioethanol with gasoline 10%, 20%, and 85%, respectively). These liquid biofuels are distributed in public gas stations in Thailand, and they can be used in general engines [3,4].

Focusing on biodiesel oil, they are generally known to be renewable and green energy because they can make up from vegetable oils (edible and non-edible plant oils) and animal fat by transesterification reaction against small molecules of alcohol (methanol or ethanol) catalyzed by an acid catalyst or a base catalyst [5–9]. The advantages of using biodiesel over petroleum diesel fuel are low emissions (hydrocarbons (HC), CO_2, particulates, SO_x, and CO), non-toxicity and biodegradable, produced from renewable agricultural resources, and reduced the amount of CO_2 with the photosynthesis cycle of oil plants [10–14]. In terms of engines, there are also several advantages of using biodiesel such as clean-burning, good lubricity, which extend the life cycle of the engine,

* Corresponding author at: Program of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Mueang District, Sakon Nakhon 47000, Thailand.
E-mail address: roschat1@gmail.com (W. Roschat).

https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122009
Received 18 May 2021; Received in revised form 23 August 2021; Accepted 13 September 2021
Available online 23 September 2021
0016-2361/© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.

and the efficiency of volumetric heating value is similar to that of diesel fuel [15–18]. Therefore, biodiesel can directly use in diesel engines without any modification of the engine, either as blended with petroleum diesel oil or pure biodiesel oils [10,12,18].

Currently, the most widespread sources of raw materials for biodiesel production are the edible oils derived from the large agricultural industry, such as palm oil, soybean oil, rapeseed oil, coconut oil, peanut oil, sunflower oil, and other vegetable oils as well as animal fat. Likewise, waste cooking oil, waste animal fat (such as waste fish oil, lard oil, and chicken waste oil), and algal oil are used to be feedstocks of biodiesel production to be another alternative raw material [19–24]. Notwithstanding, the use of edible oils as feedstocks for biodiesel production are also limitations and concerns in many issues, including the price competition from demands of food versus energy, and some of the edible oils are used in cosmetics and pharmaceutical industry. For this reason, there are several reports presented the use of non-edible oils to be a crude oil source substituted the feedstocks from edible oils in the biodiesel production process. Most reports of non-edible oils to apply feedstocks for biodiesel production are castor oil, jatropha oil, rubber seed oil, neem oil, Argemone mexicana seed oil, radish seed oil, papaya seed oil, Karanj oil, Jojoba oil, and other vegetable oils [25–32]. However, many local oil plants have a high potential to be used as feedstock for biodiesel production, especially in biodiversity countries. Almost all of these studied biodiesel feedstocks are focused on technology to extract oil, optimal the condition of reaction, economic value, sustainable aspects, and environmental and social impact [26,28,30].

Thailand is one of the country's with high biodiversity due to its close to the equator causing many types of local oil plants. The Krabok plant (*Irvingia Malayana* Oliv. ex A. Benn.) is also known as wild almond, which can be found widely in Thailand, and they are a large woody perennial plant that grows a height of up to 50 m and a trunk diameter of up to 2 m as shown in Fig. 1(a) [33–35]. Raw fruits of Krabok are oval, green tones color, and they turn light green or yellow when ripe, as displayed in Fig. 1(b). Krabok seed has light brown or light gray tones color, hard shell, white flesh, and an oval shape that can be eaten like almond seeds as depicted in Fig. 1(c) and (d). The seed flesh of Krabok is sweet and creamy, when roasted, it smells good and is favored to be eaten as a snack. In Thailand, very little research has been done on the extraction of oil from the seed flesh of Krabok. For this reason, the extraction of oil from the seed flesh of Krabok for study the fatty acid composition, physicochemical properties, and processing into liquid biofuel is one of the fascinating topics. This issue is not only to research for finding high-potential and high-quality raw materials to produce liquid biofuel, but it is also the conservation of local plant species by being utilized various benefits.

Consequently, the main objective of this research work is the extraction of oil from the seed flesh of Krabok for utilization as a biodiesel oil feedstock which is considered a new type of raw material in Thailand. The seed flesh of Krabok was extracted by several techniques, namely maceration extraction, reflux extraction, ultrasound extraction, and Soxhlet extraction, and using hexane as a solvent. The extracted Krabok seed oil was analyzed and tested for the fatty acid compositions and physicochemical properties. Furthermore, the obtained Krabok seed oil was used as raw material for biodiesel production via transesterification reaction, which was catalyzed by a CaO catalyst. Finally, the quality of biodiesel products derived from Krabok seed oil was evaluated according to the American Society for Testing and Material methods (ASTM-D6751) and European Standard methods (EN-14214) and compared their properties against palm oil biodiesel, waste cooking oil biodiesel, and lard oil biodiesel.

2. Materials and methods

2.1. Materials

The Krabok seeds were collected from Sakon Nakhon province and Ubon Ratchathani province in the Northeastern of Thailand. The analytical grade of methanol (CH_3OH), toluene (C_7H_8), 2-propanol (C_3H_8O), and commercial-grade hexane (C_6H_{14}) were purchased from Fluka and Sigma-Aldrich. The commercial-grade of calcium oxide (CaO) and potassium hydroxide (KOH) were obtained from Lab-scan, and Acros Chemical Co. Ltd. Palm olein oil, waste cooking oil, and lard oil were obtained from the local market in Sakon Nakhon province.

2.2. The study of oil extraction and characterization from seed flesh of Krabok

The study of oil extraction from the seed flesh of Krabok started by

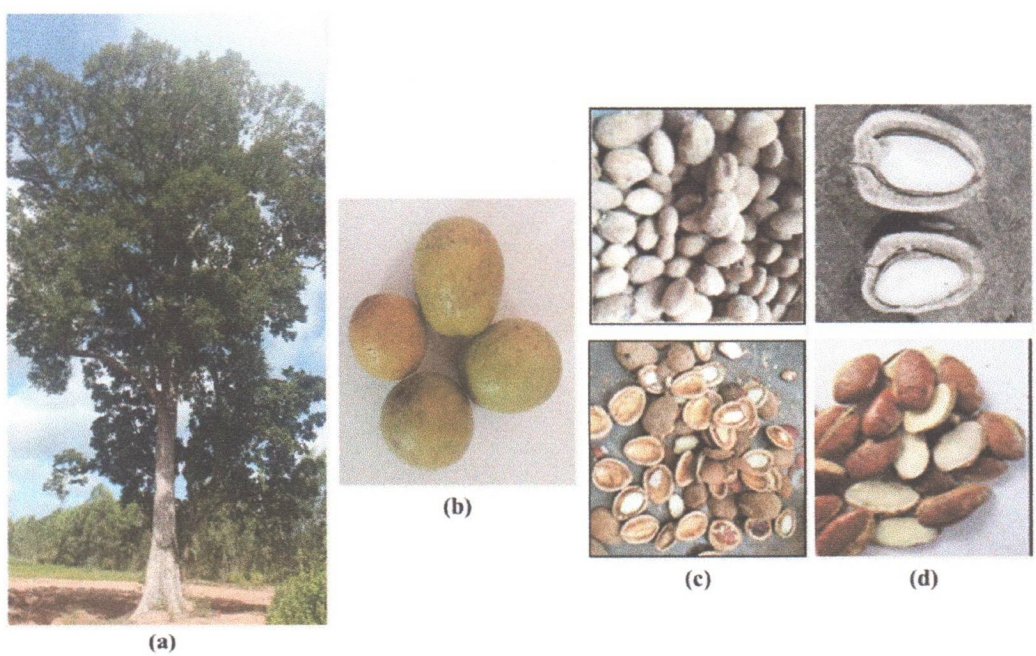


Fig. 1. Showing (a) the Krabok tree, (b) fruits of Krabok, (c) Krabok seeds, and (d) flesh of Krabok seeds as new raw material sources for biodiesel production.

grinding the seed flesh of Krabok with the blender to get Krabok seed flesh powder. Then, Krabok seed flesh powder was dried using a hot air oven at 110 °C for 6 h. After drying, the obtained powder of Krabok seed flesh was extracted with hexane as a solvent by several techniques to compare the efficiency of each extraction method as depicted in Fig. S1 (in the Supporting Information). The oil extraction process by the maceration method began with the dried Krabok seed flesh powder amount of 100 g contained in a glass bottle and added 200 mL of hexane. In the next step, the sample was soaked for 24 h and then filtered the mixture solution and soaked the sample repeatedly twice, which was used the original residue of dried Krabok seed flesh powder.

The reflux extraction technique started by adding the dried Krabok seed flesh powder amount of 100 g into a 500 mL round bottom flask equipped with a reflux condenser. After that, hexane as a solvent was added 200 mL and heating until the solvent was condensed for 1 h. When the time is over, the sample was reduced temperature, separated the mixture solution by the filter, and repeat extracted two times which was used the original residue of dried Krabok seed flesh powder. While the ultrasonic extraction process was performed by putting 100 g of the dried Krabok seed flesh powder into 500 mL an Erlenmeyer flask, added 200 mL of hexane, and closed with stopper tightly. Then, the sample was taken into the Ultrasonic Cleaner for 1 h and controlled the temperature at 40 °C. Subsequently, the sample was filtered and repeatedly extracted twice, which used the original residue of dried Krabok seed flesh powder. The Soxhlet extraction method was carried out by 100 g of the dried Krabok seed flesh powder put into Inlets Trimble and added 250 mL of hexane into a 500 mL round bottom flask equipped with an extraction chamber and a condenser. From there, the Soxhlet extractor was heated with the temperature of the boiling point of hexane until they condensed to soak the sample and to occur the siphon phenomena for repeating the extraction process. The Soxhlet extraction method was performed for 2 h and repeated this process twice times which was used the original residue of dried Krabok seed flesh powder.

All of the methods for the oil extraction process were repeated total of 5 repetitions to study the efficiency of each method and to determine the exact amount of oil from the dried Krabok seed flesh powder. All of the extracted samples were evaporated by the rotary evaporator to separate the hexane as a solvent. The obtained oil from the extraction process was contained in the amber glass bottles, which were sealed tightly. The final step of this part was the characterization of fatty acid compositions and testing of the physicochemical properties of the obtained oil by several different techniques, namely FT-IR, ^{1}H and ^{13}C NMR, GC, automatic potentiometric titration method for acid value test, and oxidation stability of oil by the Rancimat method.

2.3. Biodiesel production from Krabok seed oil

The transesterification reaction of oil from the dried Krabok seed flesh powder was conducted in a batch reactor which consisted of a 250 mL three-neck round-bottom flask equipped with a thermocouple, a reflux condenser, and a magnetic stirrer. The transesterification reactions were performed under the condition, namely loading the CaO catalyst amount of 5 wt%, methanol to oil molar ratio of 15:1, controlling the reaction temperature of 65 °C, and fixing the reaction time of 3 h. This condition was based on research reports from Roschat et al. [36,37]. A reaction mixture of methanol and CaO catalyst was preheated at 65 °C for 30 min and then gradually added 50 mL of the Krabok seed flesh oil warmed to the same temperature. When the specified time arrived, the reaction mixture was separated by the filter to segregate the CaO catalyst. After that, the obtained reaction mixture was heated at 80 °C to eliminate the excess methanol with the hotplate stirrer. In the last step, the biodiesel product and glycerol as a by-product were separated by a separation funnel. The final biodiesel product was stored in a sealed bottle for use in the evaluation and experimentation of the physicochemical properties following the standard of liquid biofuel.

The percentage yield of biodiesel production from the Krabok seed flesh oil was calculated by the following Eq. (1):

$$\text{theyieldofbiodieselproduct}(\%) = \left(\frac{\text{thevolumeofbiodieselobtained}}{\text{thevolumeofoilused}}\right) \times 100 \quad (1)$$

The obtained biodiesel product was calculated the percentage of fatty acid methyl ester (%FAME) by using proton nuclear magnetic resonance (^{1}H NMR) technique on a Brüker Ascend™ 600 MHz spectrometer following the report from Roschat et al. [25,36,37], Niju et al. [38], Shimamoto et al. [39], Fadhil [40], and Saeed et al. [41]. Furthermore, this research was applied a gas chromatograph on a GC-2010 Shimadzu for the determination of %FAME, which was according to the EN-14214 standard method for analysis of biodiesel product [5,26,37,42,43].

2.4. The evaluation of physicochemical properties of biodiesel product obtained from Krabok seed flesh oil

The physicochemical properties of the final biodiesel product derived from the Krabok seed flesh oil were evaluated according to ASTM-D6751, and EN-14214 standards for bio-auto fuels consisted of methyl ester content, kinematic viscosity (at 40 °C), density (at 15 °C), pour point, cloud point, flash point, oxidation stability, copper strip corrosion, acid number, calcium ion content, total contamination, water content, and ash content. Moreover, the heating value and thermogravimetric analysis of the final biodiesel product derived from the Krabok seed flesh oil were tested to confirm the complete combustion. All these experiments were not only studied biodiesel oil derived from the Krabok seed flesh oil, but also studied the properties and efficacy of the oil from palm olein oil, waste cooking oil, and lard oil to compare all of the properties of biodiesel product following the standard method.

3. Results and discussion

3.1. The oil extraction

The Krabok seed flesh has investigated the moisture after drying by a hot air oven at 110 °C for 6 h. The results were summarized in Fig. S2 (in the Supporting Information) and found that the average moisture was 3.66 wt%. The study data for extraction of oil from the seed flesh of Krabok was concluded and shown in Fig. 2. The data indicated that the

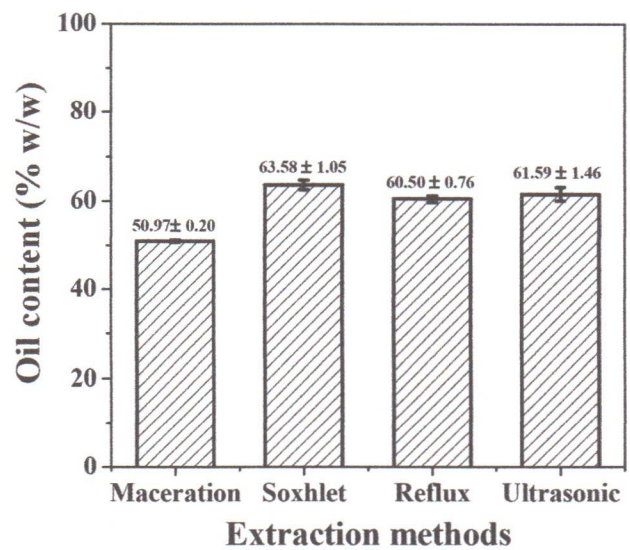


Fig. 2. The efficiency data of oil extraction from the Krabok seed flesh by using several techniques.

Soxhlet extraction method used for oil extraction was the most efficient with oil yields of 63.58 wt% due to the oil extraction process, there was a large flow of solvent (siphon) that can leach out the oil very well. Besides, it was found that the ultrasonic extraction and the reflux extraction process were able to extract approximately 61 wt% of the oil from the Krabok seed flesh. From the above data, it can be inferred that the amount of oil content in the Krabok seed flesh was more than 60 wt% which is relatively high compared to other oil plants such as rubber seed [25,43], castor seed [44], jojoba seed [45], *Azadirchta Excelsa* seed [46], papaya seed [47], stone fruit seed [47], *Jatropha curcas* seed [48], and Croton gratissimus seed [49]. Hence, the Krabok seed flesh was another very interesting raw material that can be used as an efficient source for biodiesel production in Thailand.

3.2. The characterization of the extracted oil

3.2.1. Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR) analysis

Fig. 3 depicted the FT-IR spectrum of the extracted Krabok seed flesh oil, which consists of several functional groups. The results indicated that the FT-IR spectrum appeared the strong symmetric and asymmetric vibrations of C—H stretching in the —CH_2—and —CH_3 groups at 2916 cm^{-1} and 2850 cm^{-1}, respectively. Furthermore, the carbonyl group (—C═O) of the ester compound was also appeared stretching vibration at 1738 cm^{-1}. The peak spectrum of —C(═O)—O—C— which was characteristic of the ester compound, has stretching vibrations both symmetric and anti-symmetric between 1365 and 1030 cm^{-1}. The group of C—H, CH_2, and CH_3 showed bending vibrations at 1453–1478 cm^{-1}, and the peak of —$(CH_2)_n$— displayed rocking vibration at 850–720 cm^{-1}, respectively [26,40,41]. These data confirmed that the chemical structure of the extracted Krabok seed flesh oil was an ester compound group and corresponded to the chemical structure of the triglyceride compound as displayed in Fig. 3S (in the Supporting Information). Moreover, these results of the FT-IR spectrum were similar to the FT-IR spectrum of *Carica papaya* seed oil [26], *Jatropha curcas* seed oil [48], Rubber seed oil [25,43], *Leucaena leucocephala* seed oil [50], and lard oil [37].

3.2.2. ^1H NMR analysis

Fig. 4 (a) illustrated the ^1H NMR spectrum of the extracted Krabok seed flesh oil in the region of 0–6.0 ppm, which could be observed various intensity signals significant of the triglyceride compound as a major structure. The glyceridic protons of triglycerides structure showed the signals located at 4.07–4.32 ppm (peak a) and 5.20–5.27 ppm (peak b) while the α-carbonyl methylene groups were assigned the signals at 2.20–2.24 ppm (peak c), respectively [25,37,40,41,48]. Additionally, the various signals in the range of 0.71–1.65 ppm were assigned to be β-methyl protons of the carbonyl group and terminal methyl protons group of the long-chain hydrocarbons [40,41,48,51,52]. The vinyl group protons (—CH═CH—) in the long-chain hydrocarbons as indicated to be unsaturated in triglyceride structure were assigned the signals of the chemical shift around 5.3 ppm which could be observed very few peaks [25,48,52]. Thus, this result could be indicated that the extracted Krabok seed flesh oil has the main chemical structure as the saturated compound.

3.2.3. ^{13}C NMR analysis

The ^{13}C NMR spectrum of the extracted Krabok seed flesh oil is displayed in Fig. 5 (a). The main signals of the chemical shift at δ172.86 ppm (peak a) and δ173.27 ppm (peak b) corresponded to the carboxyl carbon of the ester molecules in triglyceride structure, which divided into two regions followed the position bond of the outside carbonyl carbon (peak b) and the central carbonyl carbon (peak a). The carbonyl methylene groups at the position bond of the outside (peak c) showed the signal δ62.11 ppm while the carbonyl methylene groups at the position bond of the central (peak d) displayed the signal δ68.90 ppm, respectively. Furthermore, the olefinic carbons of triglyceride (—CH═CH—) in the range of δ125 – 135 ppm were absent in the ^{13}C NMR spectrum of the extracted Krabok seed flesh oil due to their saturated chemical compounds, which consistent with the results of ^1H NMR. In addition, the chemical shift in the range from δ10 to δ35 ppm was assigned to be the signals of methylene and methyl carbons group in the structure of the long-chain hydrocarbon of the triglyceride compound. These findings data were agreeable with the results from the report of Roschat et al. [25] and Onoji et al. [43] that reported on the extraction and characterization of the rubber seed oil, and there was also a research report by Yusuff et al. [48] which has extracted and the properties of the Jatropha curcas seed oil.

3.2.4. GC-FID analysis

The obtained extract Krabok seed flesh oil was a clear light yellow liquid, whereas set aside to cool completely, there would look like a pale yellow wax as shown in Fig. S2 (in the Supporting Information). The fatty acid composition of the extracted Krabok seed flesh oil was evaluated using a gas chromatography technique, and the GC-chromatogram profile of the obtained Krabok seed flesh oil was demonstrated in Fig. 6 (a). Moreover, the details of their fatty acid compositions were presented in Table 1, which there were also compared with palm oil and lard oil. The obtained extract Krabok seed flesh oil consisted of the saturated

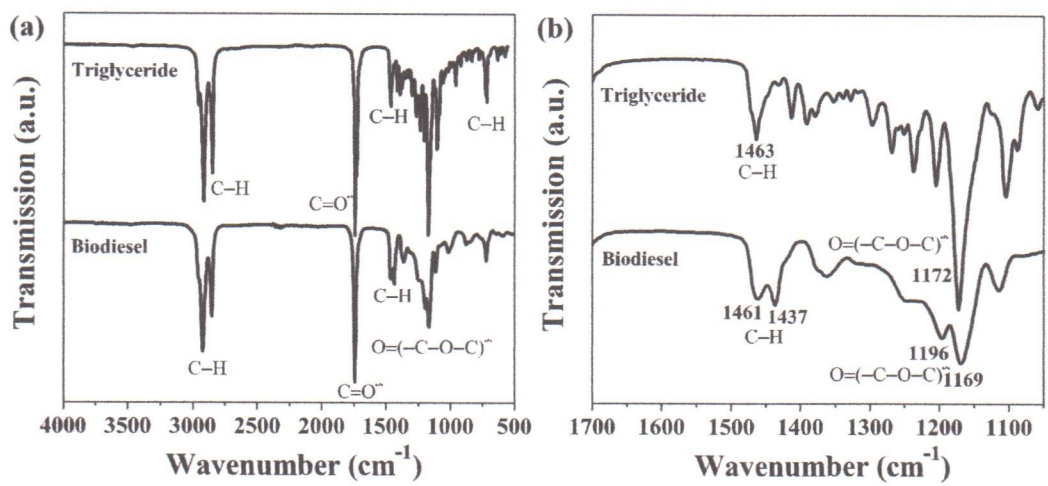


Fig. 3. FT-IR spectrum of (a) the obtained Krabok seed flesh oil and the Krabok seed flesh oil biodiesel, and (b) the enlarged image of the FT-IR spectrum in the range wave number of 1150–1500 cm^{-1}.

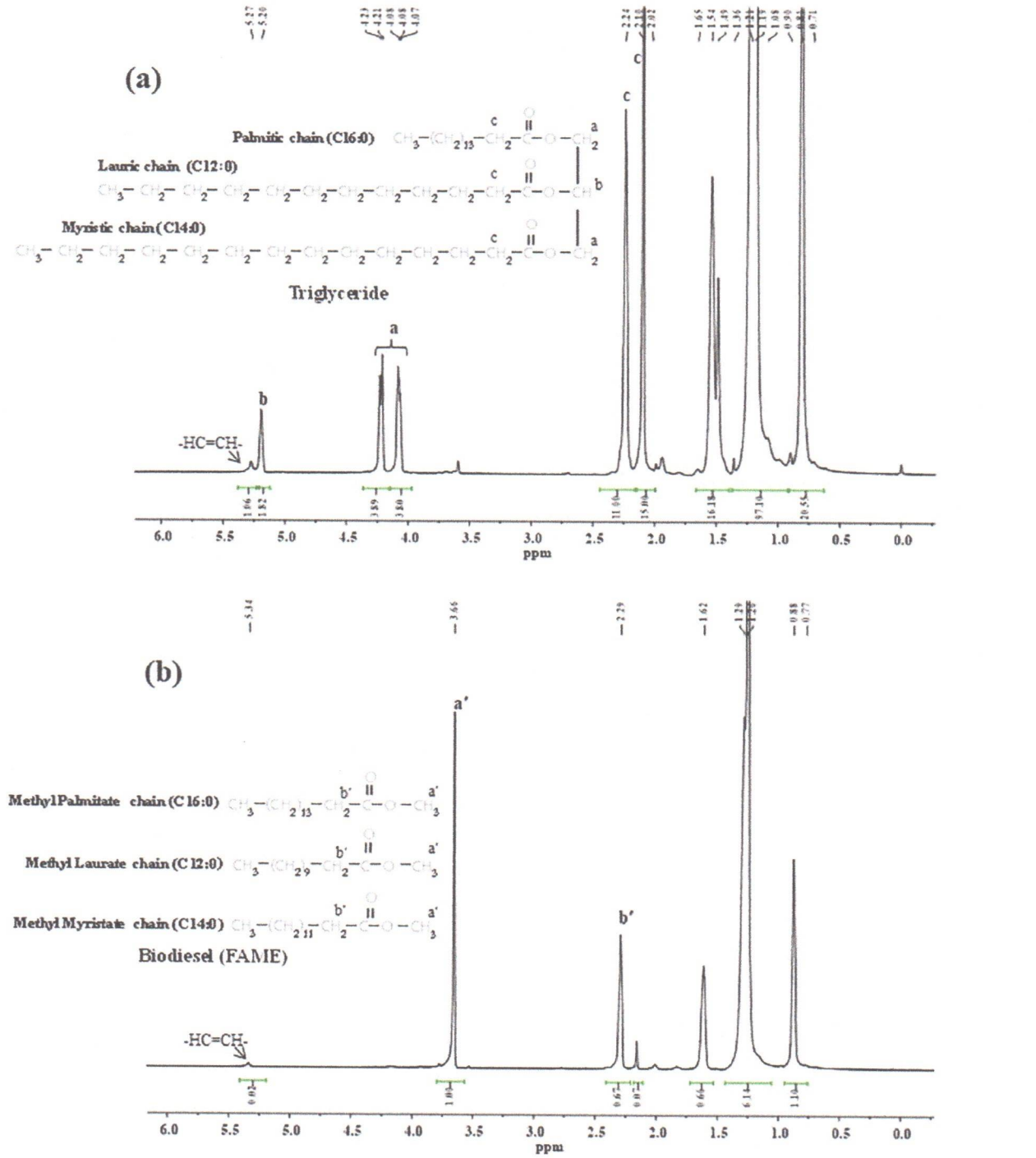


Fig. 4. ^{1}H NMR spectrum of (a) the obtained Krabok seed flesh oil and (b) the Krabok seed flesh oil biodiesel.

fatty acid compound as a major component which was greater than 95 wt%. These saturated fatty acid compositions consisted of lauric acid ($C_{12:0}$), myristic acid ($C_{14:0}$), palmitic acid ($C_{16:0}$), decanoic acid ($C_{10:0}$), and a few other types of saturated fatty acid, respectively. While the unsaturated fatty acid composition, which was approximately 4 wt%, comprised oleic acid ($C_{18:1}$), linoleic acid ($C_{18:2}$), Stearic acid ($C_{18:0}$), and Palmitoleic acid ($C_{16:1}$), respectively. These data agreed with the physical property of the obtained extract Krabok seed flesh oil. When it is set aside to cool completely, it would be a wax.

Furthermore, the results from the GC-chromatogram profile were also accorded against the data from ^{1}H and ^{13}C NMR analysis, which was clearly indicated that hardly appeared the signals of the chemical shift of the double bond. These similar results of the fatty acid composition of the extracted Krabok seed flesh oil were also described in the report of Nangue et al. [53], Bandelier et al. [54], and Sonwai and Ponpracha-nuvut [55]. Not only the fatty acid compositions of the obtained Krabok seed flesh oil was shown in Table 1, but this study also displayed the fatty acid compositions of palm oil and lard oil to compare the different chemical compositions. The palm oil and lard oil showed similar fatty acid compositions, namely total saturated fatty acid compound approximately 42 wt% and total unsaturated fatty acid compound around 57 wt%, respectively. The primary fatty acid composition of

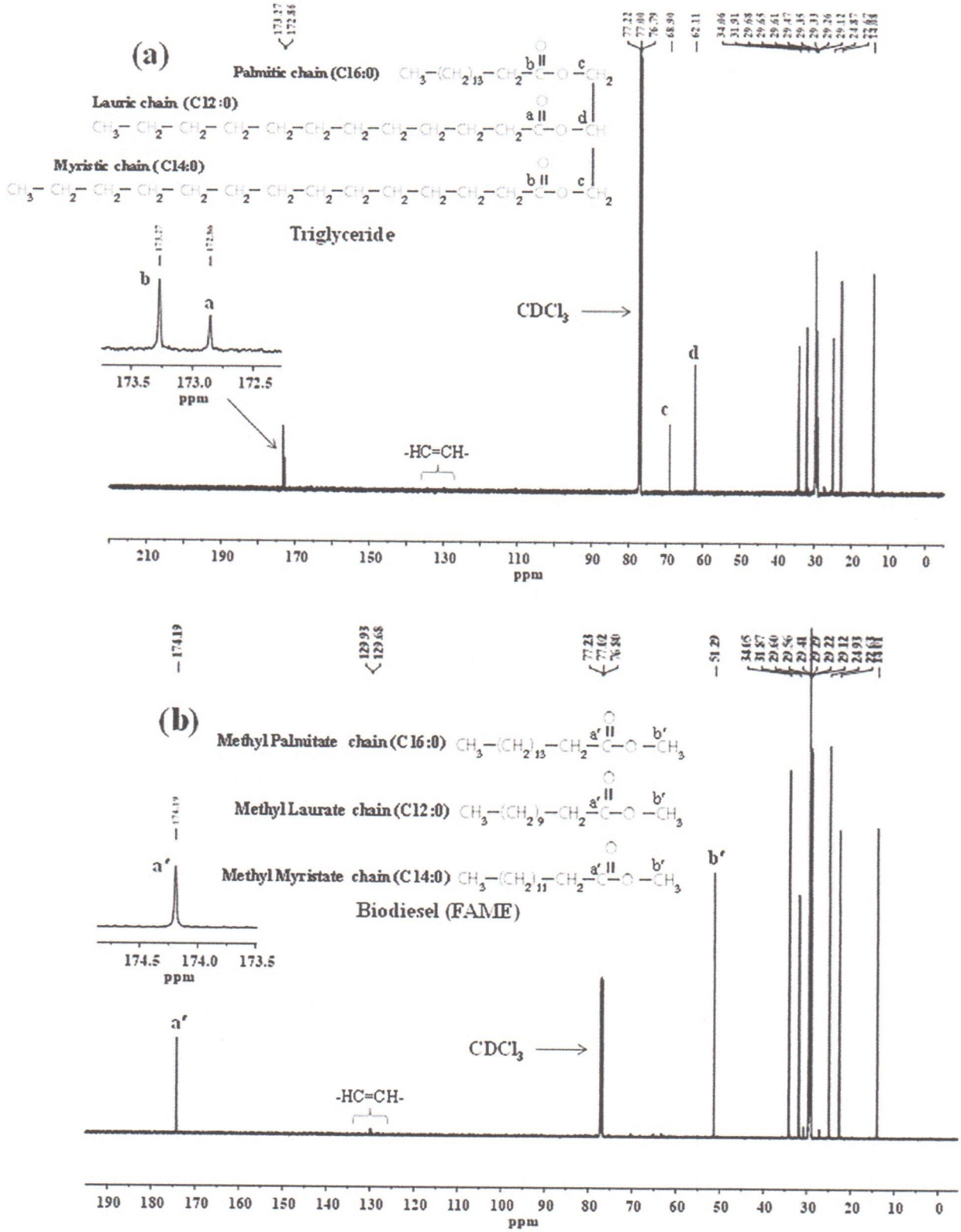


Fig. 5. ^{13}C NMR spectrum of (a) the obtained Krabok seed flesh oil and (b) the Krabok seed flesh oil biodiesel.

palm oil consisted of oleic acid ($C_{18:1}$), palmitic acid ($C_{16:0}$), and linoleic acid ($C_{18:2}$), which was similar to the research reported by Roschat et al. [56]. In comparison, the lard oil demonstrated the major fatty acid composition, namely oleic acid ($C_{18:1}$), palmitic acid ($C_{16:0}$), stearic acid ($C_{18:0}$), and linoleic acid ($C_{18:2}$), respectively. This data was consistent with the research report of Roschat et al. [37] that they were reported regarding the biodiesel production of lard oil via transesterification reaction using CaO as a heterogeneous catalyst.

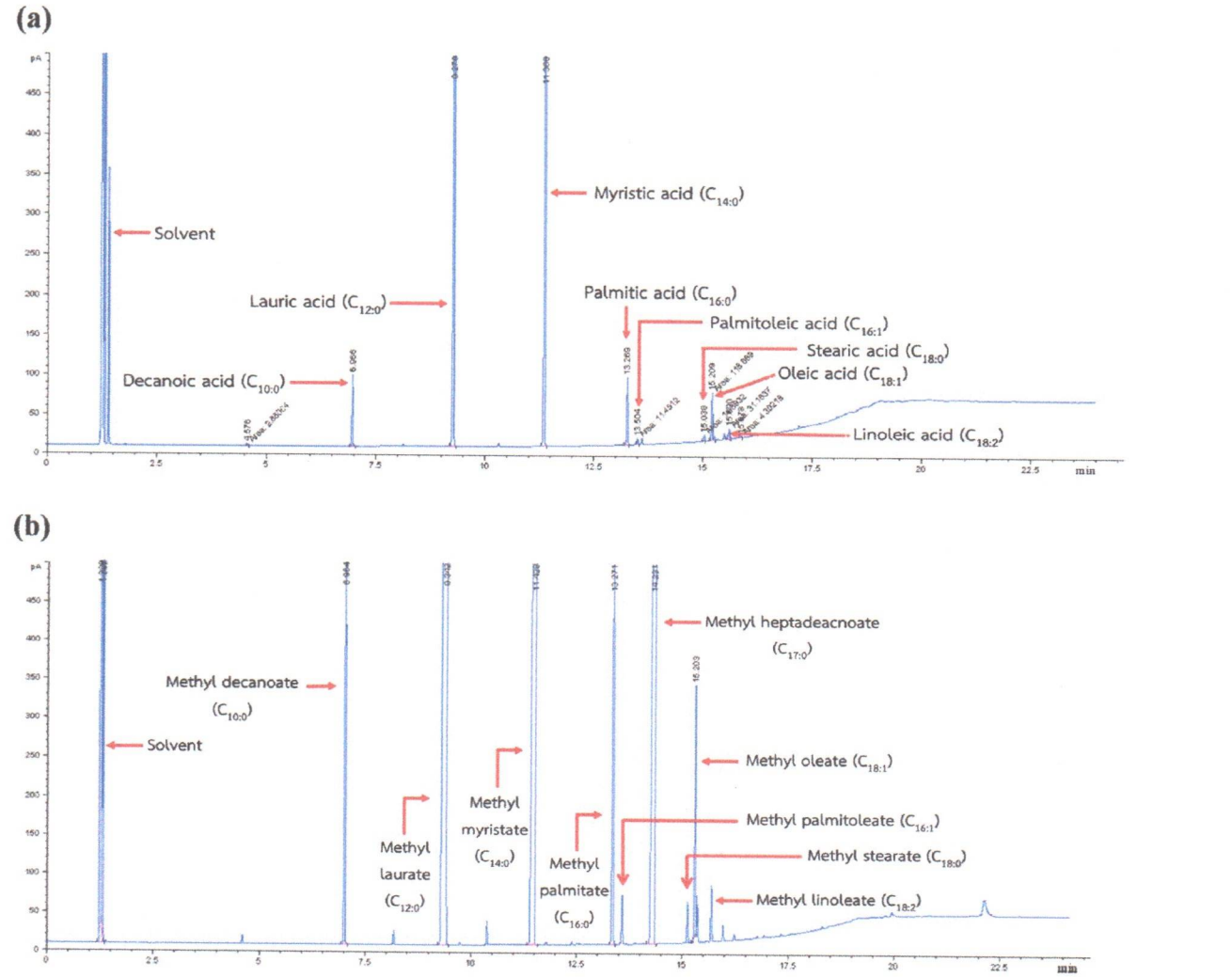


Fig. 6. GC-chromatogram of (a) the obtained Krabok seed flesh oil and (b) the Krabok seed flesh oil biodiesel.

Table 1
Fatty acid compositions of the obtained Krabok seed flesh oil compared with palm oil and lard oil.

Fatty acid	Composition (wt%)		
	Krabok seed flesh oil	Palm oil	Lard oil
Octannoic acid ($C_{8:0}$)	–	–	–
Decanoic acid ($C_{10:0}$)	3.83	–	–
Lauric acid ($C_{12:0}$)	52.11	0.25	0.45
Myristic acid ($C_{14:0}$)	35.21	0.65	2.30
Palmitic acid ($C_{16:0}$)	4.18	37.80	24.80
Palmitoleic acid ($C_{16:1}$)	0.36	0.40	2.65
Stearic acid ($C_{18:0}$)	0.40	3.65	13.90
Oleic acid ($C_{18:1}$)	3.01	45.82	43.00
Linoleic acid ($C_{18:2}$)	0.89	10.45	11.50
Linolenic acid ($C_{18:3}$)	–	0.65	0.74
Arachidic acid ($C_{20:0}$)	–	0.33	0.66
Behenic acid ($C_{22:0}$)	–	–	–
Erucic acid ($C_{22:1}$)	–	–	–
Ligniceric acid ($C_{24:0}$)	–	–	–
Total saturated fatty acid compound	95.73	42.68	42.11
Total unsaturated fatty acid compound	4.27	57.32	57.89

3.2.5. *Physicochemical properties of obtained extract Krabok seed flesh oil sample*

The physicochemical properties of obtained extract Krabok seed flesh oil sample are displayed in Table 2 according to the American Society for Testing and Material (ASTM-D6751) method and the European Standard (EN-14214). The obtained oil was light yellow when it was in a liquid phase, as shown in Fig. 7 (a). On the other hand, when set

Table 2
The physicochemical properties of obtained extract Krabok seed flesh oil sample.

Properties	Unit	ASTM-D6751[a]	EN-14214[b]	Krabok seed flesh oil
Color (liquid phase)	–	–	–	Light yellow
Color (In wax form)[c]	–	–	–	Yellowish-white
Oxidation Stability	h	–	≥ 6	41.47 ± 0.3200
Acid Number	mg KOH/g of oil	≤ 0.5	≤ 0.5	0.21 ± 0.0020
Free fatty acid (FFA)	wt%	–	–	0.105 ± 0.0010
Water content	wt%	≤ 0.05	≤ 0.05	0.011 ± 0.0010

[a] American Society for Testing and Material (ASTM-D6751)
[b] European Standard (EN-14214)
[c] when set aside to cool completely at room temperature

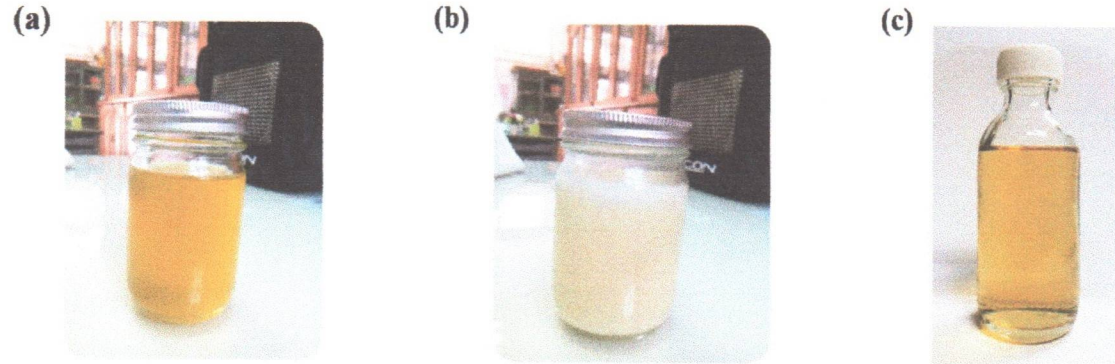


Fig. 7. The obtained extract Krabok seed flesh oil sample (a) in a liquid phase, (b) in wax form when set aside to cool completely at room temperature, and (c) the biodiesel product from Krabok seed flesh oil.

aside to cool completely at room temperature, the extracted oil was in wax form, and it was yellowish-white, as depicted in Fig. 7(b). These phenomena could be explained by the chemical analysis data in this research work which used several techniques, including FT-IR, ^{1}H and ^{13}C NMR, and GC. All of the data indicated precisely that the obtained extract Krabok seed flesh oil was a small molecule of saturated fatty acids and thus was in wax form at room temperature. Moreover, the results were also found that acid number and FFA content of the obtained extract Krabok seed flesh oil were 0.21 mg KOH/g of oil and 0.105 wt%, respectively. Additionally, the water content in the oil was found that there was very small, approximately 0.011 wt%. This information suggested that the obtained extract of Krabok seed flesh oil can be converted into a high-quality biodiesel product via a one-step transesterification process.

3.3. Production of biodiesel

The biodiesel production from Krabok seed flesh oil into a high-quality biodiesel product was applied via a one-step transesterification process catalyzed by CaO catalyst followed by the report's methodology from Roschat et al. [36,37]. The final biodiesel product was shown in Fig. 7 (c). The result found that the biodiesel product was in a liquid phase and had light yellow. This work emphasized to analyze and teste the final biodiesel product by using several techniques, namely FT-IR, ^{1}H and ^{13}C NMR, GC, and physicochemical properties followed the ASTM-D6751 and EN-14214 standards for bio-auto fuels. Furthermore, the comparison of physicochemical properties of the obtained biodiesel product versus palm oil biodiesel and lard oil biodiesel was also studied.

3.3.1. Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR) analysis of a high-quality Krabok seed flesh oil biodiesel product

Fig. 3 (a) depicted the FT-IR spectrum of a high-quality Krabok seed flesh oil biodiesel product with a similar functional group with Krabok seed flesh oil as a triglyceride. However, the enlarged image of the FT-IR spectrum in the range wave number of 1150–1500 cm^{-1} as illustrated in Fig. 3 (b) indicated that the bending vibration of $—CH_2—$ and $—CH_3$ groups of the final biodiesel product from Krabok seed flesh oil showed the double peaks at 1437 and 1461 cm^{-1}. Whereas, Krabok seed flesh oil displayed only a single peak spectrum at 1463 cm^{-1} due to Krabok seed flesh oil was in the structure of triglycerides which were rigidity and resulting in less bending vibration than biodiesel product. Likewise, the stretching vibrations peak of —C(=O)—O—C— of Krabok seed flesh oil has only a single peak at 1172 cm^{-1}, while the obtained biodiesel product showed double peaks at 1169 and 1196 cm^{-1}. Similar reports were presented by Muthukumaran et al. [3], Roschat et al. [25,57], Yusuff [48], Dutta et al. [58], Hebbar et al. [59], and Feyzi et al. [60]. Hence, the FT-IR results could clearly confirm that Krabok seed flesh oil was successfully transformed into a high-quality biodiesel product.

3.3.2. ^{1}H and ^{13}C NMR analysis of the final biodiesel product

^{1}H NMR analysis of the final biodiesel product derived from Krabok seed flesh oil is demonstrated in Fig. 4 (b). The characteristics peak of methoxy protons (peak a′), which was the unique peak of fatty acid methyl ester (FAME or biodiesel oil), could observe at chemical shifts of approximately 3.66 ppm as a singlet peak. Whereas the glyceridic backbone protons of the triglyceride with the signals located at 4.07–4.32 ppm (peak a) and 5.20–5.27 ppm (peak b) were clearly disappeared in the final biodiesel product. These similar results were reported and explained from the reports by Roschat et al. [25], Yadav et al. [61], and Mathimani et al. [62].

Focus on the ^{13}C NMR spectrum of the final biodiesel product obtained derived from Krabok seed flesh oil was depicted in Fig. 5 (b). The results indicated that the biodiesel product shown only the signal peak of the carboxyl carbon at δ174.19 ppm (peak a′) as a unique characteristic of ester molecules. Additionally, the carbon of the methoxy group of methyl esters (peak b′) only displayed the signal δ51.29 ppm. These research data could confirm that the triacylglycerol backbone as the main structure of the triglyceride compound of Krabok seed flesh oil was wholly transformed to biodiesel product as a mono-alkyl esters structure. These similar results were reported and discussed by Roschat et al. [25], Mathimani et al. [62], and Naureen et al. [63]. Thus, both ^{1}H and ^{13}C NMR data could confirm and prove that Krabok seed flesh oil was successfully produced to biodiesel product under the use of CaO as a catalyst.

3.3.3. Physicochemical properties of biodiesel product

The physicochemical properties followed the ASTM-D6751 and EN-14214 standards for bio-auto fuels were applied to evaluate the high-quality biodiesel product derived from Krabok seed flesh oil, as shown in Table 3. The percentage yield of biodiesel product calculated by the volume of the obtained biodiesel product divided by the volume of starting material oil found that the Krabok oil biodiesel product was higher than palm oil biodiesel and lard oil biodiesel. The yield of Krabok seed flesh oil biodiesel product was 90.10 %v/v, and the remaining volume of almost 10%v/v was the glycerol as a by-product. Consequently, the Krabok seed flesh oil was a raw material with a high potential for biodiesel production because it has excellent physicochemical properties, especially the acid number, free fatty acid, and water content that was very low. For that reason, the biodiesel production process from the Krabok seed flesh oil showed providing a high percentage of products due to reducing the occurrence of side reactions such as saponification reaction. When compared with other raw materials used as a source for biodiesel production, such as rubber seed oil, Jatropha seed oil, and castor seed oil found that the several reports were presented the amount of acid number or free fatty acid of these raw materials very high when compared to the Krabok seed flesh oil [25,44,47,64].

The high-quality Krabok seed flesh oil biodiesel product has the methyl ester content according to ASTM D6751 and EN 14214 standard

Table 3
Fuel properties of high-quality Krabok seed flesh oil biodiesel product.

Properties	Unit	ASTM D6751[a]	EN 14214[b]	High-speed diesel	Krabok oil biodiesel	Palm oil biodiesel	Lard oil biodiesel
Yield of biodiesel product	%v/v	–	–	–	90.10	87.65	87.21
Methyl ester content by GC technique	%	96.5	96.5	–	98.75	97.22	96.88
Methyl ester content by ^{1}H NMR technique	%	–	–	–	99.50	97.74	97.05
Kinematic Viscosity at 40 °C	cSt (mm^2/s)	1.9–6.0	3.5–5.0	3.2	3.88	4.45	4.20
Density at 15 °C	kg/m^3	860–890	860–900	825	862	875	872
Pour point	°C	−5 to + 10	–	< −15	+6	+10	+5
Cloud point	°C	−3 to + 15	–	< −5	+6	−1	+8
Flash point	°C	>130	>120	62	168	186	182
Oxidation Stability	h	–	≥ 6	>18	41.47	12.70	14.52
Copper strip corrosion	Number	No. 3 (max)	No. 3 (max)	No. 1	No. 1	No. 1	No. 1
Acid number	mg KOH/g	≤ 0.5	≤ 0.5	<0.02	0.21	0.28	0.31
Calcium ion content	ppm	≤ 5	≤ 5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5

[a]American Society for Testing and Material (ASTM - D6751).
[b] European standard (EN – 14214).

method as equal 98.75%, which was the major properties of biodiesel product. This methyl ester content was evaluated using the GG technique, and the GC-chromatogram of the Krabok seed flesh oil biodiesel was depicted in Fig. 6 (b). Additionally, the example of the biodiesel product was also determined the methyl ester content (%FAME) by the use of the ^{1}H NMR technique. The result was found that %FAME obtained by GG technique and ^{1}H NMR technique had a similar value and met with the standards. Focus on the kinematic viscosity and density, which involved fluid friction or oil resistance flowing in the engine, the results in Table 3 showed that the high-quality Krabok seed flesh oil biodiesel product has a lower viscosity and density value than palm oil biodiesel and lard oil biodiesel. While the comparison with petroleum diesel oil found that both viscosity and density values were similar. The reason for describing this data involved the long-chain hydrocarbons in the molecule of Krabok seed flesh oil biodiesel product, which is shorter than palm oil biodiesel and lard oil biodiesel, and almost like petroleum diesel oil.

Furthermore, the data of the fuel properties of the Krabok seed flesh oil biodiesel product was also indicated that the oxidation stability value significantly higher than palm oil biodiesel and lard oil biodiesel because it has a higher percentage of saturated fatty acid composition than palm oil and lard oil. The oxidation stability data was essential for ample storage of the biodiesel product under the atmosphere, and the standard of biodiesel fuel followed the EN-14214 standards for liquid bio-auto fuels required oxidation stability of at least 6 h [25,57]. Therefore, this data showed that the final biodiesel product from the Krabok seed flesh oil could be kept for a long time, and they were good resistant to oxidation reaction against the air and moisture. In addition, other fuel properties of the final biodiesel product from the Krabok seed flesh oil, namely pour point, cloud point, flash point, copper strip corrosion, acid number, and calcium ion content, were within followed both the ASTM-D6751 and EN-14214 standards for liquid bio-auto fuels.

3.3.4. *The heating value and thermogravimetric analysis*

The heating value of the liquid fuel was one of the factors indicating the performance of combustion and the engine's power when applied to the fuel. The heat of combustion or the heating value of the obtained biodiesel oil generated from the Krabok seed flesh oil was tested by a bomb calorimeter, and the result was also compared with high-speed petroleum diesel oil, palm oil biodiesel, and lard oil biodiesel as displayed in Fig. 8. The results demonstrated that the trend of heating value high-speed petroleum diesel oil (HPD) and Krabok seed flesh oil biodiesel (KBB) were close to the value and higher than both palm oil biodiesel (PB) and lard oil biodiesel (LB). This may be due to the chemical molecular structure of the KBB, which was a short-chain and saturated hydrocarbon ($C_{12:0}$ and $C_{14:0}$) similar to the HPD ($C_{12:0}$-$C_{16:0}$). However, there would be a few differences, including that KBB has an ester functional group (RCOOR) while the HPD was an alkane group

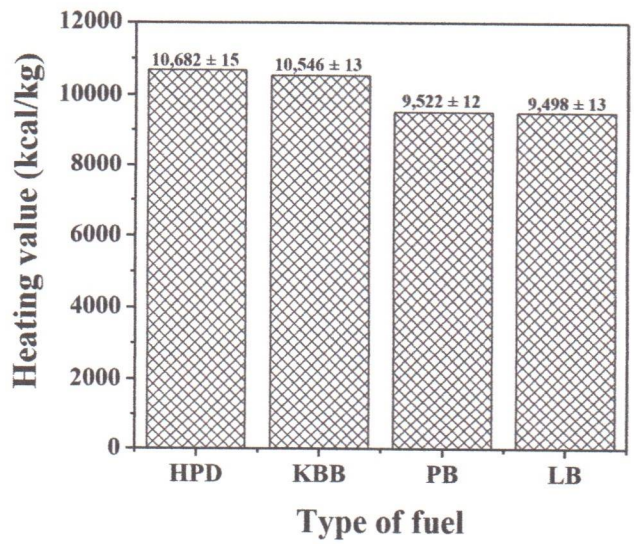


Fig. 8. The heating values of the liquid fuel of (a) high-speed petroleum diesel oil (HPD), Krabok seed flesh oil biodiesel (KBB), palm oil biodiesel (PB), and lard oil biodiesel (LB).

(C_nH_{2n+2}) as depicted in the chemical structure in Fig. S5 (in the Supporting Information) [65–67]. On the other hand, both PB and LB showed a heating value lower than the HPD and the KBB, approximately 10%, because there may be some energy loss from combustion during the chemical bond breakdown, especially the double bond. This reason agreed with the data in Table 1 that displayed the fatty acid compositions of the obtained Krabok seed flesh oil compared with palm oil and lard oil representing the total unsaturated fatty acid compound of both oils as around 57 wt%.

Furthermore, the thermogravimetric analysis (TGA) of the KBB was investigated and compared with the Krabok seed flesh oil as a triglyceride (KBO) and the HPD, as shown in Fig. 9. The results found that the KBB has weight loss due to the thermal decomposition very similar to the HPD. The thermogravimetric curve of the HPD indicated that the HPD has entirely thermal decomposition in the range of 292 °C while the KBB illustrated thermal decomposition over 90 wt% at the same temperature and completely decomposed of 393 °C. This phenomenon could describe that the HPD has a chemical structure as an alkane group which would cause an easy thermal degradation. Likewise, the synthesized KBB has a short-chain and saturated hydrocarbon of ester compound, resulting in similar thermal decomposition. However, the KBB also has a carbonyl group in its chemical structure that affecting higher thermal stability than the HPD.

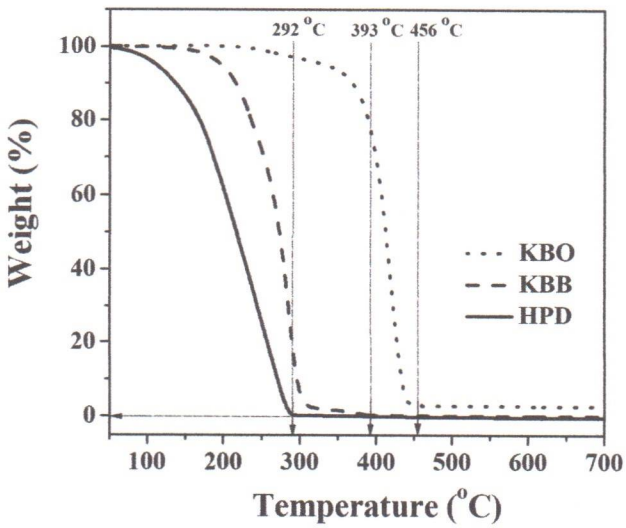


Fig. 9. The data of thermogravimetric analysis of the Krabok seed flesh oil biodiesel (KBB) compared with the Krabok seed flesh oil as a triglyceride (KBO) and the high-speed petroleum diesel oil (HPD).

On the other hand, the mass loss of the KBO as a triglyceride compound found that 456 °C displayed the most thermal decomposition and appeared the residual weight about 2–3 wt%. While in residual weight both the KBB and the HPD disappeared because it was utterly thermally degradable. Thus, the TGA results not only showed the excellent thermal degradability of the synthesized biodiesel from Krabok seed flesh oil but also indicated that the obtained Krabok seed flesh oil biodiesel could be completely decomposed identically with and the high-speed petroleum diesel oil. Therefore, the results of all fuel properties could conclude that the biodiesel oil produced from the Krabok seed flesh oil was a high-quality liquid biofuel for use with general diesel engines and perfectly suitable to use with a single-cylinder diesel engine for agriculture. All of the results in this study were also suggested that the Krabok seed flesh oil has high efficiency and potentiality to be used as a source of liquid biofuel energy in Thailand to produce biodiesel oil with properties and performance similar to the high-speed petroleum diesel oil.

4. Conclusion

In summary, this research could extract the oil from the Krabok seed flesh using the Soxhlet extraction method, which was most efficient and provided a large amount of oil up to 63.58 wt%. In this case, several different techniques, namely FT-IR, ^{1}H and ^{13}C NMR, GC, automatic potentiometric titration method for acid value test, and oxidation stability of oil by the Rancimat method were applied to characterize and evaluate the physicochemical properties of the obtained Krabok seed flesh oil. The results indicated that the obtained Krabok seed flesh oil has a total saturated fatty acid compound of more than 95 wt% consisting of lauric acid ($C_{12:0}$) and myristic acid ($C_{14:0}$) as a major composition compound. Furthermore, the obtained biodiesel product from the Krabok seed flesh oil that used the one-step transesterification process catalyzed by CaO catalyst was within the range following both the ASTM-D6751 and EN-14214 standards for liquid bio-auto fuels. Moreover, the comparison of physicochemical properties of biodiesel derived from Krabok seed flesh oil, palm oil, and lard oil was also found that the Krabok seed flesh oil biodiesel showed better energy properties and performance than that of biodiesel from palm oil and lard oil such as kinematic viscosity, oxidation stability, acid number, and the heating value. While comparing fuel properties between high-speed petroleum diesel oil against the Krabok seed flesh oil biodiesel indicated that both liquid fuels were very close to each other, especially the heating value from the combustion process and thermal decomposition. Therefore, the Krabok seed flesh oil was one of the high efficiencies and potentials biomass energy sources used as a raw material to produce a high-quality biodiesel product that could apply with general diesel engines replaced petroleum diesel oil.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

The authors gratefully appreciated scholarship support from the Research and Development Institute, Sakon Nakhon Rajabhat University, for this research by the fiscal year 2019 (Contract No.3/2562). The authors were also thankful to the Program of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Biomass Energy Research Laboratory under Center of Excellence on Alternative Energy, Sakon Nakhon Rajabhat University-Thailand, for supporting the equipment and tools required for this project. The authors would like to thank the Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology-Thailand, for the analysis of the sample by ^{1}H and ^{13}C-NMR technique and the National Energy Technology Center (ENTEC)-Thailand for analysis the fuel properties of the obtained biodiesel product.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122009.

References

[1] Chen S-Y, Nishi M, Mochizuki T, Takagi H, Takatsuki A, Roschat W, et al. Co-processing of jatropha-derived bio-oil with petroleum distillates over mesoporous CoMo and NiMo sulfide catalysts. Catalysts 2018;8(2):59. https://doi.org/10.3390/catal8020059.

[2] Energy and Environment Partnership/Mekong. The Alternative Energy Development Plan 2015-2036 (AEPD2015-2036). Available online: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Nov/IRENA_Outlook_Thailand_2017.pdf (accessed on 2 March 2021).

[3] Muthukumaran C, Praniesh R, Navamani P, Swathi R, Sharmila G, Kumar NM. Process optimization and kinetic modeling of biodiesel production using non-edible Madhuca indica oil. Fuel 2017;195:217–25. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.01.060.

[4] Khunchalee J, Roschat W. The study of physicochemical properties of the Yang-Na (*Dipterocarpus Alatus*) oil for use as a high potentiality feedstock to produce liquid biofuel in Thailand. J Mater Sci Appl Energy 2020;9(2):522–30.

[5] Roschat W, Phewphong S, Thangthong A, Moonsin P, Yoosuk B, Kaewpuang T, et al. Catalytic performance enhancement of CaO by hydration-dehydration process for biodiesel production at room temperature. Energy Convers Manage 2018;165:1–7. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.03.047.

[6] Syazwani ON, Teo SH, Islam A, Taufiq-Yap YH. Transesterification activity and characterization of natural CaO derived from waste venus clam (*Tapesbelcheri S.*) material for enhancement of biodiesel production. Process Saf Environ 2017;105:303–15. https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.11.011.

[7] Krishnamurthy KN, Sridhara SN, Ananda Kumar CS. Optimization and kinetic study of biodiesel production from *Hydnocarpus wightiana* oil and dairy waste scum using snail shell CaO nano catalyst. Renew Energy 2020;146:280–96. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.161.

[8] Alviso D, Romano SD. Prediction of the refractive index and speed of sound of biodiesel from its composition and molecular structure. Fuel 2021;304:120606. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120606.

[9] Sronsri C, Sittipol W, U-yen K. Performance of CaO catalyst prepared from magnetic-derived CaCO3 for biodiesel production. Fuel 2021;304:121419. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121419.

[10] Anwar M, Rasul MG, Ashwath N. A pragmatic and critical analysis of engine emissions for biodiesel blended fuels. Fuel 2020;270:117513. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117513.

[11] Lapuerta M, Rodríguez-Fernández J, Fernández-Rodríguez D, Patiño-Camino R. Cold flow and filterability properties of n-butanol and ethanol blends with diesel and biodiesel fuels. Fuel 2018;224:552–9. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.03.083.

[12] Mahmood Khan H, Iqbal T, Haider Ali C, Javaid A, Iqbal Cheema I. Sustainable biodiesel production from waste cooking oil utilizing waste ostrich (Struthio

camelus) bones derived heterogeneous catalyst. Fuel 2020;277:118091. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118091.
[13] Paryanto I, Prakoso T, Suyono EA, Gozan M. Determination of the upper limit of monoglyceride content in biodiesel for B30 implementation based on the measurement of the precipitate in a Biodiesel-Petrodiesel fuel blend (BXX). Fuel 2019;258:116104. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116104.
[14] Paulauskiene T, Bucas M, Laukinaite A. Alternative fuels for marine applications: biomethanol-biodiesel-diesel blends. Fuel 2019;248:161–7. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.03.082.
[15] Jeong GT, Oh YT, Park HD. Emission profile of rapeseed methyl ester and its blend in a diesel engine. Appl Biochem Biotechnol 2006;129-132:165-78.doi:10.1385/abab:129:1:165.
[16] Inthachai S, Roschat W. The performance testing of biodiesel oil produced from waste cooking oil by using a prototype solar reactor for agricultural diesel engines. J Mater Sci Appl Energy 2019;8(2):398–407.
[17] Rajak U, Nashine P, Chaurasiya PK, Verma TN, Patel DK, Dwivedi G. Experimental & predicative analysis of engine characteristics of various biodiesels. Fuel 2021;285:119097. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119097.
[18] Hellier P, Jamil F, Zaglis-Tyraskis E, Al-Muhtaseb AH, Al-Haj L, Ladommatos N. Combustion and emissions characteristics of date pit methyl ester in a single cylinder direct injection diesel engine. Fuel 2019;243:162–71. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.01.022.
[19] Yang L, Takase M, Zhang M, Zhao T, Wu X. Potential non edible oil feedstock for biodiesel production in Africa: A survey. Renew Sust Energ Rev 2014;38:461-77. doi:10.1016/j.rser.2014.06.002.
[20] Konuskan DB, Arslan M, Oksuz A. Physicochemical properties of cold pressed sunflower, peanut, rapeseed, mustard and olive oils grown in the Eastern Mediterranean region. Saudi J Biol Sci 2019;26(2):340–4. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.04.005.
[21] Outili N, Kerras H, Nekkab C, Merouani R, Meniai AH. Biodiesel production optimization from waste cooking oil using green chemistry metrics. Renew Energy 2020;145:2527–86. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.152.
[22] Fadhil AB, Dheyab MM, Saleh LA. Conversion of fish oil into biodiesel fuels via acid-base catalyzed transesterification. Energy Sources A: Recovery Util Environ Eff 2014;36(14):1571–7. https://doi.org/10.1080/15567036.2011.555441.
[23] Fadhil AB, Ahmed AI. Production of mixed methyl/ethyl esters from waste fish oil through transesterification with mixed methanol/ethanol system. Chem Eng Commun 2018;205(9):1157–66. https://doi.org/10.1080/00986445.2018.1434514.
[24] Fadhil AB, Saeed IK, Saeed LI, Altamer MH. Co-solvent ethanolysis of chicken waste: optimization of parameters and characterization of biodiesel. Energy Sources A: Recovery Util Environ Eff 2016;38(19):2883–90. https://doi.org/10.1080/15567036.2015.1065299.
[25] Roschat W, Siritanon T, Yoosuk B, Sudyoadsuk T, Promarak V. Rubber seed oil as potential non-edible feedstock for biodiesel production using heterogeneous catalyst in Thailand. Renew Energy 2017;101:937–44. https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.057.
[26] Anwar M, Rasul MG, Ashwath N. Production optimization and quality assessment of papaya (*Carica papaya*) biodiesel with response surface methodology. Energy Convers Manage 2018;156:103–12. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.11.004.
[27] Demirbas A, Bafail A, Ahmad W, Sheikh M. Biodiesel production from non-edible plant oils. Energ Explor Exploit 2016;34(2):290–318. https://doi.org/10.1177/0144598716630166.
[28] Anwar M. Potential vs prevalent vs popular vs proven biodiesel feedstocks: a critical 4P selection process. Fuel 2021;298:120712. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120712.
[29] Fadhil AB, Aziz AM, Altamer MH. Optimization of methyl esters production from non-edible oils using activated carbon supported potassium hydroxide as a solid base catalyst. Arab J Basic Appl Sci 2018;25(2):56–65. https://doi.org/10.1080/25765299.2018.1449414.
[30] Anwar M. Biodiesel feedstocks selection strategies based on economic, technical, and sustainable aspects. Fuel 2021;283:119204. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119204.
[31] Yadav AK, Khan ME, Pal A, Dubey AM. Biodiesel production from Nerium oleander (Thevetia peruviana) oil through conventional and ultrasonic irradiation methods. Energy Sources A: Recovery Util Environ Eff 2016;38(23):3447–52. https://doi.org/10.1080/15567036.2016.1145765.
[32] Fadhil AB, Nayyef AW, Sedeeq SH. Valorization of mixed radish seed oil and Prunus armeniaca L. oil as a promising feedstock for biodiesel production: evaluation and analysis of biodiesels. Asia-Pac J Chem Eng 2020;15(1):2390–404. https://doi.org/10.1002/apj.2390.
[33] Harris DJ. Irvingiaceae-Species Plantarum-Flora of the World. Part 1. 25 p., 9 pl. 10 maps. Australian Biological Study, Canberra 1999.
[34] BGO Plant Databases, the Botanical Garden Organization. Available online: http://www.qsbg.org/Database/Botanic_Book%20full%20option/search_detail.asp?botanic_id=1011 (accessed on 5 March 2021).
[35] Sonwai S, Ornla-ied P, Aneknun T. Lauric fat cocoa butter replacer from Krabok (*Irvingia Malayana*) seed fat and coconut oil. J Oleo Sci 2015;64(4):357–65. https://doi.org/10.5650/jos.ess14244.
[36] Roschat W, Siritanon T, Kaewpuang T, Yoosuk B, Promarak V. Economical and green biodiesel production process using river snail shells-derived heterogeneous catalyst and co-solvent method. Bioresour Technol 2016;209:343–50.
[37] Roschat W, Phewphong S, Moonsin P, Pholsupho P, Yapan S. Physicochemical properties of biodiesel product derived from lard oil using eggshells as a green catalyst. Suranaree J Sci Technol 2020;27(3):1-8.doi:10.14456/easr.2020.39.
[38] Niju S, Meera Sheriffa Begum KM, Anantharaman N. Enhancement of biodiesel synthesis over highly active CaO derived from natural white bivalve clam shell. Arabian J Chem 2016;9(5):633–9. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.06.006.
[39] Shimamoto GG, Bianchessi LF, Tubino M. Alternative method to quantify biodiesel and vegetable oil in dieselbiodiesel blends through ^{1}H-NMR spectroscopy. Talanta 2017;168:121–5. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.03.027.
[40] Fadhil AB. Production and characterization of liquid biofuels from locally available nonedible feedstocks. Asia-Pac J Chem Eng 2021;16:2572–91. https://doi.org/10.1002/apj.2572.
[41] Saeed LI, Khalaf AM, Fadhil AB. Biodiesel production from milk thistle seed oil as nonedible oil by cosolvent esterification–transesterification process. Asia-Pac J Chem Eng 2021:2647–58. https://doi.org/10.1002/apj.2647.
[42] Yoosuk B, Udomsap P, Puttasawat B, Krasae P. Improving transesterification activity of CaO with hydration technique. Bioresour Technol 2010;101:3784–6. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.114.
[43] Onoji SE, Iyuke SE, Igbafe AI. Hevea brasiliensis (Rubber seed) oil: extraction, characterization and kinetics of thermo-oxidative degradation using classical chemical methods. Energy Fuel 2016;30(12):10555–67. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b02267.
[44] Fadhil AB, Al-Tikrity ETB, Albadree MA. Biodiesel production from mixed non-edible oils, castor seed oil and waste fish oil. Fuel 2017;210:721–8. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.09.009.
[45] Bouaid A, Bajo L, Martinez M, Aracil J. Optimization of biodiesel production from jojoba oil. Process Saf Environ Protect 2007;85(5):378–82. https://doi.org/10.1205/psep07004.
[46] Lhawang T, Sirigeri S, Menon S, Vadiraj KT. *Azadirchta excelsa* seed oil, a potential non-conventional biodiesel feedstock. Environ Challenge 2021;3(100057):1–4. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100057.
[47] Anwar M, Rasul MG, Ashwath N, Nabi MDN. The potential of utilising papaya seed oil and stone fruit kernel oil as non-edible feedstock for biodiesel production in Australia-A review. Energy Rep 2019;5:280–97. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.02.007.
[48] Yusuff AS. Parametric optimization of solvent extraction of *Jatropha curcas* seed oil using design of experiment and its quality characterization. S Afr J Chem Eng 2021;35:60–8. https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.11.006.
[49] Jiyane PC, Tumba K, Musonge P. Optimization of Croton gratissimus oil extraction by n-hexane and ethyl acetate using response surface methodology. J Oleo Sci 2018;67:369–77. https://doi.org/10.5650/jos.ess17197.
[50] Yusuff AS, Lala MA, Popoola LT, Adesina OA. Optimization of oil extraction from Leucaena leucocephala seed as an alternative low-grade feedstock for biodiesel production. SN Appl Sci 2019;1(357):1–9. https://doi.org/10.1007/s42452-019-0364-0.
[51] Martinez A, Mijanhos GE, Romero-Ibarra IC, Hernandez-Altamirano R, Cervantes VY. In-situ transesterification of *Jatropha curcas* L. seeds using homogeneous and heterogeneous basic catalysts. Fuel 2019;235:277–87. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.07.082.
[52] Kumar R, Das N. Seed oil of *Jatropha curcas* L. germplasm: analysis of oil quality and fatty acid composition. Ind Crops Prod 2018;124:663–8. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.031.
[53] Nangue TJ, Womeni HM, Mbiapo FT, Fanni J, Michel L. *Irvingia gabonensis* fat: nutritional properties and effect of increasing amounts on the growth and lipid metabolism of young rats *wistar* sp. Lipids Health Dis 2011;10(43):2–10. https://doi.org/10.1186/1476-511X-10-43.
[54] Bandelier J, Chunhieng T, Olle M, Montet D. Original study of the biochemical and oil composition of the Cambodia Nut *Irvingia malayana*. J Agric Food Chem 2002;50(6):1478–82. https://doi.org/10.1021/jf011118h.
[55] Sonwai S, Ponprachanuvut P. Characterization of physicochemical and thermal properties and crystallization behavior of krabok (*Irvingia Malayana*) and rambutan seed fats. J Oleo Sci 2012;61(12):671–9. https://doi.org/10.5650/jos.61.671.
[56] Roschat W, Siritanon T, Yoosuk B, Promarak V. Biodiesel production from palm oil using hydrated lime-derived CaO as a low-cost basic heterogeneous catalyst. Energy Energy Convers Manage 2016;108:459–67. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.11.036.
[57] Roschat W, Butthichak P, Daengdet N, Phewphong S, Kaewpuang T, Moonsin P, Yoosuk B, Promarak V. Kinetics study of biodiesel production at room temperature based on eggshell-derived CaO as basic heterogeneous catalyst. EASR 2020;47(4):361-73.doi:10.14456/easr.2020.39.
[58] Dutta R, Sarkar U, Mukherjee A. Extraction of oil from Crotalaria Juncea seeds in a modified Soxhlet apparatus: physical and chemical characterization of a prospective biofuel. Fuel 2014;116:794–802. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.08.056.
[59] Hebbar HRH, Math MC, Yatish KV. Optimization and kinetic study of CaO nano-particles catalyzed biodiesel production from Bombax ceiba oil. Energy 2018;143:25–34. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.118.
[60] Feyzi M, Shahbazi Z. Preparation, kinetic and thermodynamic studies of Al–Sr nanocatalysts for biodiesel production. J Taiwan Inst Chem E 2017;71:145–55. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.11.023.
[61] Yadav M, Singh V, Sharma YC. Methyl transesterification of waste cooking oil using a laboratory synthesized reusable heterogeneous base catalyst: process optimization and homogeneity study of catalyst. Energy Convers Manage 2017;148:1438–52. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.06.024.
[62] Mathimani T, Uma L, Prabaharan D. Homogeneous acid catalysed transesterification of marine microalga *Chlorella* sp. BDUG 91771 lipid - An efficient biodiesel yield and its characterization. Renew. Energy 2015;81:523–33. https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.059.

[63] Naureen R, Tariq M, Yusoff I, Chowdhury AJK, Ashraf MA. Synthesis, spectroscopic and chromatographic studies of sunflower oil biodiesel using optimized base catalyzed methanolysis. Saudi J Biol Sci 2015;22(3):332–9. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.11.017.

[64] Keera ST, El Sabagh SM, Taman AR. Castor oil biodiesel production and optimization. Egypt J Pet 2018;27(4):979–84. https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.02.007.

[65] Ge JC, Yoon SK, Choi NJ. Using canola oil biodiesel as an alternative fuel in diesel engines: a review. Appl Sci 2017;7(881):1–19. https://doi.org/10.3390/app7090881.

[66] Ruhul AM, Kalam MA, Masjuki HH, Rizwanul Fattah IM, Rehama SS, Rasheda MM. State of the art of biodiesel production process: a review on heterogeneous, homogeneous, biocatalytic and non-catalytic process. RSC Adv 2015;5(122):101023–44. https://doi.org/10.1039/C5RA09862A.

[67] Taghipour A, Hornung U, Ramirez JA, Brown RJ, Rainey TJ. Fractional distillation of algae based hydrothermal liquefaction biocrude for co-processing: changes in the properties, storage stability, and miscibility with diesel. Energy Convers Manage 2021;236:114005. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114005.

Sci2.3-44

Songklanakarin J. Sci. Technol.
43 (5), 1237-1243, Sep. - Oct. 2021

http://www.sjst.psu.ac.th

Original Article

Alternative matrix in cryptography with Hadamard matrix

Nilobol Kamyun[1], Supannee Sompong[2], Nichakan Kamtalang[1], Mongkoltong Sroypachr[1], and Kannika Khompungson[1*]

[1] *Division of Mathematics, School of Science, University of Phayao, Mueang, Phayao, 56000 Thailand*

[2] *Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology Sakon Nakhon Rajabhat University, Mueang, Sakon Nakhon, 47000 Thailand*

Received: 15 June 2020; Revised: 9 September 2020; Accepted: 5 October 2020

Abstract

This paper aims to describe the methods that were used in order to construct the Hadamard matrix and its basic properties and how it is applied in Cryptography. Moreover, this matrix was used to construct a new algorithm in cryptography.

Keywords: Hadamard matrix, orthogonal matrix, cryptography

1. Introduction

The basic concept of Cryptography study primarily consists of two parts: encryption and decryption. Both of these parts have a myriad of methods for the construction of an algorithm when it comes to cryptography.

As present, cryptography is usually classified into two major categories, symmetric and asymmetric. To more specific, both the sender and the receiver utilize the same key for encryption and decryption. However, in asymmetric cryptography, two different keys are used. In the English Language, the alphabet consist of 26 letters; therefore, the main idea of Hill Cipher, is to assign a numerical value to each letter of the words, thus Hill Cipher works on modulo 26 (Abedal-Hamza & Baneen, 2017a). In 2017, Abdulaziz B.M. Hamed and Ibrahim O.A. Albudawe proposed to solve the problem of cryptographic messages by utilizing the invertible matrices (modulo 27) instead of the Hill Cipher method. In detail, the messages have been encrypted and decrypted perfectly using secret key matrices along with congruence modulo, relative prime and inverse multiplication (modulo 27) relations corresponding to English alphabetic letter plus space.

*Corresponding author
Email address: kannika.kh@up.ac.th

The Hadamard matrix is well-known matrix with a wide range of applications in mathematics especially in communication system digital and image processing. This paper aims to describe the processes and the methods that we used to construct the Hadamard matrix as well as its basic properties, which are then applied to the cryptographic problems in using the Hill Cipher method (modulo 27). It is important to note, as it was stated above that there are many methods of constructing an algorithm in cryptography. An entirely new algorithm was constructed with the use of this matrix.

2. Hadamard Matrix

A real square matrix H_m is said to be a real Hadamard matrix if all entries are +1 or -1 and all rows of H_m are mutually orthogonal ($H_m H^t_m = mI_m$)

For example, for $m = 2$: $\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$

$m = 4$: $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$

Moreover, we have the following properties,

If H_m is a Hadamard matrix then $H^t_m H_m = H_m H^t_m$.
If H_m is symmetric Hadamard matrix then $H^2_m = mI_m$.

Next, let us provide the useful theorem that makes it easy to use software to check whether a matrix is a Hadamard matrix (Horadam, 2007a).

Theorem 2.1 Let $H_m = [h_{ij}]_m$ be an $m \times m$ real matrix whose entries satisfy $|h_{ij}| \leq 1$ for all i, j then $\det(H_m) \leq m^{\frac{m}{2}}$. Moreover, $\det(H_m) = m^{\frac{m}{2}}$ if and only if H_m is the Hadamard matrix.

Theorem 2.2 If m is the order of a Hadamard matrix and $m \neq 1, 2$ then it necessary that m should be divisible by 4.

There are many methods of construction of Hadamard matrices. Let us begin as the following:

Theorem (Sylvester's Construction) If $m = 2^k$ for some $k \in \mathbb{N}$ then

$$H_{2m} = \begin{bmatrix} H_m & H_m \\ H_m & -H_m \end{bmatrix}$$

is a Hadamard matrix where H_m is a Hadamard matrix.

For example, It is easy to see that $H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$ is a Hadamard matrix and by the above theorem we obtain the Hadamard matrix as follows:

$$H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Moreover, if H_m is a symmetric matrix then we observe that H^2_{2m} is a diagonal matrix.

Next, let us mention the methods of construction of Hadamard matrices by tensor product of two Hadamard matrices, which is useful (Neha & Sachin, 2014). First, let us introduce the definition of the tensor product. Let A and B be a matrix of order m and n respectively.

$$A \otimes B = \begin{bmatrix} a_{11}B & a_{12}B & \cdots & a_{1m}B \\ a_{21}B & a_{22}B & \cdots & a_{2m}B \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{m1}B & a_{m2}B & \cdots & a_{mm}B \end{bmatrix}$$

Theorem 2.3 The tensor product of two Hadamard matrices is a Hadamard matrix.

Let $A = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$ and $B = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$ be a Hadamard matrix. We have the Hadamard matrix as the following.

$$A \otimes B = \begin{bmatrix} -B & B \\ B & -B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

To this end, let us add some observation. Let A be a 2 x 2 Hadamard matrix. If A is not a symmetric matrix, $a_{12} \neq a_{21}$, then we observe that A^2 is an anti diagonal matrix (the (i, j) element is zero $\forall i, j \in \square_n$ $(i + j \neq n+1)$). That is, we have $a_{12}a_{21} = -1$ and

$$A^2 = \begin{bmatrix} a_{11}^2 + a_{12}a_{21} & a_{11}a_{12} + a_{12}a_{22} \\ a_{21}a_{11} + a_{22}a_{21} & a_{22}^2 + a_{21}a_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & a_{11}a_{12} + a_{12}a_{22} \\ a_{21}a_{11} + a_{22}a_{21} & 0 \end{bmatrix}$$

Furthermore, if A, B are 2 x 2 Hadamard matrices but not a symmetric matrices then we point out that $(A \otimes B)^2$ is anti diagonal matrix. To this end, let us consider as the following:

$$(A \otimes B)^2 = \begin{bmatrix} (a_{11}^2 + a_{12}a_{21})B^2 & (a_{11}a_{12} + a_{12}a_{22})B^2 \\ (a_{21}a_{11} + a_{22}a_{21})B^2 & (a_{22}^2 + a_{21}a_{12})B^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & (a_{11}a_{12} + a_{12}a_{22})B^2 \\ (a_{21}a_{11} + a_{22}a_{21})B^2 & 0 \end{bmatrix}$$

As we describe the above two methods, Williamson's approach is also one of the important methods and requires a computer to search for the construction of higher order of Hadamard matrices (Manjhi & Arjun, 2018).

Theorem 2.4 Suppose there exist m x m matrices A, B, C, and D that satisfy the following properties:

1. A, B, C, and D are symmetric matrices having entries ± 1;
2. The matrices A, B, C, and D commute;
3. $A^2 + B^2 + C^2 + D^2 = 4nI_n$.

Then there is a Hadamard matrix of order $4n$ given by

$$H_{4n} = \begin{bmatrix} A & B & C & D \\ -B & A & -D & C \\ -C & D & A & -B \\ -D & -C & B & A \end{bmatrix}$$

Theorem 2.5. If A is an n x n matrix with the property $3A^2 = -nJ + 4nI_n$, then the following matrix.

$$H = \begin{bmatrix} J & A & A & A \\ -A & J & A & -A \\ -A & -A & J & A \\ -A & A & -A & J \end{bmatrix}$$

where J is all 1 matrix of order n, is a Hadamard matrix of order $4n$ (Abedal-Hamza & Hussein, 2015).

For example, let $A=\begin{bmatrix}-1 & 1 & 1\\ 1 & -1 & 1\\ 1 & 1 & -1\end{bmatrix}$ and it is easy to check that A is a symmetric matrix of order 3 and $3A^2 = -nJ + 4nI_n$, then the Hadamard of order 12 is obtained by using theorem 2.5.

We end this section by using the *h-transpose* to construct the Hadamard matrix (Horadam, 2007b).

Definition 2.6 Let A be a n square matrix. The *h-transpose* of the matrix A is defined by $A^h=[a_{ij}^h]=[a_{(n+1-j)(n+1-i)}]$ where $i,j=1,2,3,...,n$. For example, if $A=\begin{bmatrix}1 & 2\\ 3 & 4\end{bmatrix}$ then $A^h=\begin{bmatrix}4 & 2\\ 3 & 1\end{bmatrix}$.

Theorem 2.7 Let A and B be a n square matrix, then

1. $(A^h)^h = A$
2. $(A^t)^h = (A^h)^t$
3. $(AB)^h = B^h A^h$
4. $\det(A) = \det(A^h)$

Theorem 2.8 If H_m is a Hadamard matrix then H^h_m is the Hadamard matrix.

Proof. Suppose that H_m is a Hadamard matrix. That is, $H_m H^t_m = mI_m$.

Let us consider as the following:

$$(H_m^h)(H_m^h)^t = (H_m^h)(H_m^t)^h = (H_m^t H_m)^h = mI_m.$$

Therefore, H^h_m is the Hadamard matrix.

For example, if $H_2=\begin{bmatrix}1 & 1\\ -1 & 1\end{bmatrix}$ is the Hadamard matrix then $H_m^h=\begin{bmatrix}1 & 1\\ -1 & 1\end{bmatrix}$ is the Hadamard matrix.

The following result may be proved in much the same way as in theorem 2.8

Theorem 2.9 If H_m is a Hadamard matrix then $(H^h_m)^t$ is the Hadamard matrix.

For example, if $H_2=\begin{bmatrix}1 & 1\\ -1 & 1\end{bmatrix}$ is a Hadamard matrix then $(H_m^h)^t=\begin{bmatrix}-1 & 1\\ 1 & 1\end{bmatrix}$ is the Hadamard matrix.

As we known that $H_4=\begin{bmatrix}-1 & -1 & 1 & 1\\ 1 & -1 & -1 & 1\\ 1 & 1 & -1 & -1\\ -1 & 1 & 1 & -1\end{bmatrix}$ then we obtain that $(H_4^h)^t=\begin{bmatrix}-1 & 1 & 1 & -1\\ -1 & -1 & 1 & 1\\ 1 & -1 & -1 & 1\\ 1 & 1 & -1 & 1\end{bmatrix}$ is also the Hadamard matrix.

2.1 Cryptography using Hadamard matrix

The method of Cryptography consists of two parts: Encryption and Decryption.

Plaintext means data that can be read and understandable easily. The process of hiding or masking in the information such as plain text, for example, is called encryption, which turns into unreadable text, also known as cipher text. On the other hand, the process of converting cipher text to its original is called decryption. Currently, various methods can be used for construction of encryption and decryption processes. This section concentrates on providing two specific methods of secretly sending messages. For our first method, we utilized the *Hadamard* key matrices congruent modulo 27 instead of using congruent modulo 26, which were introduced by Hill Cipher to encrypt and decrypt messages. To be more specific, the key matrix and congruence modulo must be known by both the sender and the receiver. Hill Cipher was used in order to encrypt and decrypt messages, which is described below in detail. At this moment, let us recall the definition and theorem of the inverse of an integer a to modulo m.

Definition 3.1 Two numbers a and b are relatively prime if their prime factorization have no factors in common, such that $\gcd(a,b)=1$.

Definition 3.2 Inverse of an integer a to modulo m is a^{-1} such that $aa^{-1}\equiv 1(\mathrm{mod}\, m)$, where is called the inverse of a.

Theorem 3.3 Let $m\geq 2$. If a and m are relative prime then there exists a unique integer a^* such that $aa^*\equiv 1(\mathrm{mod}\, m)$

Before we describe our first algorithm, let us prepare the table for alphabets and its corresponding positive and negative integers value.

2.1.1 Encrypting process 1

Step 1: divide the message text into n blocks $B_1, B_2, ..., B_n$, each block contains the same number, m, of the alphabet which includes space.

Step 2: choose the Hadamard matrix H_m as an encryption key

Table 1. Illustrating English Alphabetic letters and its corresponding numerical integer value modulo 27.

Alphabetic	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	-26	-25	-24	-23	-22	-21	-20	-19	-18
Alphabetic	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Number	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9
Alphabetic	S	T	U	V	W	X	Y	Z	space
Number	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0

Step 3: convert the message text to be encoded into different numbers $l_1, l_2, ..., l_m$ for each block. That is, we defined $P^i = \begin{bmatrix} l_1^i \\ l_2^i \\ \vdots \\ l_m^i \end{bmatrix}$ which is represented the plaintext for B_i.

Step 4: compute matrices multiplication

$$\begin{bmatrix} c_1^i \\ c_2^i \\ \vdots \\ c_m^i \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1m} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ h_{n1} & h_{n2} & \cdots & h_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_1^i \\ l_2^i \\ \vdots \\ l_m^i \end{bmatrix} (\text{mod } 27)$$

for all $i = 1, 2, ..., n$ or we can express as the following:

$$c_1^i \equiv (\sum_{k=1}^{n} h_{1k} l_k^i) \bmod 27$$
$$\vdots$$
$$c_m^i \equiv (\sum_{k=1}^{n} h_{nk} l_k^i) \bmod 27$$

where C is column vectors of length m, representing the ciphertext respectively and H_m is a matrix, which must be known for both Sender and Receiver.

2.1.2 Decrypting process 1

Multiplying the encrypted text by the inverse key Hadamard matrix H_m.

Since we known that $\det(H_m) = m^{\frac{m}{2}}$, we see that $\det(H_m)$ and m are relatively prime then there exists a unique integer a^* such that $\det(H_m)(\det(H_m))^* \equiv 1 (\text{mod } m)$.

$$\begin{bmatrix} l_1^i \\ l_2^i \\ \vdots \\ l_m^i \end{bmatrix} = \frac{1}{\det(H_m)} adj(H_m) \begin{bmatrix} c_1^i \\ c_2^i \\ \vdots \\ c_m^i \end{bmatrix} (\text{mod } 27)$$

$$= \det(H_m)^* adj(H_m) \begin{bmatrix} c_1^i \\ c_2^i \\ \vdots \\ c_m^i \end{bmatrix} (\text{mod } 27)$$

Example 3.1 Use the key matrix

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Let us show how to encrypt the message "HELP HIM". According to the algorithm we must sort the message into 2 blocks and $m = 4$. That is, we have that

$$B_1 : \text{"HELP"} \Rightarrow X_1 = \begin{bmatrix} 8 \\ 5 \\ 12 \\ 16 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} 14 \\ 1 \\ 15 \\ 7 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 8 \\ 5 \\ 12 \\ 16 \end{bmatrix} (\text{mod } 27)$$

which means $B_1 : \text{"HELP"} \Rightarrow \text{NAOG}$

$$B_2 : \text{"_HIM"} = \begin{bmatrix} 27 \\ 8 \\ 9 \\ 13 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} 3 \\ 12 \\ 14 \\ 23 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 27 \\ 8 \\ 9 \\ 13 \end{bmatrix} (\text{mod } 27)$$

That is, $B_2 : \text{"_HIM"} \Rightarrow \text{CLNW}$. Therefore, the message "HELP HIM" encrypted to cipher text as "NAOR CLNW".

To decrypt the message "NAOR CLNW" to the original one, we use the inverse of a key matrix, such that

$$B^{-1}=\frac{1}{\det(B)}adj(A)(\text{mod }27)=\frac{1}{16}\begin{bmatrix}4&-4&-4&4\\4&4&-4&-4\\4&-4&4&-4\\4&4&4&4\end{bmatrix}(\text{mod }27)$$

$$=22\begin{bmatrix}4&-4&-4&4\\4&4&-4&-4\\4&-4&4&-4\\4&4&4&4\end{bmatrix}(\text{mod }27)=\begin{bmatrix}7&20&20&7\\7&7&20&20\\7&20&7&20\\7&7&7&7\end{bmatrix}$$

To decrypt the cipher-block message, we use the decrypted process

$$\begin{bmatrix}l_1^i\\l_2^i\\\vdots\\l_m^i\end{bmatrix}=\det(H_m)^*adj(H_m)\begin{bmatrix}c_1^t\\c_2^t\\\vdots\\c_m^i\end{bmatrix}(\text{mod }27)$$

$$\Rightarrow\begin{bmatrix}8\\5\\12\\16\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}7&20&20&7\\7&7&20&20\\7&20&7&20\\7&7&7&7\end{bmatrix}\begin{bmatrix}14\\1\\15\\18\end{bmatrix}(\text{mod }27)$$

That is, we have cipher-block message B_1 : "HELP". Similarly, we also have cipher-block message B_2 : "*NEED*".

We end this section by presenting the new algorithm in cryptography system with the key Hadamard matrix H_m. Specifically, our algorithm is achieved by improving the algorithm proposed by Abedal-Hamza and Baneen. Let us mention this briefly.

Definition 3.2 A square matrix A is called an orthogonal of type I matrix if $A^k(A^t)^k=I_n$ and $(A^t)^kA^k=I_n$ for some $k\in\mathbb{N}$

If k is the smallest positive integer such above equations holds then we say that A is an orthogonal of type I of period k and we denote it by *ind(A)*. Moreover, let us point that if A is an orthogonal of type I matrix of index k, then $\det(A^k)=\pm1$. Clearly, $\frac{1}{\sqrt{m}}H_m$ is an orthogonal of type I of period 1. According to Abedal-Hamza and Baneen (Abedal-Hamza & Baneen, 2017b), we apply the following code to obtain encrypted text $en=(C^{k+1})^{-1}\exp(D)C^{k+1}X$ for $k=1,2$

where $X=\begin{bmatrix}l_1\\l_2\\\vdots\\l_m\end{bmatrix}$ which is represented the plaintext for B_i and

$$\exp(D)=\begin{bmatrix}e^{l_1}&0&0&0\\0&e^{l_2}&0&0\\\vdots&&\vdots&\vdots\\0&0&0&e^{l_n}\end{bmatrix}$$

To decrypt the cipher-block message, we use the decrypted process:

$$de=(C^3)en$$

Let us report some cases that might make a mistake between the sender and the receiver. Let choose the word "NEED" and the orthogonal of type I matrix of index 2 as follows:

$$C=\begin{bmatrix}-5&6&0&0\\-4&5&0&0\\0&0&-5&6\\0&0&-4&5\end{bmatrix}\Rightarrow C^3=\begin{bmatrix}-5&6&0&0\\-4&5&0&0\\0&0&-5&6\\0&0&-4&5\end{bmatrix}\Rightarrow$$

$$(C^3)^{-1}=\begin{bmatrix}-5&6&0&0\\-4&5&0&0\\0&0&-5&6\\0&0&-4&5\end{bmatrix}$$

and B : "NEED" $\Rightarrow X=\begin{bmatrix}14\\5\\5\\4\end{bmatrix}$. That is, we have that

$$en=(C^3)^{-1}\exp(D)C^3X=\begin{bmatrix}-186e^5+290e^{14}\\160e^{14}-155e^5\\125e^5-120e^5\\100e^5-24e^5\end{bmatrix}$$

where the matrix $\exp(D)$ is given by $\begin{bmatrix}e^{14}&0&0&0\\0&e^5&0&0\\0&0&e^5&0\\0&0&0&e^4\end{bmatrix}$.

According to the decrypted process, it's easy to see that e^4 is missing. That is, the receiver will missing the e^4 which corresponding the alphabet "D"

$$de=(C^3)en=\begin{bmatrix}-5&6&0&0\\-4&5&0&0\\0&0&-5&6\\0&0&-4&5\end{bmatrix}\begin{bmatrix}-186e^5+200e^{14}\\160e^{14}-155e^5\\5e^5\\4e^5\end{bmatrix}$$

As we described above, we then improve and propose the new algorithm cryptography system as shown below.

2.2 Algorithm 2

2.2.1 Encrypting process 2

Step 1: divide the message text into n blocks $B_1,B_2,\ldots,B_n$, each block contains the same number, m, of the alphabet.

Step 2: choose the Hadamard matrix H for each B_i for all $i \in \mathbb{N}$

Step 3: construct $C_i \equiv HX_i (\mathrm{mod}\, 27)$ and

$$E_i = C_i + \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}_{n\times 1} \text{ where } X_i = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ l_{m_i} \end{bmatrix} \text{ and } i = 1,2,...,\mathrm{n}.$$

Step 4: Apply the following code to obtain encrypted text

$$en_i = H^T \exp(D_i)\,\mathrm{E}_i$$

2.2.2 Decrypting process 2

Multiplying the encrypted text en_i by Hadamard matrix H such that $dn_i = Hen_i$

Example 3.2 Use the key Hadamard matrix

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Let us show again how to encrypt the message "HELP HIM" We must sort the message into two blocks with m = 4. According to example 3.1, we obtain the following matrix

$$B_1 : \text{"HELP"} \Rightarrow X_1 = \begin{bmatrix} 8 \\ 5 \\ 12 \\ 16 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 14 \\ 1 \\ 15 \\ 7 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15 \\ 2 \\ 16 \\ 8 \end{bmatrix} = E_1$$

$$en_1 = H^T \exp(D_1)\,\mathrm{E}_1$$

$$en_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{12} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{16} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 15 \\ 2 \\ 16 \\ 8 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -2e^5 + 15e^8 - 16e^{12} + 8e^{16} \\ 2e^5 + 15e^8 - 16e^{12} - 8e^{16} \\ -2e^5 + 15e^8 + 16e^{12} - 8e^{16} \\ 2e^5 + 15e^8 + 16e^{12} + 8e^{16} \end{bmatrix},$$

which is the message "HELP HIM" encrypted to cipher text.

To decrypt the cipher-block message, we use the decrypted process:

$$dn_1 = Hen_1$$

$$dn_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -2e^5 + 15e^8 - 16e^{12} + 8e^{16} \\ 2e^5 + 15e^8 - 16e^{12} - 8e^{16} \\ -2e^5 + 15e^8 + 16e^{12} - 8e^{16} \\ 2e^5 + 15e^8 + 16e^{12} + 8e^{16} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 60e^8 \\ 8e^5 \\ 64e^{12} \\ 32e^{16} \end{bmatrix}$$

$60e^8$ the number 8 represents the character"H"
$8e^5$ the number 5 represents the character"E"
$64e^{12}$ the number 12 represents the character"L"
$32e^{16}$ the number 16 represents the character"P"

Similarly, for B_2 :"_HIM" $= \begin{bmatrix} 27 \\ 8 \\ 9 \\ 13 \end{bmatrix}$ we have

$$E_2 = \begin{bmatrix} 3 \\ 12 \\ 14 \\ 23 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 13 \\ 15 \\ 24 \end{bmatrix}$$

$$en_2 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{27} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{13} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 \\ 13 \\ 15 \\ 24 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 4e^{27} - 13e^8 - 15e^9 + 24e^{13} \\ 4e^{27} + 13e^8 - 15e^9 - 24e^{13} \\ 4e^{27} - 13e^8 + 15e^9 - 24e^{13} \\ 4e^{27} + 13e^8 + 15e^9 + 24e^{13} \end{bmatrix}$$

To decrypt the cipher-block message, we use the decrypted process:

$$dn_2 = Hen_2$$

$$dn_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4e^{27} - 13e^8 - 15e^9 + 24e^{13} \\ 4e^{27} + 13e^8 - 15e^9 - 24e^{13} \\ 4e^{27} - 13e^8 + 15e^9 - 24e^{13} \\ 4e^{27} + 13e^8 + 15e^9 + 24e^{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16e^{27} \\ 52e^8 \\ 60e^9 \\ 96e^{13} \end{bmatrix}$$

$16e^{27}$ the number 27 represents the character"_"
$52e^8$ the number 8 represents the character"H"
$60e^9$ the number 9 represents the character"I"
$96e^{13}$ the number 13 represents the character"M"

3. Conclusions

In this paper, we are only constructed a new algorithm in cryptography by using the available material from the Hadamard matrix but also improved the algorithm proposed by Abedal-Hamaza.

Acknowledgements

The author is supported by School of Science University of Phayao under Grant No. Sc04/2563.

References

Abedal-Hamza, M. H., & Baneen, K. I. (2017). Orthogonal of type I matrices with application. *Applied Mathematical Sciences, 11*(40), 1983-1994.

Abedal-Hamza, M. H., & Hussein, H. A. (2015). Construction new types of matrices. *International Journal of Mathematics Trends and Technology, 24*(2), 84-91.

Abdulaziz, B. M. H., & Ibrahim, O. A. A. (2017). Encrypt and decrypt messages using invertible matrices modulo 27. *American Journal of Engineering Research, 6*(6), 212-217.

Horadam, K. J. (2007). *Hadamard matrices and their applications*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Manjhi, P. K., & Arjun, K. (2018). On the construction of Hadamard matrices. *International Journal of Pure and Applied Mathematics, 120*(1), 51–58.

Sci2.3-45

Thai Journal of **Math**ematics
Volume 19 Number 4 (2021)
Pages 1671–1683

http://thaijmath.in.cmu.ac.th

ISSN 1686-0209

Encryption Schemes Using Anti-Orthogonal of Type I Matrices

Nilobol Kamyun[1], Krittiya Pingyot[1] and Supunnee Sompong[2,*]

[1] *Department of Mathematics, School of Science, University of Phayao, Thailand*
e-mail : nilobol.ka@up.ac.th (N. Kamyun); Krittiya.pingyot.ingfha@gmail.com (K. Pingyot)

[2] *Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Thailand*
e-mail : s_sanpinij@yahoo.com

Abstract Applications of the orthogonal matrix have been applied to many circumstance such as signal processing, image processing, coding theory, cryptology. In this paper, we are not only introduce the new type of matrices, anti-orthogonal and H-anti-orthogonal of type I matrices but also apply these matrices in cryptology.

MSC: 11B99; 11C20; 15A10
Keywords: anti-orthogonal; H-anti-orthogonal; cryptography

Submission date: 28.05.2020 / Acceptance date: 19.03.2021

1. Introduction

Applications of the orthogonal matrix, $AA^T = I_n$, have been applied to many circumstance such as signal processing , image processing, coding theory, cryptology. The highlight of using orthogonal matrices come from the fact that the computation of inverse matrices is avoided, simply by using the transpose of the orthogonal matrix. The orthogonal matrix is often referred as Hadamard matrices that were first defined by Sylvester and extensively studied by Hadamard. The concept of orthogonality has been extended into various circumstances which are relaxed or generalized.

In 2017, A. M. Hamza and B. K.Imran [1] introduced a new type of matrices, we called it orthogonal of type I matrix. That is, a square matrix A is said to be orthogonal of type I matrix if $A^k(A^T)^k = I_n$, for some $k \in \mathbb{N}$. Clearly, it is a generalization of orthogonal matrices. As we said above, the useful fact of these matrices comes from the fact that they are invertible and their inverses are derived by simple calculations. Moreover, this matrix is used to construct a new algorithm in cryptography which consists of two parts: Encryption and Decryption. In detail, encryption is the process of masking in the information such as the plain text. On the other hand, decryption is the process of

*Corresponding author.

Published by The Mathematical Association of Thailand.
Copyright © 2021 by TJM. All rights reserved.

converting ciphertext to its original. Specifically, the encryption and decryption processes are given the Figure 1.

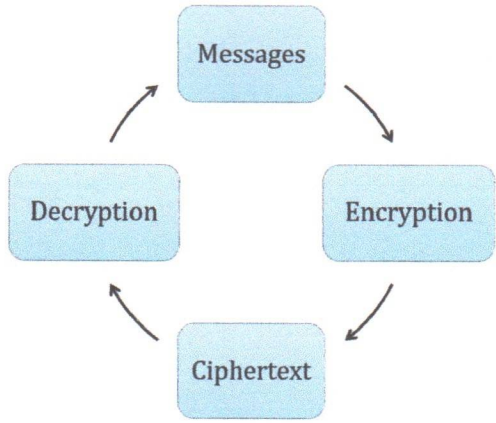


FIGURE 1. Messages cryptography cycle

Unfortunately, there are some cases that might a mistake between the sender and the receiver. Before we briefly described the algorithm, let us prepare the table for alphabets and numbers and its corresponding positive and negative integers value as shown in Tables 1.1 and 1.2.

Table 1.1 Numeral encryption table

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

Table 1.2 Letter encryption table

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z

Next, let us choose the word BLUE and the othogonal of type I matrix of index 2 as follows:

$$C = \begin{bmatrix} -11 & 6 & 0 & 0 \\ -20 & 11 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -11 & 6 \\ 0 & 0 & -20 & 11 \end{bmatrix},$$

According to A. M. Hamza, we apply the following code to obtain encrypted text

$$en = ((C)^3)^{-1} e^D (C)^3 X,$$

where we have the following:

$$(C)^3 = \begin{bmatrix} -11 & 6 & 0 & 0 \\ -20 & 11 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -11 & 6 \\ 0 & 0 & -20 & 11 \end{bmatrix}, \; X = \begin{bmatrix} 12 \\ 22 \\ 31 \\ 15 \end{bmatrix}$$

$$((C)^3)^{-1} = \begin{bmatrix} -11 & 6 & 0 & 0 \\ -20 & 11 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -11 & 6 \\ 0 & 0 & -20 & 11 \end{bmatrix} \text{ and } e^D = \begin{bmatrix} e^{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{31} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{15} \end{bmatrix}.$$

Therefore, the encryption equation below are created as ciphertext below:

$$en = ((C)^3)^{-1} e^D (C)^3 X = \begin{bmatrix} 12e^{22} \\ 22e^{22} \\ 2,761e^{31} - 2,730e^{15} \\ 5,020e^{31} - 5,005e^{15} \end{bmatrix}.$$

Multiplying the encrypted text en by C^3 as decrypted process.

$$de = (C)^3(en) = \begin{bmatrix} 0 \\ 2e^{22} \\ -251e^{31} \\ -455e^{15} \end{bmatrix}.$$

It clearly to see that e^{12} is missing which means that the receiver will missing the alphabet B.

The paper is organized as follow: in section 3 and 4, we introduce the new type of matrices and they are invertible which simple calculate inverse matrix is achieved. Section 5 concentrates on providing the new method of secretly sending messages by improving the algorithm which proposed by A. M. Hamza as we described above.

2. Preliminaries

In this paper, $A \in M_{n\times n}(\mathbb{C})$ such that $det(A)$, $ind(A)$, $\overline{A}$, A^T, A^*, A^H, $ind_H(A)$ and A^θ means the determinant, index, conjugate, transpose, conjugate transpose, H-transpose, H-index and conjugate H-transpose of matrix A , respectively.

Definition 2.1 ([2]). Let $A_{n\times n}$ be a square matrix, A is said to be orthogonal if $AA^T = I_n$

Definition 2.2 ([3]). Let $A_{n\times n}$ be a square matrix, A is said to be anti-orthogonal if $AA^T = -I_n$

Definition 2.3 ([1]). Let $A_{n\times n}$ be a square matrix, A is said to be orthogonal of type I matrix if $A^k(A^T)^k = I_n$, for some $k \in \mathbb{N}$.

Definition 2.4 ([4]). Let $A_{n\times n}$ be a square matrix. The H-transpose of matrix A is defined by $A^H = [a_{ij}^H] = [a_{(n+1-j)(n+1-i)}]$, where $i, j = 1, 2, 3, ..., n$.

Example 2.5. Let $A = \begin{bmatrix} 0 & -i & 7 \\ 5 & 4 & -2 \\ 1 & 3 & 2+i \end{bmatrix}$, thus $A^H = \begin{bmatrix} 2+i & -2 & 7 \\ 3 & 4 & -i \\ 1 & 5 & 0 \end{bmatrix}$.

Theorem 2.6 ([5]). *Let k be a natural number and $A_{n\times n}, B_{n\times n}$ are square matrix, then:*
1. $(A^H)^H = A$
2. $(A^H)^T = (A^T)^H$
3. $(\overline{A})^H = \overline{(A^H)}$
4. $(AB)^H = B^H A^H$
5. $(A^H)^{-1} = (A^{-1})^H$
6. $(A^k)^H = (A^H)^k$
7. $det(A) = det(A^H) = det(A^T) = det(A^T)^H$
8. A and A^H have the same eigenvalues
9. $(A^\theta)^\theta = A$
10. $(AB)^\theta = B^\theta A^\theta$
11. $(A^k)^\theta = (A^\theta)^k$

Definition 2.7 ([5]). Let $A_{n\times n}$ be a square matrix, A is said to be H-orthogonal of type I matrix if $A^k(A^H)^k = I_n$, for some $k \in \mathbb{N}$.

3. Anti-Orthogonal of Type I Matrices

In this chapter we present all our results which consist the proof of theorems and examples of anti-orthogonal of type I matrices.

Definition 3.1 ([6]). A square matrix $A_{n\times n}$ is called anti-orthogonal of type I matrix if $A^k(A^T)^k = -I_n$ for some $k \in \mathbb{N}$.

The smallest positive integer k with $A^k(A^T)^k = -I_n$ is called the index of A. We say that A is anti-orthogonal of type I matrix of index k. The index of A is denoted by $ind(A)$.

Remark 3.2. From Definition 3.1, we can see that:

1. $A^k(A^T)^k = -I_n$ if and only if $(A^T)^k A^k = -I_n$.
2. If A is anti-orthogonal of type I matrix then A is orthogonal of type I matrix. Since if $A^k(A^T)^k = -I_n$ for some $k \in \mathbb{N}$, then we have $A^{2k}(A^T)^{2k} = [A^k A^k][(A^T)^k(A^T)^k] = [A^k(A^T)^k][A^k(A^T)^k] = I_n$.
3. If A is orthogonal of type I matrix of index k, where k is odd number, then iA is anti-orthogonal of type I matrix. Since if $A^k(A^T)^k = I_n$ for some odd number $k \in \mathbb{N}$, then we have $(iA)^k((iA)^T)^k = (i)^{2k}A^k(A^T)^k = -I_n$. Therefore, iA is anti-orthogonal of type I matrix.

Example 3.3. 1. Let $A = \begin{bmatrix} -1 & 1+i \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & i & 0 \\ 0 & 0 & i \end{bmatrix}$, $C = \begin{bmatrix} i & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix}$, $D = \begin{bmatrix} 1 & -1+i \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$, $E = \begin{bmatrix} \sqrt{i} & 0 \\ 0 & \sqrt{i} \end{bmatrix}$ and $F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & i & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$.

We have, $A^2(A^T)^2 = -I_n, B^3(B^T)^3 = -I_n, CC^T = -I_n$, $D^2(D^T)^2 = -I_n$ and $E^2(E^T)^2 = -I_n$. Thus, A, B, C, D and E are anti-orthogonal of type I matrices. It follows that $ind(A) = 2, ind(B) = 3, ind(C) = 1, ind(D) = 2$ and $ind(E) = 2$. But F is not anti-orthogonal of type I matrix.

2. From 1, we can see that $AD \neq DA, C(-C) = I_2 = (-C)C$ and $AD, DA, C(-C)$ is not anti-orthogonal of type I matrix. But $E^2 = C$ is anti-orthogonal of type I matrix.

Thus, in general, multiplication of anti-orthogonal of type I matrix need not to be anti-orthogonal of type I matrix.

Theorem 3.4. *If $A_{n\times n}$ is anti-orthogonal of type I matrix of index k, then*

$$det(A^k)=\begin{cases}\pm i, & n \text{ is odd},\\ \pm 1, & n \text{ is even}.\end{cases}$$

Proof. Let A be anti-orthogonal of type I matrix of index k. Thus, $A^k(A^T)^k = -I_n$, for some $k \in \mathbb{N}$. Next, we observe that $[det(A^k)]^2 = det(A^k)(det(A^T)^k) = det(A^k(A^T)^k) = det(-I_n) = (-1)^n$. Therefore, we can conclude that $det(A^k) = \pm 1$ if n is even. Otherwise, $det(A^k) = \pm i$. ∎

Theorem 3.5. *If $A_{n\times n}$ is anti-orthogonal of type I matrix of index k, then it is invertible with $A^{-1} = -A^{k-1}(A^T)^k$.*

Proof. By Theorem 3.4 we have $det(A) \neq 0$, it implied that A is invertible matrix. Since A is anti-orthogonal of type I matrix, there is $k \in \mathbb{N}$ such that $A^k(A^T)^k = -I_n$.Then, we have that $-A^k(A^T)^k = I_n$. It follows that $A^{-1} = -A^{k-1}(A^T)^k$. The prove is completed. ∎

Theorem 3.6. *Let $A_{n\times n}$ be a square matrix , then the following statements are equivalent:*

1. *A is anti-orthogonal of type I matrix.*
2. *A^{-1} is anti-orthogonal of type I matrix.*
3. *A^T is anti-orthogonal of type I matrix.*
4. *$\bar{A}$ is anti-orthogonal of type I matrix.*
5. *A^* is anti-orthogonal of type I matrix.*

Proof. (1 ⇒ 2) Suppose that A is anti-orthogonal of type I matrix. Then, there is $k \in \mathbb{N}$ such that $A^k(A^T)^k = -I_n$. From remark 3.2, we can see that $[(A^T)^kA^k]^{-1} = (-I_n)^{-1}$, it follows that $(A^{-1})^k((A^{-1})^T)^k = -I_n$.
Hence A^{-1} is anti-orthogonal of type I matrix.

(2 ⇒ 3) Suppose that A^{-1} is anti-orthogonal of type I matrix. Then, there is $k \in \mathbb{N}$ such that $(A^{-1})^k((A^{-1})^T)^k = -I_n$.

We consider the following $[((A^{-1})^T)^k(A^{-1})^k]^{-1} = (-I_n)^{-1}$. Thus, we have $A^k(A^T)^k = [(A^{-1})^k]^{-1}[((A^{-1})^T)^k]^{-1} = -I_n$. From remark 3.2, we have $(A^T)^k[(A^T)^T]^k = (A^T)^kA^k = -I_n$. Hence, A^T is anti-orthogonal of type I matrix.

(3 ⇒ 4) Suppose that A^T is anti-orthogonal of type I matrix. Then, there is $k \in \mathbb{N}$ such that $(A^T)^k((A^T)^T)^k = -I_n$. From remark 3.2 and conjugate of matrix, we have $(\bar{A})^k((\bar{A})^T)^k = \overline{(A^k)}\ \overline{(A^T)^k} = \overline{A^k(A^T)^k} = \overline{-I_n} = -I_n$. Hence, $\bar{A}$ is anti-orthogonal of type I matrix.

(4 ⇒ 5) Suppose that $\bar{A}$ is anti-orthogonal of type I matrix. Then, there is $k \in \mathbb{N}$ such that $(\bar{A})^k[(\bar{A})^T]^k = -I_n$. Thus, $((\bar{A})^T)^k(\bar{A})^k = -I_n$ and so we have $(A^*)^k((A^*)^T)^k = -I_n$. Hence, A^* is anti-orthogonal of type I matrix.

(5 ⇒ 1) Suppose that A^* is anti-orthogonal of type I matrix. Then, there is $k \in \mathbb{N}$ such that $(A^*)^k((A^*)^T)^k = -I_n$. It follows that $((A^*)^T)^k(A^*)^k = -I_n$. Thus, $A^k(A^T)^k = ((A^*)^*)^k[((A^*)^*)^T]^k = [((A^*)^T)^k(A^*)^k]^* = (-I_n)^* = -I_n$. Hence, A is anti-orthogonal of type I matrix. ∎

Theorem 3.7. *If A is anti-orthogonal of type I matrix of index k, then each of A^T, A^{-1}, $\bar{A}$ and A^* are anti-orthogonal of type I matrix of index k.*

Proof. Assume that A is anti-orthogonal of type I matrix of index k, then A^T is anti-orthogonal of type I matrix with $ind(A^T) \leq k$.
Suppose that $ind(A^T) = r, 1 \leq r < k$. Then $(A^T)^r A^r = -I_n$, so by remark 3.2 we have $A^r(A^T)^r = -I_n$. Thus, $ind(A) = r < k$, which is a contradiction. Hence, $ind(A^T) = k$.
Similarly with respect to $A^{-1}, \bar{A}$ and A^*. ∎

4. H-Anti-Orthogonal of Type I Matrices

In this chapter, we present all our results and examples of H-anti-orthogonal of type I matrices. The proof in section 4 can be obtained similar to the proof of theorem in section 3. So, we shall omit our proof.

Definition 4.1. A square matrix $A_{n\times n}$ is called a H-anti-orthogonal of type I matrix if $A^k(A^H)^k = -I_n$ for some $k \in \mathbb{N}$.

The smallest positive integer k with $A^k(A^H)^k = -I_n$ is called the H-index of A. We say that A is H-anti-orthogonal of type I of H-index k. The H-index of A is denoted by $ind_H(A)$.

Remark 4.2. From Definition 4.1, we can see that:
1. $A^k(A^H)^k = -I_n$ if and only if $(A^H)^k A^k = -I_n$.
2. If A is H-anti-orthogonal of type I matrix, then A is H-orthogonal of type I matrix.
3. If A is H-orthogonal of type I matrix of H-index k, where k is odd number, then iA is H-anti-orthogonal of type I matrix.

Example 4.3. Let $A = \begin{bmatrix} 0 & -i & 0 & 0 \\ i & i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & i & i \end{bmatrix}$ and $B = \begin{bmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & i & 0 \\ 0 & 0 & i \end{bmatrix}$.

Thus, A is H-anti-orthogonal of type I matrices, but B is not H-anti-orthogonal of type I matrix.

Theorem 4.4. *If $A_{n\times n}$ is H-anti-orthogonal of type I matrix of H-index k, then*

$$det(A^k) = \begin{cases} \pm i, & n \text{ is odd}, \\ \pm 1, & n \text{ is even}. \end{cases}$$

Theorem 4.5. *If $A_{n\times n}$ is H-anti-orthogonal of type I matrix of H-index k, then it is invertible with $A^{-1} = -A^{k-1}(A^H)^k$.*

Theorem 4.6. *Let $A_{n\times n}$ be a square matrix , then the following statements are equivalent:*
1. *A is H-anti-orthogonal of type I matrix.*
2. *A^{-1} is H-anti-orthogonal of type I matrix.*
3. *A^H is H-anti-orthogonal of type I matrix.*
4. *$\bar{A}$ is H-anti-orthogonal of type I matrix.*
5. *A^θ is H-anti-orthogonal of type I matrix.*

Theorem 4.7. *If A is H-anti-orthogonal of type I matrix of H-index k, then each of A^H, A^{-1}, $\bar{A}$ and A^θ are H-anti-orthogonal of type I matrix of H-index k.*

To this end let we describe of some relation between anti-orthogonal of type I matrix and H-anti-orthogonal of type I matrix. We observe that anti-orthogonal of type I matrix need not to be H-anti-orthogonal of type I matrix and H-anti-orthogonal of type I matrix need not to be anti-orthogonal of type I matrix in general. We will show in the following example.

Example 4.8. Let a square matrices

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -1+i \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & i & 0 \\ 0 & 0 & i \end{bmatrix} \text{ and } C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & i & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

Then, we can see that A is both anti-orthogonal of type I matrix and H-anti-orthogonal of type I matrix. B is anti-orthogonal of type I matrix, but B is not H-anti-orthogonal of type I matrix. C is H-anti-orthogonal of type I matrix, but C is not anti-orthogonal of type I matrix.

5. Cryptography Using Anti-Orthogonal of Type I Matrices

This section concentrates on providing the new method of secretly sending messages by improving the algorithm which proposed by A. M. Hamza as we described in section 1.

1. A person thinks of a secret message that they want to send to another person (someone else). To send a secreted message from one person to the other, the first one needs to think of a secret message. For this purpose as an example, lets choose a message to be ROOM NUMBER 101.

2. Next, the secret message must be divided into blocks with each block representing one word.

3. For each block that represents each word, a suitable anti-orthogonal matrix must be selected.

4. To encrypt the message, the following equation can be used:

$$en_i = ((C_i)^{k_i+1})^{-1} e^{D_i} |(C_i)^{k_i+1}| X_i, \text{ when } k_i = 1, 2$$

$$en_i = ((C_i)^{k_i-1})^{-1} e^{D_i} |(C_i)^{k_i-1}| X_i, \text{ when } k_i > 2$$

$$e^{D_i} = \begin{bmatrix} e^{l_1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & e^{l_2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & e^{l_{m_i}} \end{bmatrix}_{m_i \times m_i} \text{ and}$$

$$X_i = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ l_{m_i} \end{bmatrix}_{m_i \times 1} \text{ when } i = 1, 2, ..., n.$$

5. The message can be decrypted by incorporating the result from encryption equation into the following formula:

$$de_i = |(C_i)^{k_i-1}|(en_i).$$

Example 5.1. For the example lets take **ROOM NUMBER 101** as a secret message: Cryptography can be used to encrypt this three-word message ROOM NUMBER 101

Before proceeding, we must divide this message into three blocks. Each block will represent one word.

[ROOM BLOCK 1; NUMBER BLOCK 2; 101 BLOCK 3]

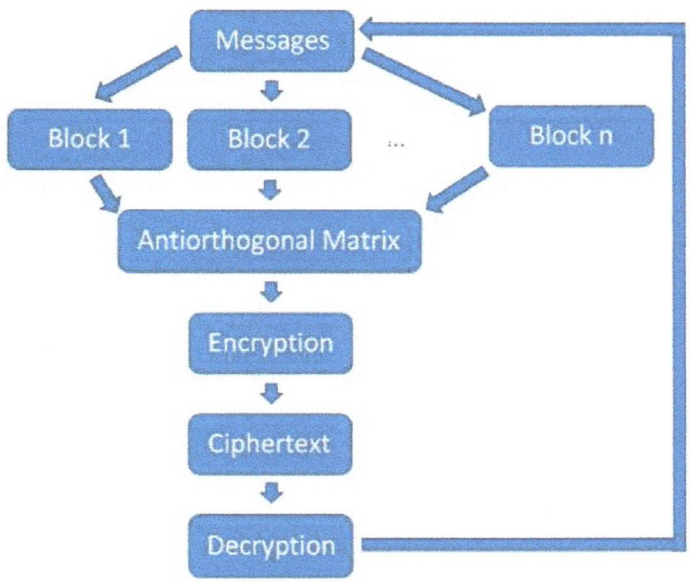


FIGURE 2. Step by Step diagram for encryption and decryption

BLOCK 1 ROOM

1. First, we choose the anti-orthogonal of type I matrix, which is a 4×4 matrix that is suitable for using for a four-letter word.

$$C_1 = \begin{bmatrix} 0 & -i & 0 & 0 \\ i & i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & i & i \end{bmatrix}, \text{ when } k_1 = 3.$$

2. Second, we utilize anti-orthogonal of type I matrix from step one to calculate $(C_1)^2, |(C_1)^2|, ((C_1)^2)^{-1}, e^{D_1}$ and X_1 are shown as follows:

$$(C_1)^2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad |(C_1)^2| = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad X_1 = \begin{bmatrix} 28 \\ 25 \\ 25 \\ 23 \end{bmatrix}$$

$$((C_1)^2)^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \text{ and } e^{D_1} = \begin{bmatrix} e^{28} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{25} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{25} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{23} \end{bmatrix}.$$

3. The results gathered from step 2 can be incorporated into the encryption equation below to create ciphertext:

$$en_1 = ((C_1)^2)^{-1} e^{D_1} |(C_1)^2| X_1 = \begin{bmatrix} -28e^{25} \\ 53e^{28} + 28e^{25} \\ -25e^{23} \\ 48e^{25} + 25e^{23} \end{bmatrix}.$$

4. Ciphertext received from step 3 can be used to decrypt the secret message by substituting it into the decryption equation below:

$$de_1 = |(C_1)^2|(en_1) = \begin{bmatrix} 53e^{28} \\ -28e^{25} \\ 48e^{25} \\ -25e^{23} \end{bmatrix}.$$

5. Using the numbers of both table 1.1 and table 1.2 for each value, the exponent of exponential can be found to find the value of the plain text. Therefore, for Block 1:

$53e^{28}$: Exponent 28, so, the first letter is R
$-28e^{25}$: Exponent 25, so, the second letter is O
$48e^{25}$: Exponent 25, so, the third letter is O
$-25e^{23}$: Exponent 23, so, the fourth letter is M

BLOCK 2 NUMBER

1. First, we choose the anti-orthogonal of type I matrix, which is a 6×6 matrix that is suitable for using for a six-letter word.

$$C_2 = \begin{bmatrix} -1 & 1+i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1+i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1+i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}, \text{ when } k_2 = 2.$$

2. Second, we utilize Anti-orthogonal of type I matrix from step one to calculate $(C_2)^3, |(C_2)^3|, ((C_2)^3)^{-1}, e^{D_2}$ and X_2 are shown as follows:

$$(C_2)^3 = \begin{bmatrix} i & 1-i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ i & -i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & i & 1-i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & i & -i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & i & 1-i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & i & -i \end{bmatrix},$$

$$|(C_2)^3| = \begin{bmatrix} 1 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \sqrt{2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$((C_2)^3)^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & -1-i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1-i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1-i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix},$$

$$e^{D_2} = \begin{bmatrix} e^{24} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{31} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e^{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e^{28} \end{bmatrix} \text{ and } X_2 = \begin{bmatrix} 24 \\ 31 \\ 23 \\ 12 \\ 15 \\ 28 \end{bmatrix}.$$

3. The results gathered from step 2 can be incorporated into the encryption equation below to create ciphertext:

$$en_2 = ((C_2)^3)^{-1} e^{D_2} |(C_2)^3| X_2 = \begin{bmatrix} -55(1+i)e^3 + (24+31\sqrt{2})e^{24} \\ -55e^{31} + (24+31\sqrt{2})e^{24} \\ (23+12\sqrt{2})e^{23} - 35(1+i)e^{12} \\ (23+12\sqrt{2})e^{23} - 35e^{12} \\ -43(1+i)e^{28} + (15+28\sqrt{2})e^{15} \\ -43e^{28} + (15+28\sqrt{2})e^{15} \end{bmatrix}.$$

4. Ciphertext received from step 3 can be used to decrypt the secret message by substituting it into the decryption equation below:

$$de_2 = |(C_2)^3|(en_2) = \begin{bmatrix} (24+31\sqrt{2})e^{24} \\ 55e^{31} \\ (23+12\sqrt{2})e^{23} \\ 35e^{12} \\ (15+28\sqrt{2})e^{15} \\ 43e^{28} \end{bmatrix}.$$

5. Using the numbers of both table 1.1 and table 1.2 for each value, the exponent of exponential can be found to find the value of the plain text. Therefore, for Block 2:
$(24 + 31\sqrt{2})e^{24}$: Exponent 24, so, the first letter is N
$55e^{31}$: Exponent 31, so, the second letter is U
$(23 + 12\sqrt{2})e^{23}$: Exponent 23, so, the third letter is M
$35e^{12}$: Exponent 12, so, the fourth letter is B
$(15 + 28\sqrt{2})e^{15}$: Exponent 15, so, the fifth letter is E
$43e^{28}$: Exponent 28, so, the sixth letter is R

BLOCK 3 101

1. First, we choose the anti-orthogonal of type I matrix, which is a 3×3 matrix that is suitable for using for a three-letter word.

$$C_3 = \begin{bmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & i & 0 \\ 0 & 0 & i \end{bmatrix}, \text{ when } k_3 = 3.$$

2. Second, we utilize anti-orthogonal of type I matrix from step one to calculate $(C_3)^2$, $((C_3)^2)^{-1}$, e^{D_3} and X_3 are shown as follows:

$$(C_3)^2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \ |(C_3)^2| = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$((C_3)^2)^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \ e^{D_3} = \begin{bmatrix} e^1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{10} & 0 \\ 0 & 0 & e^1 \end{bmatrix} \text{ and } X_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 10 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

3. The results gathered from step 2 can be incorporated into the encryption equation below to create ciphertext:

$$en_3 = ((C_3)^2)^{-1} e^{D_3} |(C_3)^2| X_3 = \begin{bmatrix} -e^{10} \\ 11e^1 + e^{10} \\ -e^1 \end{bmatrix}.$$

4. Ciphertext received from step 3 can be used to decrypt the secret message by substituting it into the decryption equation below:

$$de_3 = |(C_3)^2| en_3 = \begin{bmatrix} 11e^1 \\ e^{10} \\ e^1 \end{bmatrix}.$$

5. Using the numbers of both table 1.1 and table 1.2 for each value, the exponent of exponential can be found to find the value of the plain text. Therefore, for Block 3:
$11e^1$: Exponent 1, so, the first letter is 1
e^{10} : Exponent 10, so, the second letter is 0
e^1 : Exponent 1, so, the third letter is 1

As we have above example, let us add some useful observation about this method. According from the process of decryption, we see that the key matrix is not unique in general. Specifically, if anti-orthogonal type I is chosen as the key in this method then there is another matrix which we can use as the key matrix to decrypt the message. An example of this follows next.

Example 5.2. For the example lets take **101** as a secret message.

1. First, we choose the H-anti-orthogonal of type I matrix, which is a 3×3 matrix that is suitable for using for a three-letter word.

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & i & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \text{ when } k = 3.$$

2. Second, we utilize H-anti-orthogonal of type I matrix from step one to calculate $C^2, (C^2)^{-1}, e^D$ and X.

3. The results gathered from step 2 can be incorporated into the encryption equation below to create ciphertext:

$$en = ((C)^2)^{-1} e^D |(C)^2| X = \begin{bmatrix} e^1 \\ -10e^{10} \\ e^1 \end{bmatrix}.$$

4. Ciphertext received from step 3 can be used to decrypt the secret message by substituting it into the decryption equation below:

$$de = |(C)^2| en = \begin{bmatrix} e^1 \\ -10e^{10} \\ e^1 \end{bmatrix}.$$

5. Using the numbers of both table 1.1 and table 1.2 for each value, the exponent of exponential can be found to find the value of the plain text. Therefore,

e^1 : Exponent 1, so, the first letter is 1
$-10e^{10}$: Exponent 10, so, the second letter is 0
e^1 : Exponent 1, so, the third letter is 1

Acknowledgements

We would like to thank the referees for their useful comments and suggestions on the manuscript.The first author is supported by the School of Science, University of Phayao under Grant No.Sc01/2563.

References

[1] A.M. Hamza, B.K. Imran, Orthogonal of type I matrices with application, Applied Mathematical Sciences 11 (2017) 1983–1994.

[2] D.C. Lay, S.R. Lay, J.J. McDonald, Linear Algebra and Its Applications, 5th Edition, Pearson, USA, 2016.

[3] J.L. Massey, Orthogonal, antiorthogonal and self-orthogonal matrices and their codes, Communications and Coding 2 (1998) 1–7.

[4] A.M. Hamza, H.A. Hussein, Construction new types of matrices, International Journal of Mathematics Trends and Technology 24 (2015) 84–91.

[5] A.M. Hamza, B.K. Imran, A study of H-orthogonal of type I matrices, International Educational Scientific Reaseach Journal 3 (2017) 86–96.

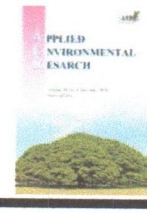
[6] B.O. Al-Fatlawy, A Study of Certain Types of Orthogonal Matrices with Applications, Master's Thesis, University of Kufa, 2017.

Sci2.3-46

App. Envi. Res. 44(2) (2022): 86-98

Applied Environmental Research

Journal homepage : http://www.tci-thaijo.org/index.php/aer



Ecological and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals by Consuming the Aquatic Plant Species Near an Electronic Waste Open Dumpsite in Thailand

Thitima Parkpoom[1], Somsak Intamat[2], Uraiwan Phoonaploy[1], Lamyai Neeratanaphan[1,*]

[1] Division of Environmental Science, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand
[2] Thatphanom Crown Prince Hospital, Nakornphanom, Thailand
[*] Corresponding author: hlamya@kku.ac.th

Article History
Submitted: 6 February 2022/ Revision received: 3 June 2022/ Accepted: 19 June 2022/ Published online: 27 June 2022

Abstract

Heavy metals from electronic waste (e-waste) accumulate in the environment and can affect human health. The purpose of this study was to determine As, Cd, Cr and Pb concentrations in water, sediment and three species of edible aquatic plants (*Ottelia alismoides*, *Ipomoea aquatic* and *Marsilea crenata*) near an e-waste open dumpsite. Samples were collected from six sampling points surrounding an e-waste open dumpsite and heavy metal concentrations were analyzed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). Bioaccumulation factors (BAFs), estimated daily intake (EDI), hazard quotient (HQ), hazard index (HI) and carcinogenic risk (CR) were evaluated in the plants. The Pb concentration in the water samples exceeded the quality standard. The order of the heavy metal concentrations in the sediment was Pb>Cr>As >Cd, and these concentrations were within the limits of the quality standard. The order of the heavy metal concentrations in *O. alismoides*, *I. aquatic* and *M. crenata* was Cr>Pb>As>Cd, Pb>Cr>As>Cd and Pb>Cr>As>Cd, respectively. The concentrations of As, Cd, Cr and Pb in *O. alismoides* and As, Cr and Pb in *I. aquatic* and *M. crenata* exceeded the quality standard of food consumption. Most of the BAF values of the heavy metals in *O. alismoides* were more than one, but in *I. aquatic* and *M. crenata*, they were less than one. The order of the EDI values in *O. alismoides*, *I. aquatic* and *M. crenata* was Cr>Pb>As>Cd, Pb>Cr>As>Cd and Cr>As>Pb >Cd, respectively. The HQ values were greater than one for As, Cd and Pb in *O. alismoides*; Pb in *I. aquatic*; and As and Pb in *M. crenata*. The HQ and CR values show that the consumption of edible plants from an e-waste open dumpsite is a human health risk.

Keywords: Electronic waste; Heavy metals; Aquatic plant; Risk assessment; Bioaccumulation factors

Introduction

The development of economics and improvements in the quality of human life have led to the use of electrical and electronic devices. The waste generated by this disused equipment is named electronic waste (e-waste). E-waste has

https://doi.org/10.35762/AER.2022.44.2.7

created rapidly increasing pollution problems as the manufacture and application of electrical and electronic instruments have increased substantially [1]. The Thailand Pollution Control Department (PCD) reported that from 2015–2016, the amount of e-waste increased from 384,232 to 394,107 tons [2–3]. The generation of e-waste has led to the development of informal disposal areas [4]. The Khok Sa Ard subdistrict in the Khong Chai district in Kalasin province in Northeastern Thailand contains an e-waste open dumpsite with the greatest e-waste stocks in Thailand, accepting more than 72,000 tons of e-waste per year. The people in this area work as e-waste separators [5]. The valuable parts of e-waste are improperly exposed and separated by residents. The precious materials, such as copper, are stripped from the devices, and the remainder is transported and burned in the community dumpsite. Consequently, heavy metals found in e-waste, such as As, Cd, Cr, Pb, Mn, Ni and Zn, can contaminate the surrounding area as seen in the Agbogbloshie district in the Republic of Ghana [6]. Indeed, 12 out of 124 children in the Khok Sa Ard subdistrict had blood Pb levels over the suggested threshold (15 mg dL^{-1}) [7]. In addition, a previous study reported that the concentrations of Pb, Ni and Mn were 79,520, 75 and 1,519 mg kg^{-1}, respectively, exceeding the soil quality standards [8]. Neeratanaphan et al. [9] detected high heavy metal concentrations in water, soil, aquatic organisms, and plants surrounding an e-waste open dumpsite in the Khok Sa Ard Subdistrict of Khong Chai District. Moreover, the Pb concentration in the samples exceeded the water quality standard [10].

E-waste open dumpsites release hazardous elements from improperly disposed electronic devices, which affects the surrounding environment [11]. Pb, As, Cd and Cr are found in e-waste. Specifically, As is found in electrical circuits, mobile phones and computers. Cd leaks from printing presses, resistors (semiconductors), batteries and cathode-ray tubes. Cr is found in computers, cathode ray tube (CRT) monitors and circuit boards. Pb is found in paint, oil, rubber, batteries, lead glass and CRT-containing devices. Nonessential elements, such as Pb, are greatly poisonous in small concentrations and can harm the function of many organs in organisms [12].

Heavy metal exposure can adversely affect human health, with both short- and long-term effects, such as genotoxic, mutagenic, central nervous system, cardiovascular, respiratory, gastrointestinal, urinary, hepatic and reproductive effects [13–15]. Exposure of plants to excess heavy metals can cause a variety of adverse effects. Cd reduces seed germination; decreases plant nutrient content; and reduces shoot and root length [16]. Cd also produces alterations in the functionality of membranes by inducing lipid peroxidation [17], disturbs chloroplast metabolism by inhibiting chlorophyll biosynthesis and reduces the activity of enzymes involved in CO_2 fixation [18]. Cr induced oxidative stress and lipid peroxidation in plants causing severe damage to cell membranes. Oxidative stress induced by Cr also initiates the degradation of photosynthetic pigments causing a decline in growth. High Cr concentrations can disturb the chloroplast ultra-structure thereby disturbing the photosynthetic process [19]. Pb exerts adverse effect on the morphology, growth and photosynthetic processes of plants [20]. High Pb concentrations also induce oxidative stress by increasing the production of ROS (reactive oxygen species) in plants [21]. As reduces seed germination, decreases seedling height, and reduces leaf area and dry matter production [22]. Moreover, heavy metals can induce DNA abnormalities, such as changes in DNA bands and DNA structure, which cause genetic variation in plants [23–24]. Neeratanaphan et al. [25] presented the DNA of *Pistia stratiotes* in terms of genetic values and genomic template stability and found that its structure changed dramatically due to genetic degradation. Thanee et al. [26] found DNA abnormalities in plant species belonging

to acanthus (*Chromolaena odorata* L.), in cattails (*Typha angustifolia* L.) and in mission grass (*Penisetum polystachyon* L.) in an e-waste open dumpsite. Therefore, these heavy metals are transferred from e-waste open dumpsites to various parts of the environment, including plants and animals. These toxic substances are maintained in the food chain and are transferred at high concentrations through the trophic levels [27].

Plants can uptake large amounts of metals from water and soil through active and passive absorption [28]. Heavy metal contamination in the air can be absorbed by leaves, stems and other parts of the plant, depending on the characteristics of the stems or leaves. Heavy metals are transported to all parts of plants, including roots, stems, and leaves, and accumulate in tissues [29]. The e-waste open dumpsite analyzed in this study hosts local edible plants. These species, *Ottelia alismoides* (submerged plant), *Ipomoea aquatic* and *Marsilea crenata* (floating plants) have different characteristics, habitats and phenologies. Plant phenology is an important factor in the accumulation of heavy metals in various plant tissues [30]. Therefore, the aims of this study were to investigate the heavy metal concentrations accumulated in three local edible plant species (*O. alismoides*, *I. aquatic* and *M. crenata*) surrounding an e-waste open dumpsite. The bioaccumulation factor (BAF) and potential health risks, including the estimated daily intake (EDI), hazard quotient (HQ), hazard index (HI) and carcinogenic risk (CR) were determined.

Materials and methods

1) Study site

Figure 1 shows an e-waste open dumpsite and the location of sampling points in the area surrounding the dumpsite in the Khok Sa Ard Subdistrict, Khong Chai District, in Kalasin Province of Northeastern Thailand. The geographic coordinates of the e-waste area are latitude 16°18'55.81"N and longitude 103°25'30.66E. The distance from the study site to the e-waste open dumpsite was approximately 50 m. The surrounding land near the e-waste open dumpsite was used for paddy fields.

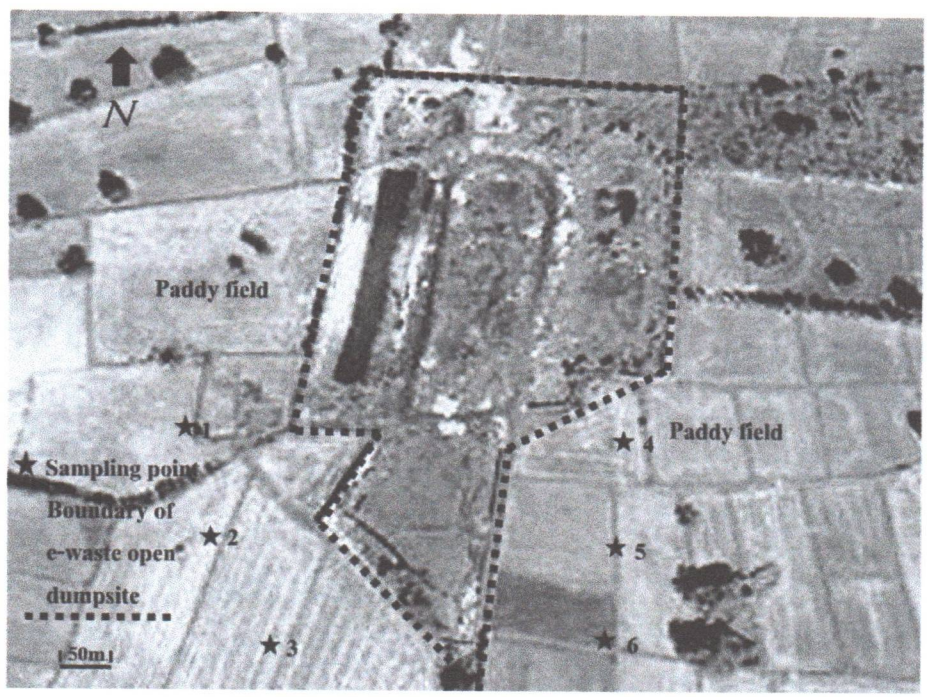


Figure 1 E-waste open dumpsite and the location of sampling points.

2) Sample collection

Six water and sediment samples were collected from flooded paddy fields near the e-waste open dumpsite. The sediment samples were air-dried, pulverized with a porcelain mortar, air-dried again, then crushed and filtered through a 2-mm sieve [31–32]. Three samples of the edible aquatic plants (*O. alismoides*, *I. aquatic* and *M. crenata*) were randomly collected from the e-waste open dumpsite. The aquatic plant samples were collected from sediment, and the stems and leaves were cut into very small fragments, mixed and oven-dried at 80°C. Then, the dry plant fragments were pulverized with a porcelain mortar and pestle [33].

3) Preparation of samples and heavy metals analysis

The 20 mL water samples and 1.25 mL of 65% HNO_3 were mixed in a beaker and digested on a hot plate at 105°C for 2 h. Each digested sample was then adjusted to 25 mL with deionized water and filtered with a glass microfiber filter [34]. The dried sediment samples (1.0 g) were digested with HNO_3 (5 mL), HCl (15 mL) and H_2O_2 (10 mL) and boiled in a digestion block for 2 h. The final solution was filtered by a glass microfiber filter [35]. The plant samples (0.5 g) were digested with HNO_3 (5 mL) and H_2O_2 (3 mL) and heated on a hot plate at 120°C until the solutions evaporated to near dryness. The solutions were then adjusted with deionized water to 25 mL and passed through a membrane filter. All the solution samples were analyzed for As, Cd, Cr and Pb concentrations by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES; model Optima 8300; USA). The limits of detection (LODs) for As, Cd, Cr and Pb were 1, 0.1, 0.2 and 1 $\mu g\ L^{-1}$, respectively. The wavelengths of As, Cd, Cr and Pb detection were 188.979, 226.502, 267.719 and 220.353 nm, respectively [36].

4) Quality standard control

The precision and accuracy of the analyses were evaluated by comparing replicate sample assays to standard reference materials for heavy metals. The SRM (1643f) was obtained from the National Institution of Standard and Technology, USA. The results were found not to deviate by more than 2% of the certified levels [34]. The heavy metal recovery values in the range of 85-115% were accepted [37].

5) Statistical analysis

A Kruskal-Wallis test was applied to assess the concentrations of heavy metals in the three edible plant species. The statistical analysis was performed by SPSS software version 22.0 at a 95% confidence level.

6) Bioaccumulation factor (BAF)

The BAF demonstrates the potential of aquatic plants to collect specific heavy metals related to their concentration in sediment. The BAF is calculated as follows Eq. 1 [10].

$$BAF = \frac{\text{(Heavy metal) aquatic plants}}{\text{(Heavy metal) sediment}} \quad \text{(Eq. 1)}$$

7) Human health risk assessments

7.1) Estimated daily intake (EDI)

The estimated daily intake indicates the transfer of heavy metals from aquatic plants to humans and is illustrated by 3 factors: heavy metal concentration of aquatic plants (C), the quantity of aquatic plants consumed daily (D) and average body weight (BW). The EDI is calculated as follows Eq. 2.

$$EDI = \frac{C \times D}{(BW)} \quad \text{(Eq. 2)}$$

The daily average plant consumption was 0.176 kg $person^{-1}$ d^{-1}. The average BW of people in the region is 62.45 kg $person^{-1}$ [38].

7.2) Hazard quotient (HQ) and hazard index (HI)

The HQ show noncarcinogenic impacts related to consuming polluted plants. The HQ refers to the ratio of the daily intake of metal in food to the

oral reference dose (RfD). An HQ >1 for any metal in the diet suggests that consumers face health risks. The HQ is calculated as follows Eq. 3.

$$HQ = \frac{EDI}{RfD} \quad \text{(Eq. 3)}$$

The RfDs for As, Cd, Cr and Pb were $3x10^{-4}$, $1x10^{-3}$, 1.5 and $3.6x10^{-3}$ mg kg^{-1} d^{-1}, respectively [10]. The hazard index (HI) is calculated by using the individual HQ values for a mixture of elements. HI is equal to the sum of the HQ [39].

7.3) Carcinogenic risk (CR)

Carcinogenic risk is expressed as the probability that an individual will develop cancer over a lifetime of exposure to contaminants. The CR is calculated as follows Eq. 4 and Eq. 5.

$$CR = \frac{EDI}{CSfo} \quad \text{(Eq. 4)}$$

$$CRt = \sum CR \quad \text{(Eq. 5)}$$

CSfo is the oral carcinogenic slope factor and had values of 1.5, $3.8x10^{-1}$, 0.5 and $8.5x10^{-3}$ mg kg^{-1} d^{-1} for As, Cd, Cr and Pb, respectively. If numerous carcinogenic elements are present, the cancer risks from all carcinogens (CRt) are summarized (assuming additive results). Risks in the range of $1x10^{-6}$-$1x10^{-4}$ are acceptable [40–41].

Results and discussion

1) As, Cd, Cr and Pb concentrations in water and sediment samples

Table 1 show the concentrations of As, Cd, Cr and Pb in the water and sediment samples. The Pb concentration exceeded the water quality standard [42]. In the sediment, the concentrations of heavy metals were greater than those in water and were ordered as follows: Pb>Cr>As>Cd. However, the concentrations of As, Cd, Cr and Pb were within the soil quality standard [43].

Heavy metals are usually insoluble in water and adsorb to sediment. Sediments have heavy metal concentrations greater than those in water because sediment experiences fewer disturbances, leading to the long-term settlement of sediment-bound contaminants [44]. The concentration of heavy metals in the sediment affects the concentration of heavy metals in the plant species growing in the sediment. The order of the heavy metal concentration in the sediment was Pb> Cr>As>Cd; and these concentrations were within the quality standard [43]. The concentration of Pb was the highest because the nearby e-waste open dumpsite in the Khok Sa Ard subdistrict, Khong Chai District had contained numerous computers and televisions. Pb is the major element in the composition of computers and televisions [45–46]. Rain run-off is a possible mechanism for heavy metal pollution in water [47]. A prior study also indicated high Pb concentrations in soil within (577.68±1.60 mg kg^{-1}) and near (6.81±0.10 mg kg^{-1}) an e-waste storage area [9]. Regional Environment Office 10 of Thailand [48] found concentrations of As, Cd, Cr and Pb in soil of 2,636, 44, 12 and 9.6 mg kg^{-1}, respectively. Various factors such as cultivation season, soil depth, distance from the e-waste open dumpsite, and climate on the day of sampling can have an impact on the concentration of heavy metals [47–49].

2) As, Cd, Cr and Pb concentrations in three edible aquatic plant species

Table 2 shows the As, Cd, Cr and Pb concentrations in the three edible aquatic plant species included in this study. The order of the heavy metal concentrations in *O. alismoides*, *I. aquatic* and *M. crenata* were Cr>Pb>As>Cd, Pb>Cr>As>Cd and Pb>Cr>As>Cd, respectively. The concentrations of As, Cd, Cr and Pb in *O. alismoides* and As, Cr and Pb in *I. aquatic* and *M. crenata* exceeded food consumption standard values. The statistical analysis indicated that As, Cd, Cr and Pb concentrations were significantly different between *O. alismoides* and the other two edible aquatic plants ($p<0.05$). However, the Cd and Cr concentrations in *I. aquatic* and *M. crenata* were not statistically different.

Table 1 The concentration of As, Cd, Cr and Pb in water (mg L^{-1}) and sediment (mg kg^{-1}) samples from an e-waste open dumpsite.

Study area (N=6)	As			Cd			Cr			Pb		
	Certified value	Measured value	Recovery (%)	Certified value	Measured value	Recovery (%)	Certified value	Measured value	Recovery (%)	Certified value	Measured value	Recovery (%)
Water	0.011	0.01±0.01	91	-	ND	-	-	ND	-	0.61	0.06±0.01	98
Standard*		0.01			0.05			0.05			0.05	
Sediment	2.88	2.58±0.15	90	2.61	2.41±0.15	92	12.27	11.97±1.75	98	68.12	66.16±8.45	97
Standard**		≥6.0			≤67			≤17.5			≤400	

Note: *Surface water quality standard of Thailand [42], **Soil quality standards for habitat and agriculture [43]

Table 2 The concentration of As, Cd, Cr and Pb in samples of three edible aquatic plant species from an e-waste open dumpsite (mg kg^{-1}, dry weight).

Plant species (N=6)	AS			Cd			Cr			Pb		
	Certified value	Measured value	Recovery (%)	Certified value	Measured value	Recovery (%)	Certified value	Measured value	Recovery (%)	Certified value	Measured value	Recovery (%)
O. alismoides	6.73	5.93±0.26^{a}	88	3.81	3.55±0.08^{a}	93	7.79	6.42±0.59^{a}	97	7.09	6.42±0.59^{a}	91
I. aquatic	0.67	0.61±0.15^{b}	91	0.07	0.08±0.07^{b}	114	1.65	2.24±0.85^{b}	96	2.64	2.24±0.85^{b}	89
M. crenata	0.42	0.38±0.13^{c}	90	0.13	0.14±0.08^{b}	108	1.12	1.55±0.26^{c}	97	1.82	1.55±0.26^{c}	85
Food quality standard		0.1*			0.2*			1**			0.3**	

Note: Different letters in the same column indicate significant differences compared to standards ($p<0.05$).

*Joint FAO/WHO food standards program [50],

**FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations [51]

In e-waste open dumpsite soils, the excessive amounts of heavy metals are taken up by edible plants and vegetables, which poses a serious health risk to humans. Heavy metals are absorbed by plant roots and translocated to the above ground portions of the plants (shoots) and accumulate in plant tissues [52]. In general, the concentration of heavy metals in the three analyzed species of edible aquatic plants exceeded the quality standards; only the Cd concentrations in *I. aquatic* and *M. crenata* were within quality standards. In this study, stem and leaf parts were used to determine the heavy metal concentrations. The highest As, Cd, Cr and Pb concentrations were found in *O. alismoides* plants, which grow completely submerged with fibrous roots and small stems. In contrast, *I. aquatic* and *M. crenata* are floating plants that have long stems and root freely from nodes to form large clusters. Submerged plants are rooted to the bottom and their leaves grow entirely underwater. Thus, submerged plants interact with heavy metals from both water and sediment [53]. Edible aquatic plant species have various physiological, genetic, and morphological differences. For example, the mechanisms associated with the uptake and translocation of ions by aquatic plants affects the potential absorption of heavy metals by each plant species [54]. The results of the current study demonstrate that habitat type i.e., the habitats of floating and submerged plants according to the study of Fritioff and Greger [55], is associated with heavy metal concentration and that *O. alismoides* has the highest potential to accumulate heavy metals. In conclusion, if local people consume these edible aquatic plants regularly, they will be risk of heavy metal exposure.

3) BAFs of heavy metals in edible aquatic plant species

Table 3 shows the BAFs of As, Cd, Cr and Pb in the three edible aquatic plant species based on their absorption from sediment. In *O. alismoides*, the order of the BAFs was as follows: As>Cd>Cr>Pb. The BAFs of As and Cd in *O. alismoides* exceeded one, indicating high potential accumulation. In *I. aquatic* and *M. crenata*, the order of the BAFs was As> Cr>Pb>Cd and As>Cr>Cd>Pb, respectively.

The BAFs of As, Cd, Cr and Pb in the three edible aquatic plant species were used to determine the degree of risk and steady-state conditions of accumulated chemicals in the plants. The abiotic factors affecting the values of the BAF are salinity and alkalinity, the oxidation-reduction potential, and the potential of hydrogen ions [56]. BAFs demonstrate the potential of the aquatic plant species for phytoextraction and phytostabilization of heavy metals [57]. The BAFs of As and Cd in *O. alismoides* exceeded one, suggesting high potential absorption. The BAFs of the heavy metals in *I. aquatic* and *M. crenata* were less than one, indicating low potential for absorbing any of the heavy metals. The potential for absorbing toxic substances varied by edible aquatic plant species. Depending on the plants characteristics, microorganism-plant interactions, translocation, tolerance mechanisms and metal and soil characteristics [58], plant species can absorb and hyperaccumulate metal contaminants in root and shoot tissue [59]. *O. alismoides* has shorter stems and larger leaves than *I. aquatic* and *M. crenata*, while *I. aquatic* and *M. crenata* have long stems. Heavy metals are translocated from the roots to the shoots. The phytotransformation process is the breakdown of metal contaminants taken up by plants through metabolic processes within the plant [60–61]. The consumption of these edible aquatic plant species located near the e-waste open dumpsite could affect human health [32].

4) Potential human health risks from heavy metals via edible aquatic plant consumption

Table 4 shows the potential human health risks associated with the intake of As, Cd, Cr and Pb from edible aquatic plant species, which were determined by assessing the EDI, HQ, HI and CR values of the population. The EDI values

for heavy metals in *O. alismoides*, *I. aquatic* and *M. crenata* followed the order of Cr>Pb>As>Cd, Pb>Cr>As>Cd and Pb>Cr>As>Cd, respectively. The EDI values indicate the effects of these aquatic plants on the health of the people that consume the plants. The HQ values for As, Cd and Pb in *O. alismoides*, Pb in *I. aquatic* and As and Pb in *M. crenata* indicated a health risk to humans. The HI values for *O. alismoides*, *I. aquatic* and *M. crenata* were greater than one, which is considered a health risk to humans. [39]. The CR values associated with As and Cr were greater than 1 x 10^{-4} in all three edible aquatic plants. These CR values suggest that the consumption of aquatic plants from areas surrounding the e-waste dumpsite could cause cancer.

The daily intake of heavy metals consumed in edible aquatic plants from this e-waste environment can have an important impact on the health of humans. The EDI, HQ, HI and CR values were determined to assess the health risks to humans who consume vegetables contaminated with heavy metals. Among all the heavy metals, the highest EDI was found in *O. alismoides*. The EDI value of Pb was high in each species. A previous study found the EDI value of Pb in rice (*Oryza sativa* L.) was 6.02 near an e-waste open dumpsite [9]. The HQ values of As, Cd and Pb in *O. alismoides*, Pb in *I. aquatic* and As and Pb in *M. crenata* were all greater than one. These results indicate that *O. alismoides* is the most unsafe for consumption and may pose potential health risks with regard to levels of heavy metals. The CR values of the three edible aquatic plant species contaminated with As, Cd, Cr and Pb indicate that the consumption of these species might lead to the development of cancer. The USEPA [63] reported that the chance of additional human cancer over a 70-year lifespan ($1x10^{-6}$-$1x10^{-4}$) is between 1-100 and 1-1,000,000, which is regarded as a passable or an unimportant risk. The CRt values of *O. alismoides*, *I. aquatic* and *M. crenata* were 394, 49 and 32 times greater than that of the quality standard. These results indicated that the consumption of edible aquatic plants contaminated with heavy metals leads to a great carcinogenic risk. In addition, the analysis of the carcinogenic risk revealed that the concentrations of As and Cr in the three edible aquatic plant species were above the range for relatively negligible cancer risk.

Table 3 Bioaccumulation factors of heavy metals in three edible aquatic plant species

Heavy metal	BAFs based on sediment		
	O. alismoides	***I. aquatic***	***M. crenata***
As	2.302±0.03	0.238±0.05	0.14±0.05
Cd	1.479±0.11	0.032±0.02	0.05±0.03
Cr	0.622±0.08	0.139±0.06	0.08±0.06
Pb	0.097±0.005	0.034±0.01	0.02±0.004

Table 4 The EDI, HQ, HI and CR values of heavy metals in three edible aquatic plant species

Heavy metal	EDI (μg $kg^{-1}d^{-1}$)	HQ	CR
O. alismoides			
As	16.701	5.568	$2.50x10^{-2}$
Cd	10.004	10.006	$3.80x10^{-3}$
Cr	20.797	0.014	$1.03x10^{-2}$
Pb	18.101	5.029	$1.53x10^{-4}$
		∑HQ=HI=20.617	$\sum CR_t=3.94x10^{-2}$

Table 4 The EDI, HQ, HI and CR values of heavy metals in three edible aquatic plant species (*continued*)

Heavy metal	EDI ($\mu g\ kg^{-1}d^{-1}$)	HQ	CR
I. aquatic			
As	1.727	0.576	$2.59x10^{-3}$
Cd	0.216	0.216	$8.20x10^{-5}$
Cr	4.490	0.003	$2.24x10^{-3}$
Pb	6.298	1.750	$5.35x10^{-5}$
		$\sum HQ=HI=2.545$	$\sum CR_t=4.97x10^{-3}$
M. crenata			
As	1.076	3.58	$1.61x10^{-3}$
Cd	0.401	0.40	$1.52x10^{-4}$
Cr	2.843	0.001	$1.42x10^{-3}$
Pb	4.342	1.20	$3.69x10^{-5}$
		$\sum HQ=HI=5.181$	$\sum CR_t=3.22x10^{-3}$
Unsuitable critical threshold	-	<1	$1x10^{-6}$-$1x10^{-4}$ [62]

Conclusions

E-waste open dumpsites are an important source of heavy metal pollution, and heavy metals can be detected in the water, sediment and edible aquatic plants surrounding these areas. In this study, the Pb concentration exceeded the water quality standard. The concentrations of heavy metals in the sediment were within the limits of the quality standard. The highest As, Cr, Cd and Pb concentrations were found in *O. alismoides*, and these values exceeded the quality standard for food consumption. The human health risk assessment found that the EDI, HQ, HI and CR values in the three edible aquatic plant species exceeded the values of the quality standard. The results of this study showed that the study site presents potential non-carcinogenic as well as carcinogenic threats to human health. Local people should avoid consuming aquatic plants growing near the e-waste open dumpsite, especially *O. alismoides*, *I. aquatic* and *M. crenata*. The proper management of e-waste open dumpsites and the proper separation of e-waste components are important to reducing the human health risks related to heavy metal exposure.

References

[1] Ramesh, B.B., Parande, A.K., Ahmed, B.C. Electrical and electronic waste: A global environmental problem. Waste Management & Research, 2007, 25(4), 307–318.

[2] Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. Thailand state of pollution report 2015. PCD. Bangkok, Thailand. 2015. [Online] Available from: http://www.infofile.pcd.go.th/mgt/PollutionReport2015_en.pdf [Accessed 12 January 2020].

[3] Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. Thailand state of pollution report 2016. PCD. Bangkok, Thailand. 2016. [Online] Available from: https://www.stkc.go.th/sites/default/files/flip_ebook/catalogs/61_05PollutionReport2016/pdf/complete.pdf [Accessed 9 January 2020].

[4] Tansel, B. From electronic consumer products to e-wastes: Global outlook, waste quantities, recycling challenges. Environment International, 2017, 98, 35–45.

[5] Thailand Development Research Institute. E-waste management in Thailand. Thailand Development Research Institute, Bangkok,

Thailand, 2019. [Online] Available from: https://www.tdri.or.th/2018/04/electronic-waste-management-in-thailand/ [Accessed 20 March 2020].

[6] Kyere, V.N., Greve, K., Atiemo, S.M., Ephraim, J. Spatial assessment of potential ecological risk of heavy metal in soils from informal e-waste recycling in Ghana. Environmental Health and Toxicology, 2017, 32, 1–7.

[7] Jira, S. Blood lead levels in children aged 0-5 years at Khong Chai district, Kalasin province of Thailand. Mahasarakham Hospital Journal, 2014, 11(2), 6–15.

[8] Saetang, P., Rojanapraiwong, S., Muksuwan, W. A Preliminary survey of impact and solution towards participatory waste management: A case of Khok Sa Ard subdistrict, Khong Chai District, Kalasin Province. Preliminary Report Submitted to Asia Foundation, Thailand, 2009.

[9] Neeratanaphan, L., Khamma, S., Benchawattananon, R., Ruchuwararak, P., Appamaraka, S., Intamat, S. Heavy metal accumulation in rice (*Oryza sativa*) near electronic waste dumps and related human health risk assessment. Human Ecological Risk Assessment, 2017, 23, 1086–1098.

[10] Thanomsangad, P., Tengjaroenkul, B., Sriuttha, M., Neeratanaphan, L. Heavy metal accumulation in frogs surrounding an e-waste dump site and human health risk assessment. Human Ecological Risk Assessment, 2019, 26(5), 1313–1328.

[11] Caravanos, J., Clark, E., Richard, F.R., Lambertson, C. Assessing worker and environmental chemical exposure risks at an e-waste recycling and disposal site in Accra Ghana. Journal of Health and Pollution, 2011, 1, 16–25.

[12] Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B., Beeregowda, K.N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metal. Interdisciplinary Toxicology, 2014, 7, 60–72.

[13] Jarup, L. Hazards of heavy metal contamination. British Medical Bulletin, 2003, 68, 167–182.

[14] Kakker, P., Jaffery, F.N. Biological markers for metals toxicity. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2005, 19(2), 335–349

[15] Nordberg, G.F. Biomarkers of exposure, effects and susceptibility in humans and their application in studies of interactions among metals in China. Toxicology Letters, 2010, 192(1), 45–49.

[16] Yourtchi, M.S., Bayat, H.R. Effect of cadmium toxicity on growth, cadmium accumulation and macronutrient content of durum wheat (Dena CV.). International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 2013, 6(15), 1099–1103.

[17] Fodor, E., Szabo-Nagy, A., Erdei, L. The effects of cadmium on the fluidity and H^+-ATPase activity of plasma membrane from sunflower and wheat roots. The Journal of Plant Physiology, 1995, 147 (1), 87–92.

[18] De Filippis, L.F., Ziegler, H. Effect of sublethal concentrations of zinc, cadmium and mercury on the photosynthetic carbon reduction cycle of Euglena. Journal of Plant Physiology, 1993, 142(2), 167–172.

[19] Jain, R., Srivastava, S., Madan, V.K. Influence of chromium on growth and cell division of sugarcane. Indian Journal of Plant Physiology, 2000, 5, 228–231.

[20] Morzck, E.J., Funicclli, N.A. Effect of lead and on germination of *Spartina alterniflora* losiel seeds at various salinities. Environmental and Experimental Botany, 1982, 22(1), 23–32.

[21] Reddy, A.M., Kumar, S.G., Jyotsnakumari, G., Thimmanayak, S., Sudhakar, C. Lead induced changes in antioxidant metabolism of horsegram (*Macrotyloma uniflorum*

(Lam.) Verdc.) and bengalgram (*Cicer arietinum* L.). Chemosphere, 2005, 60(1), 97–104.

[22] Abedin, M.J., Cotter-Howells, J., Meharg, A.A. Arsenic uptake and accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) irrigated with contaminated water. Plant and Soil, 2002, 240(2), 311–319.

[23] Gupta, M., Sarin, N.B. Heavy metal induced DNA changes in aquatic macrophytes: Random amplified polymorphic DNA analysis and identification of sequence characterized amplified region marker. Journal of Environmental Science, 2009, 21(5), 686–690.

[24] Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T., Niazi, N.K. Foliar heavy metals uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. Journal of Hazardous Materials, 2017, 325, 36–58.

[25] Neeratanaphan, L., Sudmoon, R., Chaveerach, A. Assessment of genotoxicity through ISSR marker in *Pistia stratiotes* induced by lead. Environment Asia, 2014, 7(2), 99–107.

[26] Thanee, T., Sudmoon, R., Thamsenaupap, P., Chaveerach, A. Effect of cadmium on DNA changes in *Ipomoea aquatica* Forssk. Polish Journal of Environmental Studies, 2016, 25(1), 311–315.

[27] Tao, Y., Yuan, Z., Xiaona, H., Wei, M. Distribution and bioaccumulation of heavy metal in aquatic organisms of different trophic levels and potential health risk assessment from Taihu lake, China. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2012, 81, 55–64.

[28] Harguinteguy, C.A., Cirelli, A.F., Pignata, M.L. Heavy metal accumulation in leaves of aquatic plant Stuckenia filiformis and its relationship with sediment and water in the Suquia river (Argentina). Microchemical Journal, 2014, 114, 111–118.

[29] Wesley-Smith, J. Freeze-substitution of dehydrated plant tissues: Artefacts of aqueous fixation revisited. Protoplasma, 2001, 218(3), 154–167.

[30] Kularbthong, S., Kanlapaphruek, S., Saiphattana, P. *Ottelia alismoides*: Aistinctive vegetation of the Phetchaburi River. Journal South Technology, 2013, 6, 69–76.

[31] Thailand Pollution Control Department (TPCD). Manual of procedures for collecting sediment and water samples from water source. Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand, 2010.

[32] Olafisoye, O.B., Adefioye, T., Osibote, O.A. Heavy metal contamination of water, soil, and plants around an electronic waste dump site. Polish Journal of Environmental Studies, 2013, 22(5), 1431–1439.

[33] Chand, V., Prasad, S. ICP-OES assessment of heavy metal contamination in tropical marine sediments: A comparative study of two digestion techniques. Microchemical Journal, 2013, 111, 53–61.

[34] American Public Health Association (APHA). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington DC, USA, 2005.

[35] Keith, L.H. Compilation of EPA's sampling and analysis methods. 2nd Edition. USA: Lewis Publishers, 1998.

[36] Khamlerd, C., Tengjaroenkul, B., Neeratanaphan, L. Abnormal chromosome assessment of snakehead fish (*Channa striata*) affected by heavy metals from a reservoir near an industrial factory. International Journal of Environmental Studies, 2019, 76, 1–15.

[37] US Environmental Protection Agency (USEPA). Method 6010: Inductive coupled plasma atomic emission spectrometry. US Environmental Protection Agency, Washington DC, USA, 2007.

[38] Chamannejadian, A., Sayyad, G., Moezzi, A., Jahangiri, A. Evaluation of estimated daily intake (EDI) of cadmium and lead for rice (*Oryza sativa* L.) in calcareous soils. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 2013, 10(1), 1–5.

[39] Chonokhuu, S., Batbold, C., Chuluunpurev, B., Battsengel, E., Dorjsuren, B., Byambaa, B. Contamination and health risk assessment of heavy metals in the soil of major cities in Mongolia. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(14), 1–15.

[40] Cao, S., Duan, X., Zhao, X., Wang, B., Ma, J., Fan, D., …, Jiang, G. Haassessment of various metal(loid)s via multiple exposure pathways on children living near a typical lead-acid battery plant. China Environment Pollution, 2015, 200, 16–23.

[41] US Environmental Protection Agency (USEPA). Regional screening level (RSL) summary table (TR=1E-06, HQ=1). 2017. [Online] Available from: https://semspub.epa.gov/work/03/2245059.pdf [Accessed 21 January 2020].

[42] Thailand Pollution Control Department (TPCD). Surface water quality standard. Notification of the National Environmental Board; No. 8. Bangkok, 2001.

[43] Thailand Pollution Control Department (TPCD). Soil quality standards for habitat and agriculture. Notification of the National Environmental Board; in the Royal Gazette on 11 March 2021.

[44] Huang, L., Rad, S., Xu, L., Gui, L., Song, X., Li, Y., …, Chen, Z. Heavy metals distribution, sources, and ecological risk assessment in Huixian wetland, South China. Water, 2020, 12(2), 1–14.

[45] Nnorom, I.C., Osibanjo, O. Electronic waste (e-waste): Material flows and management practices in Nigeria. Waste Management, 2008, 28(8), 1472–1479.

[46] Nnorom, I.C., Osibanjo, O., Okechukwu K., Nkwachukwu, O., Chukwuma, R.C. Evaluation of heavy metal release from the disposal of waste computer monitors at an open dump. International Journal of Environmental Science and Development, 2010, 1(3), 227–233.

[47] Wu, Q., Leung, J.Y., Geng, X., Chen, S., Huang, X., Li, H., …, Lu, Y. Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: Implications for dissemination of heavy metal. Science of the Total Environment, 2015, 506, 217–225.

[48] Regional Environment Office 10 of Thailand. Summary report for environmental problems from electrical and electronic products, Khong Chai District, Kalasin Province. Pollution Control Department, Thailand. 2014.

[49] Vassanadumrongdee, S. The situation of electronic waste problem. Environmental Journal, 2015, 19, 1–18.

[50] Codex Alimentarius Commission. Working document for information and use in discussions related to contaminants and toxins in the GSCTFF. Joint FAO/WHO food standards programe. Codex Committee on Contaminants in Foods. 5th Edition. The Hague, The Netherlands, 2011, 21–25.

[51] Food and Agriculture Organization (FAO). Codex Alimentarius Commission Food Additives and Contaminants, FAO/WHO, Rome, Italy, ALINORM 01/12A, 2001, 1–289.

[52] Tangahu, B.V., Sheikh Abdullah, S.R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., Mukhlisin, M. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. International Journal of Chemical Engineering, 2011, 1–32.

[53] Wenzel, W.W., Unterbrunner, R., Sommer, P., Socco, P. Chelate assisted phytoextraction using canola (*Brassica napus* L.)

in outdoors pot and lysimeter experiments. Plant and Soil, 2003, 249(1), 83–96.

[54] Suman, J., Uhlik, O., Viktorova, J., Macek, T. Phytoextraction of heavy metals: A promising tool for clean-up of polluted environment. Frontiers in Plant Science, 2018, 9, 1476.

[55] Fritioff, A., Greger, M. Aquatic and terrestrial plant species with potential to remove heavy metals from stormwater. International Journal of Phytoremediation, 2003, 5(3), 211–224.

[56] Putshaka, J.D., Akyengo, O., Yakubu, A., Adejube, A.A.H. Bioaccumulation of heavy metal in fish (*Tilapia zilli*) and bullfrog (*Pyxicephalus edulis*) from river Challawa Kano State Nigeria citation. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2015, 2(4), 30–34.

[57] US Environmental Protection Agency (USEPA). Risk base concentration table. US Environmental Protection Agency, Washington DC, USA, 2000.

[58] Pilon-Smits, E.A., Hwang, S., Mel Lytle, C., Zhu, Y., Tai, J.C., Bravo, R.C., Terry, N. Overexpression of ATP sulfurylase in Indian mustard leads to increased selenate uptake, reduction and tolerance. Plant Physiology, 1990, 119(1), 123–132.

[59] Van der Ent, A., Baker, A.J., Reeves, R.D., Pollard, A.J., Schat, H. Hyper-accumulators of metal and metalloid trace elements: facts and fiction. Plant and Soil, 2013, 362(1), 319–334.

[60] Liu, W.J., Wood, B.A., Raab, A., McGrath, S.P., Zhao, F.J., Feldmann, J. Complexation of arsenite with phytochelatins reduces arsenite efflux and translocation from roots to shoots in Arabidopsis. Plant Physiology, 2010, 152(4), 2211–2221.

[61] Gao, J., Garrison, A.W., Hoehamer, C., Mazur, C.S., Wolfe, N.L. Uptake and phytotransformation of organophosphorus pesticides by axenically cultivated aquatic plants. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(12), 6114–6120.

[62] US Environmental Protection Agency (USEPA). Risk based screening table. Composite Table: Summary Tab 0615, 2015. [Online] Available from: http://www2.epa.gov/risk/basedscreening-table generic-tables [Accessed 12 January 2020].

[63] US Environmental Protection Agency (USEPA). Risk assessment guidance for superfund (Part E, Part F). EPA. Washington DC, USA, 2011.

Sci2.3-47

Acta Tropica 223 (2021) 106079

Contents lists available at ScienceDirect

Acta Tropica

journal homepage: www.elsevier.com/locate/actatropica

Opisthorchis viverrini and *Strongyloides stercoralis* mono- and co-infections: Bayesian geostatistical analysis in an endemic area, Thailand

Apiporn T. Suwannatrai [a,b,*], Kavin Thinkhamrop [b,c,d], Kulwadee Suwannatrai [e], Khanittha Pratumchart [a,b], Kinley Wangdi [f], Matthew Kelly [f], Angela M. Cadavid Restrepo [g], Darren J. Gray [f], Archie C.A. Clements [h,i], Sirikachorn Tangkawattana [j], Banchob Sripa [k]

[a] Department of Parasitology, Faculty of Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand
[b] Health and Epidemiology Geoinformatics Research (HEGER), Faculty of Public Health, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand
[c] Cholangiocarcinoma Screening and Care Program (CASCAP), Faculty of Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand
[d] Data Management and Statistical Analysis Center (DAMASAC), Faculty of Public Health, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand
[e] Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, Thailand
[f] Department of Global Health, Research School of Population Health, College of Medicine, Biology and Environment, The Australian National University, Canberra, Australian Capital Territory, Australia
[g] School of Public Health, Faculty of Medicine, The University of Queensland, Brisbane, Queensland, Australia
[h] Faculty of Health Sciences, Curtin University, Bentley, Western Australia, Australia
[i] Telethon Kids Institute, Nedlands, WA, Australia
[j] Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand
[k] WHO Collaborating Centre for Research and Control of opisthorchiasis, Tropical Disease Research Center, Department of Pathology, Faculty of Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

ARTICLE INFO

Keywords:
Opisthorchis viverrini
Strongyloides stercoralis
Bayesian model-based geostatistics
Mono-infection
Co-infection

ABSTRACT

Parasitic infections caused by *Opisthorchis viverrini* and *Strongyloides stercoralis* remain a major public health threat in the Greater Mekong Sub-region. An understanding of climate and other environmental influences on the geographical distribution and emergence of parasitic diseases is a crucial step to guide targeted control and prevention programs. A parasitological survey was conducted from 2008 to 2013 and included 12,554 individuals (age between 20 and 60 years) from 142 villages in five districts in Khon Kaen Province, Thailand. Geographical information systems, remote sensing technologies and a Bayesian geostatistical framework were used to develop models for *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections in areas where both parasites are known to co-occur. The results indicate that male sex, increased age, altitude, precipitation, and land surface temperature have influenced the infection rate and geographical distribution of mono- and co-infections of *O. viverrini* and *S. stercoralis* in this area. Males were 6.69 times (95% CrI: 5.26–8.58) more likely to have *O. viverrini* - *S. stercoralis* co-infection. We observed that *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono-infections display distinct spatial pattern, while co-infection is predicted in the center and southeast of the study area. The observed spatial clustering of *O. viverrini* and *S. stercoralis* provides valuable information for the spatial targeting of prevention interventions in this area.

1. Introduction

Opisthorchiasis and strongyloidiasis are two major neglected public health problems in the Greater Mekong Sub-region caused by *Opisthorchis viverrini* and *Strongyloides stercoralis*, respectively. The liver fluke, *O. viverrini* has been extensively studied in Thailand where there are approximately eight million people infected especially in North and Northeastern Thailand (Sripa et al., 2011; Suwannatrai et al., 2018). Most opisthorchiasis patients are asymptomatic, however, some moderate and heavily infected patients present with symptoms such as dyspepsia, abdominal pain, constipation and/or diarrhea. Heavy and chronic *O. viverrini* infections often result in liver cirrhosis, portal hyperplasia and cholangiocarcinoma (CCA) (Sripa et al., 2011). Humans become infected with *O. viverrini* by ingesting undercooked fish

* Corresponding author.
E-mail address: apiporn@kku.ac.th (A.T. Suwannatrai).

https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.106079
Received 4 June 2021; Received in revised form 25 July 2021; Accepted 27 July 2021
Available online 5 August 2021
0001-706X/© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.

containing metacercariae. *S. stercoralis* is able to maintain itself for decades within human host and may cause lethal hyperinfection syndrome among immune-compromized patients (Croker et al., 2010). Infection with *S. stercoralis* occurs while walking barefoot over contaminated soil (Keiser and Nutman, 2004). In Northeast Thailand, *O. viverrini* and *S. stercoralis* are highly prevalent and the most common among people working in agriculture who walk barefoot in the fields and have a penchant for eating raw or undercooked fish (Laoraksawong et al., 2018; Nuchprayoon et al., 2002; Sithithaworn et al., 2003; Thinkhamrop et al., 2019). The effect of co-infection between *O. viverrini* and *S. stercoralis* in human has never been measured. The correct understanding of the spatial epidemiology and distribution of *O. viverrini* and *S. stercoralis* is an important step to design and implement control and prevention programs. The geographical distribution of parasitic infections is driven by climatic and environmental factors that influence parasite populations and it can also affect the hosts' (including humans) population dynamics and behaviors (Soares Magalhaes et al., 2011). The prediction risk of spatial distribution of mono- and co-infections will allow and assist in building integrated surveillance and control programs for multiple diseases simultaneously (Raso et al., 2007).

Recently geographic information system (GIS), remote sensing (RS) and Bayesian model-based geostatistics have been used as key analytical

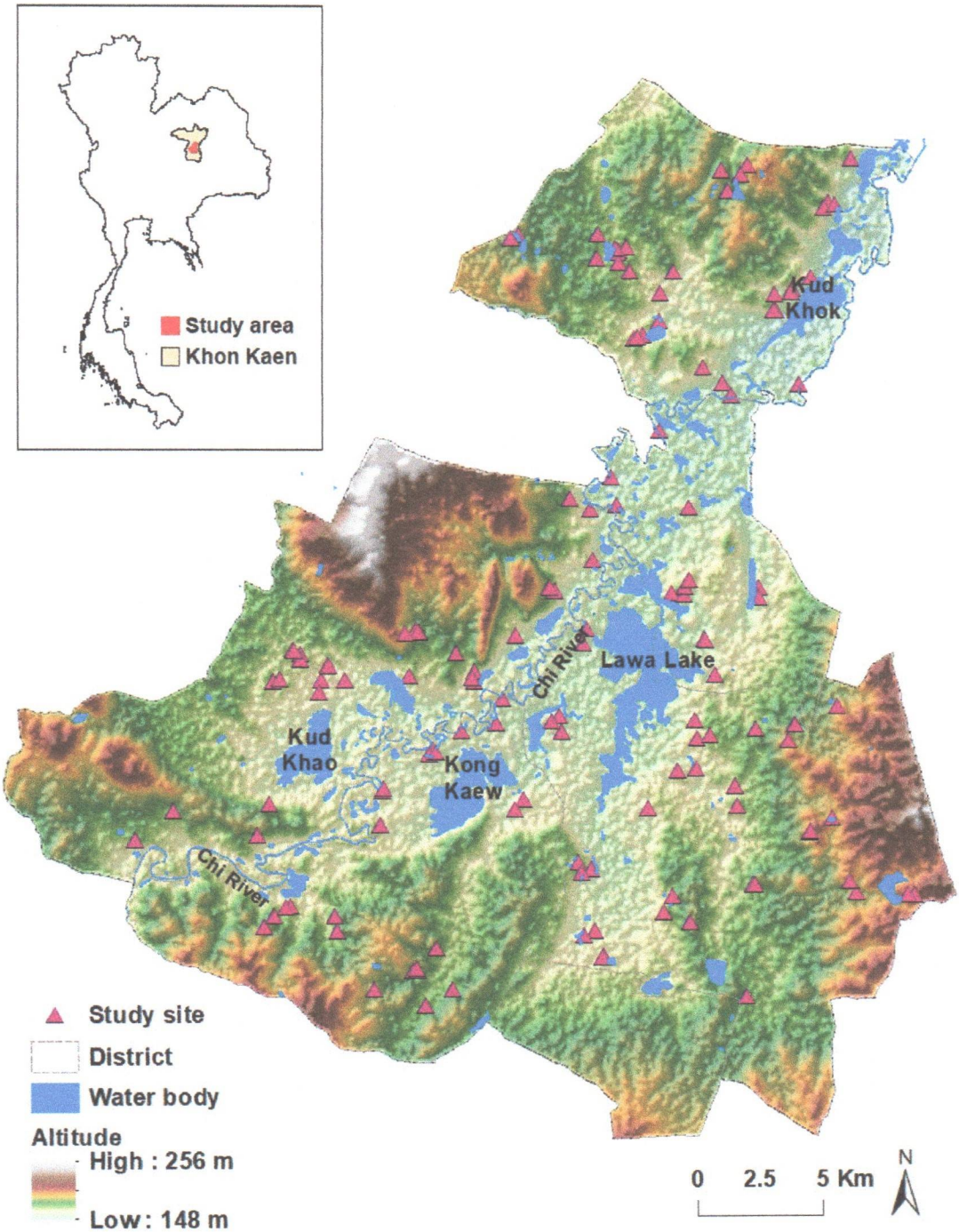


Fig. 1. Map of 142 study sites in 5 districts in Khon Kaen Province, Thailand. For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

tools to measure and describe the spatial patterns in the risk of *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections through various spatial levels. Model-based geostatistics have been previously utilized as a successful tool to predict high risk areas for: echinococcosis (Cadavid Restrepo et al., 2018a, b), malaria (Gosoniu et al., 2006; Reid et al., 2010) soil-transmitted helminth infections (Forrer et al., 2018; Lai et al., 2013; Oluwole et al., 2015; Raso et al., 2006a; Scholte et al., 2013), schistosomiasis (Clements et al., 2006a, 2006b; Scholte et al., 2014), leishmaniasis (Karagiannis-Voules et al., 2013), and opisthorchiasis (Forrer et al., 2012).

The purpose of this study was to (1) identify and quantify the climatic and environmental risk factors that influence the geographical distribution of *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections by analyzing recent infection rate data, and to (2) develop predictive risk maps of *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections rate in Khon Kaen Province, Thailand.

2. Materials and methods

2.1. Ethics statement

This study was approved by the Khon Kaen University Ethics Committee for Human Research (HE571394).

2.2. Study area

The study area was in 142 villages, around the Lawa Lake, across 5 districts: Ban Phai, Ban Had, Pra Yuen, Munchakiri, and Chonnabot in Khon Kaen Province, which is an endemic area for opisthorchiasis-associated CCA in Northeast Thailand. The study area has five main water reservoirs namely, Chi River, Lawa Lake, Kud Khao, Kong Kaew, and Kud Khok reservoirs (Fig. 1).

2.3. Demographic and parasitology data

The dataset of *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections was obtained from the WHO Collaborating centre for Research and Control of Opisthorchiasis, Tropical Disease Research Center, Faculty of Medicine, Khon Kaen University. The dataset was the result of epidemiological surveys conducted in the beginning of the Lawa model project, an EcoHealth/One Health approach for integrative opisthorchiasis control (Sripa et al., 2015, 2017) between 2008 and 2013. The inclusion criteria of the participants were (1) participants who were native residents in villages around Lawa Lake area, Khon Kaen Thailand (2) aged between 20 and 60 years, and (3) participants who agreed to provide stool sample.

Demographic data (including age, sex, and occupation) were obtained from all study participants using a questionnaire. A single stool sample provided by each participant was determined using modified formalin-ethyl acetate concentration technique (FECT) using two grams of stool sample (Elkins et al., 1991). Presence of infection in the stool suspension was examined under a light microscope based on morphology by experienced microscopists. A single stool specimen was sampled for two slides– a participant was considered positive for parasitic infection if at least one parasite egg or larva was detected on examination of either slide. For quality control of parasites identification, microscopists were specifically trained to differentiate: (1) *O. viverrini* and minute intestinal fluke eggs, and (2) *S. stercoralis* and hookworm larvae. Anthelmintic treatments were provided to participants found to be infected with parasites.

2.4. Climatic and environmental data layers

Altitude and precipitation data was extracted from Worldclim Global Climate Data (http://www.worldclim.org) (Hijmans et al., 2005). The normalized difference vegetation index (NDVI), normalized difference water index (NDWI) and land surface temperature (LST) data were obtained from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (http://modis.gsfc.nasa.gov/), from January 2001 to December 2014 with a spatial resolution of 1 kilometer. All remote sensing images were extracted, projected, and mosaicked to cover the study area using ArcGIS 10.8 (ESRI Inc. Redlands, CA, US). Then the remote sensing images of NDVI, NDWI and LST over fourteen years were compiled using mean into one image with annual data. The values for altitude, precipitation, NDVI, NDWI, LST, and distance to water resources were extracted in ArcGIS 10.8 for each survey location. The distributions of the climatic and environmental factors, with the water body in the study area, are presented in Fig. appendix 1. The polygon shapefile for administrative boundaries at the district level and polyline shapefiles for streams and rivers in study area were obtained from the DIVA-GIS website (https://www.diva-gis.org/).

2.5. Data analysis

Survey data were summarized as the infection rate of *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections in each study site. Individual-level data for *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections were aggregated at the village level. For this analysis, the infected cases were stratified into three age groups: 20–30 years, 31–40 years, and 41–60 years. The volunteers under 20 years and over 60 years were not participated. There were minimal, maximum, and average participants included in this survey per village as 14, 245, and 88 people, respectively.

Age-group, sex, and occupation of the subjects were described using frequencies and percentages. The Chi-squared test was used to investigate factors (age-group and sex) associated with the infection rate of *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections. Statistical significance was defined as *P- value* of less than 0.05.

2.6. Variable selection

Climatic and environmental variables were measured for multicollinearity using STATA 14.0 (Stata Corporation, College Station, Texas, USA). The variables with the variance inflation factor (VIF) greater than 10 were removed. Univariate logistic regression models were established to assess the association between *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections and each of the climatic and environmental variables. All variables with Wald's $P > 0.2$ were excluded from further analyses. The backward stepwise multivariate logistic regression analysis was conducted with the remaining variables using $P \leq 0.05$ to define included variables and Wald's $P > 0.1$ as the exclusion variables (Clements et al., 2006a). Nonlinear relationships between *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections and climatic and environmental variables were examined using quadratic terms.

2.7. Spatial and non-spatial Bayesian geostatistics models

Distinct multivariable geostatistical logistic regression models were built for *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections in a Bayesian framework using WinBUGS software, version 1.4.3 (Medical Research Council, Cambridge, UK) The explanatory variables included in the final model are: age, sex, altitude, NDVI, LST, distance to water bodies, and precipitation.

In the first model, Model I, the explanatory variables were included as fixed effects but without considering the spatial dependence structure of the data. The variables included in this model were age (20–30 years (reference), 31–40 years, and 41–60 years), sex, altitude, NDVI, LST, distance to water resources, and precipitation. Model II, included the same explanatory variables and a spatially structured random effect.

The better fit of the Bayesian geostatistical models was nominated using the lowest deviance information criterion (DIC). Statistical

significance of the covariates in the models was determined by the 95% credible intervals (95% CrI) of the estimated odds ratios (OR) that excluded 1.

For *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections, the best-fit model was the one that included the spatial random effect. Assuming a Bernoulli-distributed dependent variable, Y_{ij}, equivalent to infection status (0 = non-infected, 1 = infected) of an individual i in location j, the model structures for villager was as follows:

$$Y_{ij} \sim Bern(p_{ij})$$

$$\text{logit}\,(p_{ij}) = \alpha\,\varepsilon + \gamma\, x\, \text{age}_{\,i} + \delta\, x\, sex + \sum_{z=1}^{z} \beta_z\, x\, \lambda_{zj} + s_j$$

where α_ε is the intercept, γ and δ are the coefficient for age and sex, respectively, β is a matrix of z coefficients, λ is a matrix of z climatic and environmental variables, and s_j a geostatistical random effect. The correlation structure of the geostatistical random effect was assumed to be an exponential function of the distance between points:

$$f(d_{ab};\phi) = \exp[- - \phi d_{ab}]$$

where d_{ab} are the distances between pairs of points a and b, and ϕ is the rate of decline of spatial correlation per unit of distance. A normal distribution was used for the priors for the intercept and the coefficients (mean = 0 and precision, the inverse of variance, $= 1 \times 10^{-3}$), whereas a uniform distribution was specified for ϕ (with upper and lower bounds s = 0.01 and 100; the lower bound set to ensure spatial correlation at the maximum separating distance between survey locations was <0.5). A non-informative gamma distribution was used to specify the priors for the precision (shape and scale parameters = 0.001, 0.001).

A burn-in of 1000 iterations were run first and removed. Sets of 20,000 iterations were then run and examined for convergence. Convergence was assessed by visual inspection of history and density plots and by examining autocorrelation of the model parameters. Because autocorrelation was observed for most variables, thinning was applied by storing every 10th iteration. In each model, convergence was achieved for all variables at approximately 80,000 iterations. The last 10,000 values from the posterior distributions of each model parameter were recorded. The rate of decay of spatial correlation between locations (ϕ) with distance and the variance of the spatial structured random effect (σ^2) were also stored.

A regular 1 km × 1 km grid was overlaid over the entire study territory to define the prediction locations. The *spatial.unipred* function in WinBUGS was used to estimate the risk of infection at the prediction locations. The function uses the model equation at each non-sampled location using the covariates values extracted for them and the separating distance between those locations and the studied locations. Maps that represent the posterior medians, lower, and upper limits of 95% Bayesian credible interval limits were created in ArcGIS 10.8 to provide predicted infection rate and uncertainty for each predicted value.

3. Results

3.1. Parasitological data

In this study, 12,554 subjects in 142 villages were examined. There were significantly more females (n = 7383; 58.8%) than males (n = 5171; 41.2%, p<0.001). Ages ranged from 20 to 60 years with the median age of 46 years. The main occupation of the villagers was farming (n = 9930; 79.1%). The infection rate of *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections were presented stratified by sex and age (Table 1). The results show that males were significantly more mono- and co-infected than females. The subjects of 31–40 and 41–60 years of age were significantly more mono- and coinfected than subjects of 20–30 years of age. The infection rate of *O. viverrini* mono-infection was 31.6%, *S. stercoralis* mono-infection was 4.5% and *O. viverrini - S. stercoralis* co-infection was 4.3% (Table 1). The infection rate of *O. viverrini* mono-infection in each village ranged from 3.3 to 69.7% and of *S. stercoralis* mono-infection ranged from 0.8 to 28.3%. The infection rate of *O. viverrini - S. stercoralis* co-infection in each village ranged from 0.7 to 25.0%. The smoothed curve of the age distribution of *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections by sex are shown in Fig. 2. Males have a higher infection rate of *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections than females (Fig. 2A, 2B, and 2C). For *O. viverrini* mono-infection, the infection rate of males increased with age and then plateaued in the older age group while females increased with increasing age (Fig. 2A). The infection rate of *S. stercoralis* mono-infection was similarly distributed among males and females (Fig. 2B). Whereas the infection rate of *O. viverrini - S. stercoralis* co-infection was heterogeneously distributed among males and females (Fig. 2C). The spatial distributions of *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections rate based on the 142 surveyed locations are shown in Fig. 3.

3.2. Model selection for O. viverrini mono-infection

Based on the DIC, model II of *O. viverrini* mono-infection with both unstructured and structured random effects was the best-fitting model. In this model, male and age were significantly positive associated with infection rate of *O. viverrini* mono-infection while precipitation was negatively associated with infection rate of *O. viverrini* mono-infection. Males were 1.47 times (95% CrI: 1.35–1.60) more likely to have *O. viverrini* mono-infection compared to females. Also, individuals aged >31–40 years were 1.43 times (95% CrI: 1.19 −1.73) more likely to have *O. viverrini* mono-infection than those aged 20–30 years (Table 1). The value of the decay parameter for spatial correlation (ϕ) was 59.78 (95% CrI: 26.39–95.32), indicating that spatial correlation of *O. viverrini* mono-infection rate occurred over much smaller distances.

3.3. Model selection for S. stercoralis mono-infection

Based on the DIC, model II of *S. stercoralis* mono-infection was the best-fitting model. In this model, male, age, altitude, and precipitation were significantly positive associated with infection rate of *S. stercoralis* mono-infection. Males were 3.01 times (95% CrI: 2.49–3.65) more likely to have *S. stercoralis* mono-infection when compared to females (Table 1). The value of the decay parameter for spatial correlation (ϕ)

Table 1
Opisthorchis viverrini and *Strongyloides stercoralis* mono- and co-infections in endemic area, Thailand, stratified by sex and age.

Infection status	Total	Sex		*P value*[a]	Age in years			*P value*[a]
		Male	Female		20–30	31–40	41–60	
Number of villagers	12,554	5171	7383	<0.001	741	2679	9134	<0.001
Non-infection (%)	59.7	47.5	68.3		66.1	63.4	58.1	
O. viverrini mono-infection (%)	31.6	37.0	27.8		27.1	30.5	32.3	
S. stercoralis mono-infection (%)	4.5	7.1	2.6		3.2	3.2	4.9	
O. viverrini - S. stercoralis co-infection (%)	4.3	8.4	1.3		3.5	2.9	4.7	

[a] Based on Chi-squared test of significance.

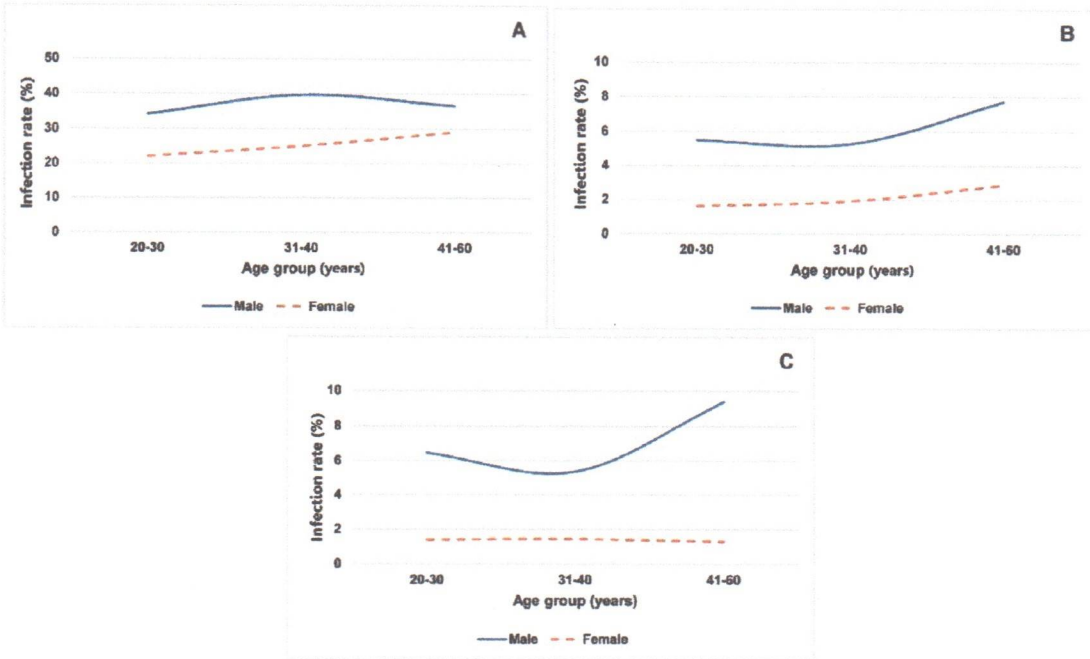


Fig. 2. The age distribution curve for parasitic infections by sex. The figures show the smoothed age distribution of male (solid blue line) and female (dotted orange line) study participants for an infection with *Opisthorchis viverrini* mono-infection (A), *Strongyloides stercoralis* mono-infection (B) and *O. viverrini* - *S. stercoralis* co-infection (C) in an endemic area in Thailand. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

was 68.89 (95% CrI: 31.43–97.98), indicating that spatial correlation of *S. stercoralis* mono-infection rate occurred over much smaller distances.

3.4. Model selection for *O. viverrini* - *S. stercoralis* co-infection

Based on the DIC, the models II of *O. viverrini-S. stercoralis* co-infection was the best-fitting model. In this model, males were 6.69 times (95% CrI: 5.26–8.58) more likely to have *O. viverrini* - *S. stercoralis* co-infection when compared to females (Table 2). LST was significantly positive associated with infection rate of *O. viverrini* - *S. stercoralis* co-infection. The value of the decay parameter for spatial correlation (ϕ) was 48.87 (95% CrI: 15.96–92.40), indicating that spatial correlation of *O. viverrini* - *S. stercoralis* co-infection rate occurred over small distances.

3.5. Spatial predictions

The median predicted spatial distribution of *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections rate are presented in Figs. 4, 5, and 6, respectively. High risk of *O. viverrini* mono-infection was observed in the center area near the Lawa Lake (Fig. 4A). The highest-risk area of *S. stercoralis* mono-infection was observed in the west and northeast area, while low-risk was found in the center area (Fig. 5A). The highest-risk area of *O. viverrini* and *S. stercoralis* co-infection were found in the center and southeast of the study area (Fig. 6A). For the model uncertainty, the lower and upper limits of 95% Bayesian credible interval limit for each prediction outcome are shown in Figs. 4B, 4C, 5B, 5C, 6B, and 6C, respectively.

4. Discussion

To the authors' knowledge, these are the first Bayesian geostatistical models that produce predict infection risk maps of *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections in a endemic area for opisthorchis-associated cholangiocarcinoma in Northeast Thailand. Our findings suggested that male sex, increased age, altitude, precipitation, and land surface temperature have influenced the infection rate and geographical distribution of mono- and co-infections of *O. viverrini* and *S. stercoralis*.

In this study we found that males were more likely to be infected by *O. viverrini* and *S. Stercoralis*. This finding has also been previously observed in other studies conducted in different contexts (Khieu et al., 2014a, 2014b; Laoraksawong et al., 2018; Prakobwong et al., 2017; Prasongdee et al., 2017; Saenna et al., 2017). Males in Northeast Thailand have a tradition of consumption raw or undercooked cyprinid fish which predisposes them to *O. viverrini* infection. In addition, rural men routinely engage in the agricultural activities where they work barefeet in the fields often with poor sanitation. This could be one of the main sources of *S. stercoralis* infection in males.

Here, we also found that infection with *O. viverrini* and *S. stercoralis* increased with age. Our results showed that there was a significant higher infection with *O. viverrini* and *S. stercoralis* among older adults. This result supports previous findings (Boondit et al., 2020; Boonjaraspinyo et al., 2013; Laoraksawong et al., 2018; Naves and Costa-Cruz, 2013; Rangsin et al., 2009; Vonghachack et al., 2017). Older people have genetic alteration and immune dysfunction that may enhance susceptibility for chronic parasitic infections (Castle, 2000; Effros, 2003; Gavazzi et al., 2004; Naves and Costa-Cruz, 2013). In Northeast Thailand, most old age people have low education levels, poor hygiene, and a habit of eating undercooked fish (Boonjaraspinyo et al., 2013).

The spatial heterogeneity in distribution patterns of helminth mono- and co-infections were reported in previous studies of infection with *Schistosoma* sp. and hookworm (Brooker and Clements, 2009; Raso et al., 2006b; Soares Magalhaes et al., 2011); *S. stercoralis* and hookworm (Forrer et al., 2018). Our study predicted similar spatial pattern of *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono- and co-infections in this endemic area. The climate and environmental factors influencing on the spatial patterns of parasitic infections have been reported (Brooker and Clements, 2009;Forrer et al., 2018; Soares Magalhaes et al., 2011). It has been previously reported that several climatic and environmental risk factors (i.e., altitude, LST, NDVI, rainfall, and distance to water bodies) influence the epidemiology of opisthorchiasis and strongyloidiasis (Chaiyos et al., 2018; Forrer et al., 2018, 2012; Kim et al., 2016; Pratumchart et al., 2019; Suwannatrai et al., 2017). We demonstrated that the

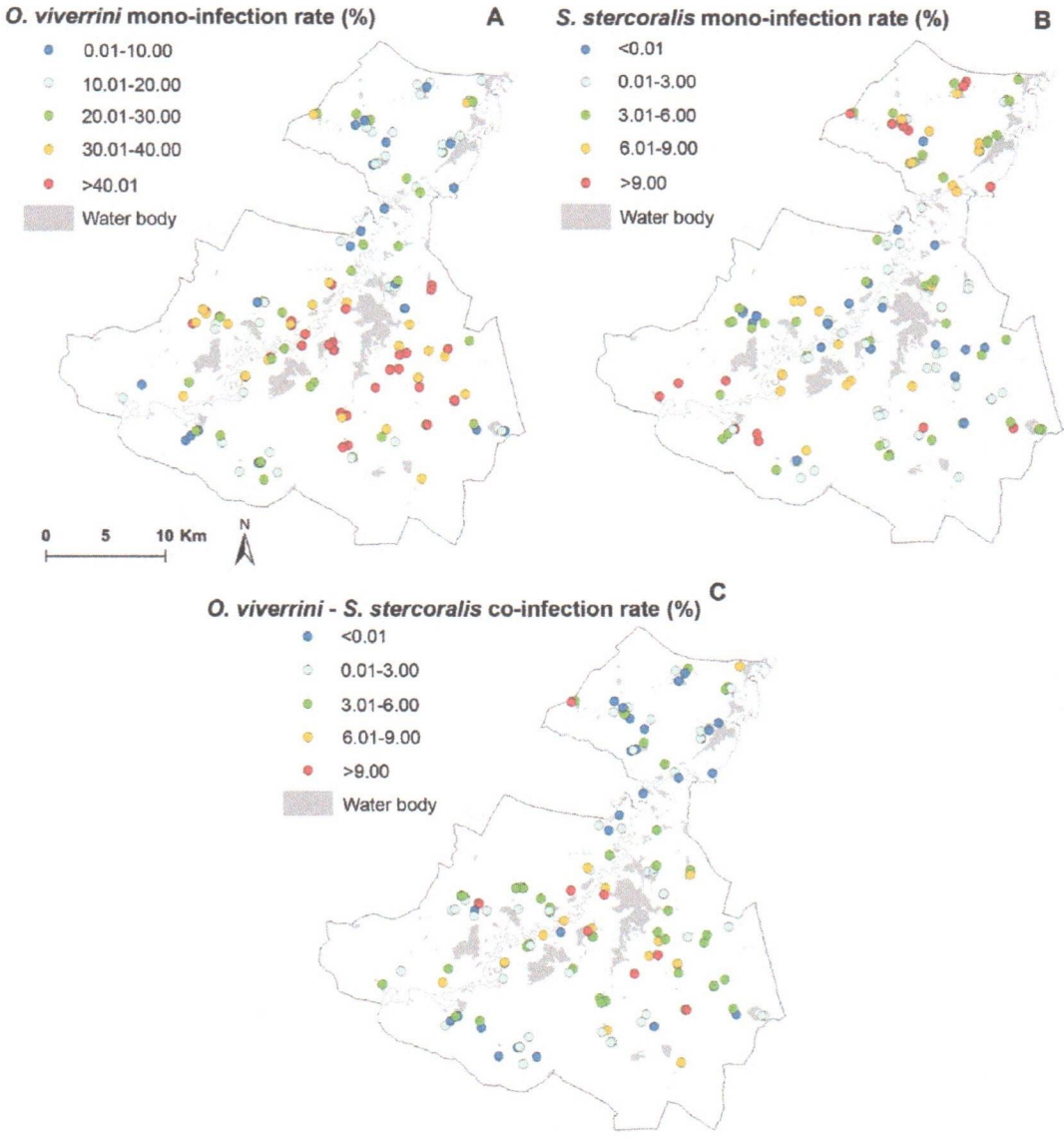


Fig. 3. The spatial distribution of infection rate of *Opisthorchis viverrini* mono-infection (A), *Strongyloides stercoralis* mono-infection (B) and *O. viverrini* - *S. stercoralis* co-infection (C) in an endemic area in Thailand. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Table 2
Bayesian geostatistical logistic regression models of *Opisthorchis viverrini* and *Strongyloides stercoralis* mono- and co-infections in an endemic area in Thailand.

Variable	*O. viverrini* mono-infection		*S. stercoralis* mono-infection		*O. viverrini* - *S. stercoralis* co-infection	
	Coef (95% CrI)	RR (95% CrI)	Coef (95% CrI)	RR (95% CrI)	Coef (95% CrI)	RR (95% CrI)
Male (vs. female)	0.39 (0.30 0.47)	1.47 (1.35 1.60)	1.10 (0.91 1.29)	**3.01** (2.49 3.65)	1.90 (1.66 2.15)	**6.69** (5.26 8.58)
Age 31–40 years (vs. 20–30 years)	0.20 (0.00 0.41)	1.23 (1.00 1.50)	0.25 (−0.26 0.79)	1.28 (0.77 2.20)	−0.36 (−0.83 0.15)	0.70 (0.43 1.16)
Age 41–60 years (vs. 20–30 years)	0.36 (0.17 0.55)	1.43 (1.19 1.73)	0.52 (0.06 1.02)	1.68 (1.06 2.77)	0.24 (−0.17 0.69)	1.27 (0.84 1.99)
Altitude (m)	−0.03 (−0.19 0.14)	1.00 (0.99 1.01)	0.26 (0.08 0.44)	1.02 (1.01 1.03)	−0.01 (−0.19 0.18)	1.00 (0.99 1.01)
NDVI	0.01 (−0.14 0.16)	1.15 (0.09 14.22)	0.10 (−0.08 0.27)	5.01 (0.27 92.76)	0.08 (−0.09 0.25)	3.87 (0.24 61.15)
LST	0.10 (−0.04 0.23)	1.07 (0.97 1.19)	0.002 (−0.14 0.15)	1.00 (0.90 1.12)	0.27 (0.08 0.46)	1.23 (1.06 1.42)
Distance to water bodies	0.08 (−0.09 0.25)	1.09 (0.91 1.30)	0.08 (−0.10 0.26)	1.09 (0.90 1.32)	0.02 (−0.16 0.21)	1.03 (0.99 1.02)
Precipitation	−0.29 (−0.50 −0.06)	0.95 (0.91 0.99)	0.33 (0.11 0.54)	1.06 (1.02 1.11)	−0.18 (−0.40 0.08)	0.97 (0.93 1.02)
Intercept (log odds scale)	−1.64 (−1.99 −1.31)		−4.30 (−4.85 −3.79)		−4.81 (−5.37 −4.29)	
ϕ (rate of decay of spatial correlation)	59.78 (26.39 95.32)		68.89 (31.43 97.98)		48.87 (15.96 92.40)	
σ^2 (variance of spatial random effect)	2.01 (1.10 3.08)		3.12 (1.44 5.94)		3.73 (1.30 8.34)	
DIC	2720.93		1274.26		1079.78	

Coef -Coeffieicnt of posterior mean; CrI- Bayesian credible interval; RR- risk ration of posterior mean; NDVI - normalized difference vegetation index; LST- land surface temperature.

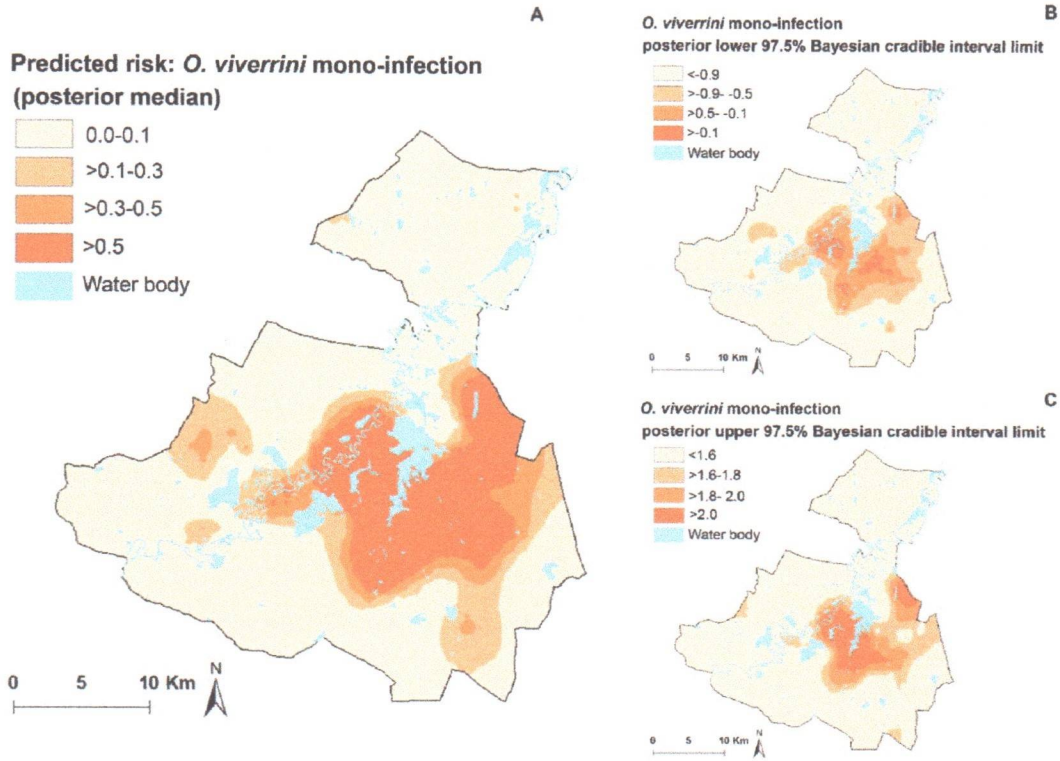


Fig. 4. Spatial distribution of predicted infection rate of *Opisthorchis viverrini* mono-infection: posterior median (A), lower 95% Bayesian credible interval limit (B), and upper 95% Bayesian credible interval limit (C). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

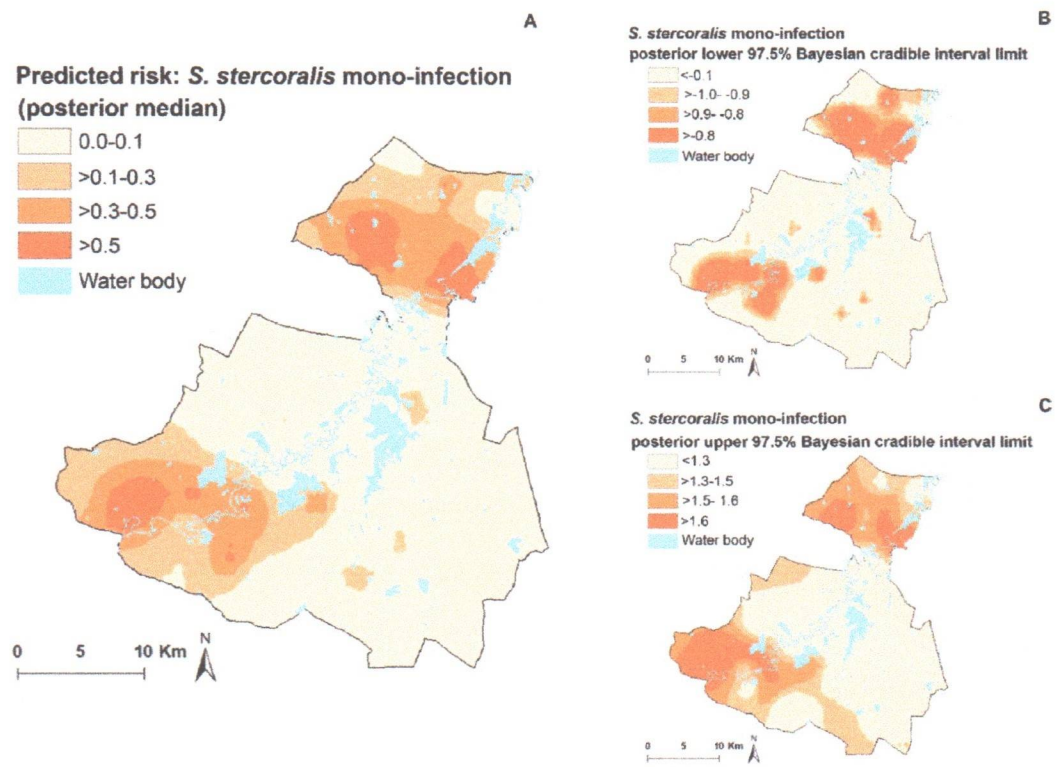


Fig. 5. Spatial distribution of predicted infection rate of *Strongyloides stercoralis* mono-infection: posterior median (A), lower 95% Bayesian credible interval limit (B), and upper 95% Bayesian credible interval limit (C). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

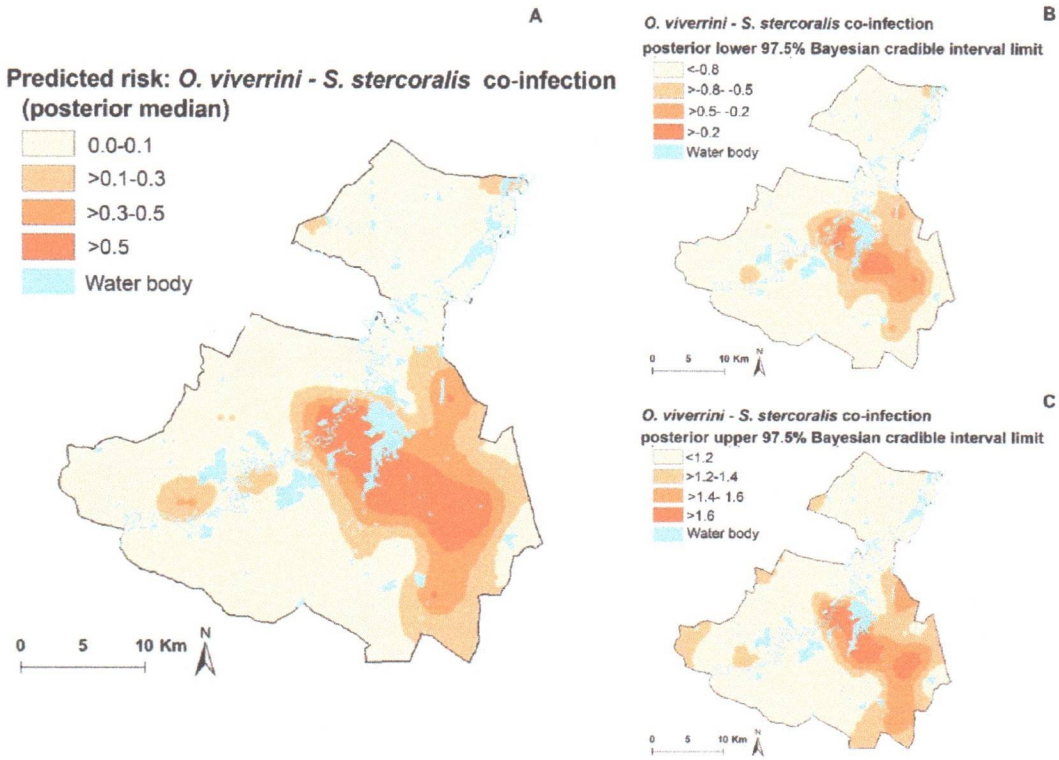


Fig. 6. Spatial distribution of predicted infection rate of *Opisthorchis viverrini - Strongyloides stercoralis* co-infection: posterior median (A), lower 95% Bayesian credible interval limit (B), and upper 95% Bayesian credible interval limit (C). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

distribution pattern of *O. viverrini* and *S. stercoralis* mono-infections are distinct, while co-infection is predicted in the center and southeast of the study area. Precipitation had a significant negative association with *O. viverrini* mono-infection. This result concurs with previous studies that showed that have described the distribution of *Bithynia* snail, with is the first intermediate host of *O. viverrini* in Thailand - which is similarly impacted by precipitation (Pratumchart et al., 2019; Upatham and Sukhapanth, 1980). Increasing precipitation can determine the suitable habitat for snail intermediate host, but extreme flooding or precipitation may break snail intermediate host habitats (Echaubard et al., 2017; Pedersen et al., 2014; Tidman et al., 2021). However, our study was observed in the local area, there are not much different in the altitude (148–256 meter) and precipitation (1,089–1,118 mm) levels. There might be a bit more rain in the hills but most probably *O. viverrini* mono-infection is more prevalent in the lowlands because the water accumulates in latkes, ponds, and rivers.

The limitations of our study include: (1) the gold standard to diagnose *S. stercoralis* is agar plate culture method but here we used FECT that may have underestimated *S. stercoralis* infection. The infection rate of *S. stercoralis* reported here might not be completely reflecting the true infection burden. The true infection rate of *S. stercoralis* might be two to three times higher than indicated in this study by using the fecal culture method (Sithithaworn et al., 2003). The ability of our models could be improved in the future by modeling highly specific and sensitive diagnostic methods., (2) the modeling analysis of *O. viverrini* infection with and without *S. stercoralis* co-infection, also *S. stercoralis* infection with and without *O. viverrini* co-infection and further of *O. viverrini* and *S. stercoralis* co-infection, we will be performed in future study., (3) the association between *O. viverrini* and *S. stercoralis* infection on host morbidity and immunity needs to be examined.

5. Conclusion

The results of this study identify climatic and environmental factors that determine the geographical variation of the infection rate of mono- and co-infections. Our results indicate GIS and Bayesian geostatistical analysis are useful tools for defining *O. viverrini* and *S. stercoralis* co-distributions in endemic areas. The models are suitable for making health planning decisions and monitoring progress on a local level. This is particularly important in data-scarce environments where resources and health data are limited, and effective resource allocation and planning are needed to have a significant impact on sustained disease control programs.

Authors' contributions

ATS, KT, KS, ST and BS designed and performed the field experiments. ATS, KT, KP, KW, AMCR and ACAC performed the analysis. ATS, KT, KW, MK, DJG and ACAC wrote the manuscript. All authors have been involved in revising the manuscript, and all authors have read and approved the final manuscript.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no competing interests.

Acknowledgements

This study was supported by the Higher Education Research Promotion and National Research University Project of Thailand, Office of the Higher Education Commission, through the Health Cluster (SHeP-GMS), Khon Kaen University, Khon Kaen University Research Plan (RP64018), the Thailand and Thailand Research Fund (TRF) grant number TRG5790198. We would like to thank technical staff of the

Tropical Disease Research Center Khon Kaen University for data collection. BS is a Senior Research Scholar of Khon Kaen University.

Supplementary materials

Supplementary material associated with this article can be found, in the online version, at doi:10.1016/j.actatropica.2021.106079.

References

Boondit, J., Suwannahitatorn, P., Siripattanapipong, S., Leelayoova, S., Mungthin, M., Tan-Ariya, P., Piyaraj, P., Naaglor, T., Ruang-Areerate, T., 2020. An Epidemiological Survey of *Opisthorchis viverrini* Infection in a Lightly Infected Community, Eastern Thailand. Am. J. Trop. Med. Hyg. 102, 838–843.

Boonjaraspinyo, S., Boonmars, T., Kaewsamut, B., Ekobol, N., Laummaunwai, P., Aukkanimart, R., Wonkchalee, N., Juasook, A., Sriraj, P., 2013. A cross-sectional study on intestinal parasitic infections in rural communities, northeast Thailand. Korean J. Parasitol. 51, 727–734.

Brooker, S., Clements, A.C., 2009. Spatial heterogeneity of parasite co-infection: determinants and geostatistical prediction at regional scales. Int. J. Parasitol. 39, 591–597.

Cadavid Restrepo, A.M., Yang, Y.R., McManus, D.P., Gray, D.J., Barnes, T.S., Williams, G. M., Soares Magalhaes, R.J., Clements, A.C.A., 2018a. Environmental risk factors and changing spatial patterns of human seropositivity for *Echinococcus* spp. in Xiji County, Ningxia Hui Autonomous Region, China. Parasit. Vectors 11, 159.

Cadavid Restrepo, A.M., Yang, Y.R., McManus, D.P., Gray, D.J., Barnes, T.S., Williams, G. M., Soares Magalhaes, R.J., Clements, A.C.A., 2018b. Spatial prediction of the risk of exposure to *Echinococcus* spp. among schoolchildren and dogs in Ningxia Hui Autonomous Region, People's Republic of China. Geospat. Health. 13, 644.

Castle, S.C., 2000. Clinical relevance of age-related immune dysfunction. Clin. Infect. Dis. 31, 578–585.

Chaiyos, J., Suwannatrai, K., Thinkhamrop, K., Pratumchart, K., Sereewong, C., Tesana, S., Kaewkes, S., Sripa, B., Wongsaroj, T., Suwannatrai, A.T., 2018. MaxEnt modeling of soil-transmitted helminth infection distributions in Thailand. Parasitol. Res. 117, 3507–3517.

Clements, A.C., Lwambo, N.J., Blair, L., Nyandindi, U., Kaatano, G., Kinung'hi, S., Webster, J.P., Fenwick, A., Brooker, S., 2006a. Bayesian spatial analysis and disease mapping: tools to enhance planning and implementation of a schistosomiasis control programme in Tanzania. Trop. Med. Int. Health. 11, 490–503.

Clements, A.C., Moyeed, R., Brooker, S., 2006b. Bayesian geostatistical prediction of the intensity of infection with *Schistosoma mansoni* in East Africa. Parasitology 133, 711–719.

Croker, C., Reporter, R., Redelings, M., Mascola, L., 2010. Strongyloidiasis-related deaths in the United States, 1991-2006. Am. J. Trop. Med. Hyg. 83, 422–426.

Echaubard, P., Leon, T., Suwanatrai, K., Chaiyos, J., Kim, C.S., Mallory, F.F., Kaewkes, S., Spear, R.C., Sripa, B., 2017. Experimental and modelling investigations of *Opisthorchis viverrini* miracidia transmission over time and across temperatures: implications for control. Int. J. Parasitol. 47, 257–270.

Effros, R.B., 2003. Genetic alterations in the ageing immune system: impact on infection and cancer. Mech. Ageing Dev. 124, 71–77.

Elkins, D.B., Sithithaworn, P., Haswell-Elkins, M., Kaewkes, S., Awacharagan, P., Wongratanacheewin, S., 1991. *Opisthorchis viverrini*: relationships between egg counts, worms recovered and antibody levels within an endemic community in northeast Thailand. Parasitology 102 (Pt 2), 283–288.

Forrer, A., Khieu, V., Schar, F., Vounatsou, P., Chammartin, F., Marti, H., Muth, S., Odermatt, P., 2018. *Strongyloides stercoralis* and hookworm co-infection: spatial distribution and determinants in Preah Vihear Province, Cambodia. Parasit Vectors. 11, 33.

Forrer, A., Sayasone, S., Vounatsou, P., Vonghachack, Y., Bouakhasith, D., Vogt, S., Glaser, R., Utzinger, J., Akkhavong, K., Odermatt, P., 2012. Spatial distribution of, and risk factors for, *Opisthorchis viverrini* infection in southern Lao PDR. PLoS. Negl. Trop. Dis. 6, e1481.

Gavazzi, G., Herrmann, F., Krause, K.H., 2004. Aging and infectious diseases in the developing world. Clin. Infect. Dis. 39, 83–91.

Gosoniu, L., Vounatsou, P., Sogoba, N., Smith, T., 2006. Bayesian modelling of geostatistical malaria risk data. Geospat. Health. 1, 127–139.

Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P., Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. Int. J. Climatol. 25, 1965–1978.

Karagiannis-Voules, D.A., Scholte, R.G., Guimaraes, L.H., Utzinger, J., Vounatsou, P., 2013. Bayesian geostatistical modeling of leishmaniasis incidence in Brazil. PLoS. Negl. Trop. Dis. 7, e2213.

Keiser, P.B., Nutman, T.B., 2004. *Strongyloides stercoralis* in the Immunocompromised Population. Clin. Microbiol. Rev. 17, 208–217.

Khieu, V., Schar, F., Forrer, A., Hattendorf, J., Marti, H., Duong, S., Vounatsou, P., Muth, S., Odermatt, P., 2014a. High prevalence and spatial distribution of *Strongyloides stercoralis* in rural Cambodia. PLoS. Negl. Trop. Dis. 8, e2854.

Khieu, V., Schar, F., Marti, H., Bless, P.J., Char, M.C., Muth, S., Odermatt, P., 2014b. Prevalence and risk factors of *Strongyloides stercoralis* in Takeo Province, Cambodia. Parasit. Vectors 7, 221.

Kim, C.S., Echaubard, P., Suwannatrai, A., Kaewkes, S., Wilcox, B.A., Sripa, B., 2016. Seasonal and Spatial Environmental Influence on *Opisthorchis viverrini* Intermediate Hosts, Abundance, and Distribution: insights on Transmission Dynamics and Sustainable Control. PLoS. Negl. Trop. Dis. 10, e0005121.

Lai, Y.S., Zhou, X.N., Utzinger, J., Vounatsou, P., 2013. Bayesian geostatistical modelling of soil-transmitted helminth survey data in the People's Republic of China. Parasit. Vectors. 6, 359.

Laoraksawong, P., Sanpool, O., Rodpai, R., Thanchomnang, T., Kanarkard, W., Maleewong, W., Kraiklang, R., Intapan, P.M., 2018. Current high prevalences of *Strongyloides stercoralis* and *Opisthorchis viverrini* infections in rural communities in northeast Thailand and associated risk factors. BMC. Public. Health. 18, 940.

Naves, M.M., Costa-Cruz, J.M., 2013. High prevalence of *Strongyloides stercoralis* infection among the elderly in Brazil. Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo 55, 309–313.

Nuchprayoon, S., Siriyasatien, P., Kraivichian, K., Porksakorn, C., Nuchprayoon, I., 2002. Prevalence of parasitic infections among Thai patients at the King Chulalongkorn Memorial Hospital, Bangkok, Thailand. J. Med. Assoc. Thai. 85 (Suppl 1), S415–S423.

Oluwole, A.S., Ekpo, U.F., Karagiannis-Voules, D.A., Abe, E.M., Olamiju, F.O., Isiyaku, S., Okoronkwo, C., Saka, Y., Nebe, O.J., Braide, E.I., Mafiana, C.F., Utzinger, J., Vounatsou, P., 2015. Bayesian geostatistical model-based estimates of soil-transmitted helminth infection in Nigeria, including annual deworming requirements. PLoS. Negl. Trop. Dis. 9, e0003740.

Pedersen, U.B., Stendel, M., Midzi, N., Mduluza, T., Soko, W., Stensgaard, A.S., Vennervald, B.J., Mukaratirwa, S., Kristensen, T.K., 2014. Modelling climate change impact on the spatial distribution of fresh water snails hosting trematodes in Zimbabwe. Parasit. Vectors. 7, 536.

Prakobwong, S., Suwannatrai, A., Sancomerang, A., Chaipibool, S., Siriwechtumrong, N., 2017. A Large Scale Study of the Epidemiology and Risk Factors for the Carcinogenic Liver Fluke *Opisthorchis viverrini* in Udon Thani Province, Thailand. Asian Pac. J. Cancer Prev. 18, 2853–2860.

Prasongdee, T.K., Laoraksawong, P., Kanarkard, W., Kraiklang, R., Sathapornworachai, K., Naonongwai, S., Laummaunwai, P., Sanpool, O., Intapan, P. M., Maleewong, W., 2017. An eleven-year retrospective hospital-based study of epidemiological data regarding human strongyloidiasis in northeast Thailand. BMC. Infect. Dis. 17, 627.

Pratumchart, K., Suwannatrai, K., Sereewong, C., Thinkhamrop, K., Chaiyos, J., Boonmars, T., Suwannatrai, A.T., 2019. Ecological Niche Model based on Maximum Entropy for mapping distribution of *Bithynia siamensis goniomphalos*, first intermediate host snail of Opisthorchis viverrini in Thailand. Acta. Trop. 193, 183–191.

Rangsin, R., Mungthin, M., Taamasri, P., Mongklon, S., Aimpun, P., Naaglor, T., Leelayoova, S., 2009. Incidence and risk factors of *Opisthorchis viverrini* infections in a rural community in Thailand. Am. J. Trop. Med. Hyg. 81, 152–155.

Raso, G., Vounatsou, P., Gosoniu, L., Tanner, M., N'Goran, E.K., Utzinger, J., 2006a. Risk factors and spatial patterns of hookworm infection among schoolchildren in a rural area of western Cote d'Ivoire. Int. J. Parasitol. 36, 201–210.

Raso, G., Vounatsou, P., McManus, D.P., Utzinger, J., 2007. Bayesian risk maps for *Schistosoma mansoni* and hookworm mono-infections in a setting where both parasites co-exist. Geospat. Health. 2, 85–96.

Raso, G., Vounatsou, P., Singer, B.H., N'Goran, E.K., Tanner, M., Utzinger, J., 2006b. An integrated approach for risk profiling and spatial prediction of *Schistosoma mansoni*-hookworm coinfection. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 103, 6934–6939.

Reid, H., Haque, U., Clements, A.C., Tatem, A.J., Vallely, A., Ahmed, S.M., Islam, A., Haque, R., 2010. Mapping malaria risk in Bangladesh using Bayesian geostatistical models. Am. J. Trop. Med. Hyg. 83, 861–867.

Saenna, P., Hurst, C., Echaubard, P., Wilcox, B.A., Sripa, B., 2017. Fish sharing as a risk factor for *Opisthorchis viverrini* infection: evidence from two villages in north-eastern Thailand. Infect. Dis. Poverty. 6, 66.

Scholte, R.G., Gosoniu, L., Malone, J.B., Chammartin, F., Utzinger, J., Vounatsou, P., 2014. Predictive risk mapping of schistosomiasis in Brazil using Bayesian geostatistical models. Acta. Trop. 132, 57–63.

Scholte, R.G., Schur, N., Bavia, M.E., Carvalho, E.M., Chammartin, F., Utzinger, J., Vounatsou, P., 2013. Spatial analysis and risk mapping of soil-transmitted helminth infections in Brazil, using Bayesian geostatistical models. Geospat Health 8, 97–110.

Sithithaworn, P., Srisawangwong, T., Tesana, S., Daenseekaew, W., Sithithaworn, J., Fujimaki, Y., Ando, K., 2003. Epidemiology of *Strongyloides stercoralis* in north-east Thailand: application of the agar plate culture technique compared with the enzyme-linked immunosorbent assay. Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg. 97, 398–402.

Soares Magalhaes, R.J., Biritwum, N.K., Gyapong, J.O., Brooker, S., Zhang, Y., Blair, L., Fenwick, A., Clements, A.C., 2011. Mapping helminth co-infection and co-intensity: geostatistical prediction in ghana. PLoS. Negl. Trop. Dis. 5, e1200.

Sripa, B., Bethony, J.M., Sithithaworn, P., Kaewkes, S., Mairiang, E., Loukas, A., Mulvenna, J., Laha, T., Hotez, P.J., Brindley, P.J., 2011. Opisthorchiasis and Opisthorchis-associated cholangiocarcinoma in Thailand and Laos. Acta. Trop. 120 (Suppl 1), S158–S168.

Sripa, B., Tangkawattana, S., Laha, T., Kaewkes, S., Mallory, F.F., Smith, J.F., Wilcox, B. A., 2015. Toward integrated opisthorchiasis control in northeast Thailand: the Lawa project. Acta. Trop. 141, 361–367.

Sripa, B., Tangkawattana, S., Sangnikul, T., 2017. The Lawa model: a sustainable, integrated opisthorchiasis control program using the EcoHealth approach in the Lawa Lake region of Thailand. Parasitol. Int. 66, 346–354.

Suwannatrai, A., Pratumchart, K., Suwannatrai, K., Thinkhamrop, K., Chaiyos, J., Kim, C. S., Suwanweerakamtorn, R., Boonmars, T., Wongsaroj, T., Sripa, B., 2017. Modeling impacts of climate change on the potential distribution of the carcinogenic liver fluke, *Opisthorchis viverrini*, in Thailand. Parasitol. Res. 116, 243–250.

Suwannatrai, A., Saichua, P., Haswell, M., 2018. Epidemiology of *Opisthorchis viverrini* infection. Elsevier, USA.

Thinkhamrop, K., Khuntikeo, N., Sithithaworn, P., Thinkhamrop, W., Wangdi, K., Kelly, M.J., Suwannatrai, A.T., Gray, D.J., 2019. Repeated praziquantel treatment

and *Opisthorchis viverrini* infection: a population-based cross-sectional study in northeast Thailand. Infect. Dis. Poverty. 8, 18.
Tidman, R., Abela-Ridder, B., de Castaneda, R.R., 2021. The impact of climate change on neglected tropical diseases: a systematic review. Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg. 115, 147–168.
Upatham, E.S., Sukhapanth, N., 1980. Field studies on the bionomics of *Bithynia siamensis siamensis* and the transmission of *Opisthorchis viverrini* in Bangna, Bangkok, Thailand. Southeast. Asian. J. Trop. Med. Public. Health. 11, 355–358.
Vonghachack, Y., Odermatt, P., Taisayyavong, K., Phounsavath, S., Akkhavong, K., Sayasone, S., 2017. Transmission of *Opisthorchis viverrini*, Schistosoma mekongi and soil-transmitted helminthes on the Mekong Islands. Southern Lao PDR. Infect. Dis. Poverty. 6, 131.

Physica B 625 (2022) 413527

Contents lists available at ScienceDirect

Physica B: Physics of Condensed Matter

journal homepage: www.elsevier.com/locate/physb

Transparent thermoelectric properties of copper iodide thin films

Athorn Vora-ud [a,b,*], Kongphope Chaarmart [c], Wassana Kasemsin [c], Sarawoot Boonkirdram [c], Tosawat Seetawan [a,b]

[a] Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon, 47000, Thailand
[b] Thin Films Research Laboratory, Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon, 47000, Thailand
[c] Program of Electrical and Electronics, Faculty of Industrial Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road., Mueang District, Sakon Nakhon, 47000, Thailand

ARTICLE INFO

Keywords:
Thermoelectric thin films
Copper iodide
DC magnetron sputtering
Liquid iodination method

ABSTRACT

Copper Iodide (CuI) transparent thin films were synthesized by using the as-deposited Cu thin film dip in the Iodine (I_2) solution (1% per 100 cc.) for 15s, 30s, and 60s within the liquid iodination method. The as-deposited Cu thin films on glass slide substrates as used were prepared by a dc magnetron sputtering method from the Cu target. The microstructure, morphology, and thermoelectric properties were studied by using X-ray diffraction (XRD) techniques, scanning electron microscopy (SEM), and the ZEM-3 method, respectively. The optical property of the film samples was determined from measured transmittance using a UV–visible spectrophotometer. The optical bandgap energy is 3.0 eV and the transmittance is around 80–95% for the thin film as dipped 30s. At room temperature, the power factor of CuI thin films were 14.71, 17.49, and 17.48 μW m^{-1} K^{-2} for as dipped 15s, 30s, and 60s, respectively.

1. Introduction

Recently, copper iodide (CuI) thin films are high transparency in the visible light region and could be produced at low-temperature deposition techniques to be more applicated to CuI-based devices such as including transparent electrodes, thermoelectric devices, p–n diodes, p-channel transistors, light-emitting diodes, and solar cells [1]. Focus on thermoelectric devices, p-type transparent CuI thin films have been the large Seebeck coefficients and power factors and the low thermal conductivity as attributed to being combined effect of the heavy element iodine and strong phonon scattering [2]. It is good transparency within a wide direct bandgap ($E_g \approx 3.1$ eV) [2,3] for novel applications such as smart windows (or screens) with energy harvesting, cooling, and thermal sensing functionalities. Moreover, it is non-toxic a naturally abundant element called an environment-friendly material. For thermoelectric power and cooling applications, their performance have primarily been directed toward increasing the material figure of merit (*ZT*) as defined;

$$ZT = \frac{S^2 T}{\rho \kappa}. \quad (1)$$

where S is the Seebeck coefficient, ρ is the electrical resistivity, and κ is the total thermal conductivity, and T is the absolute temperature. Which S^2/ρ term is called thermoelectric power factor (*PF*) [4–7]. Note that, the output power density (ω) of thermoelectric devices have been directly determined by the *PF* value [8] within the temperature gradient $(T_h–T_c)/L$ and temperature difference $(T_h–T_c)$ as followed in Eq. (2) [9,10].

$$\omega = \frac{1(T_h - T_c)^2}{4L} PF \quad (2)$$

where T_h, T_c, and L are hot side temperature, cold side temperature, and the dimension of thermoelectric elements, respectively, at a long with the temperature gradient. For example, a prototype of a flexible and transparent CuI-based thermoelectric module has been reported with a high-power density of 2.4 mW cm^{-2} at $\Delta T = 50$ K [2]. Base on theoretical prediction with Boltzmann transport theory combined with first-principles calculations, a large Seebeck coefficient of CuI ($S = 237$ μV K^{-1}) within a hole concentration (μ) of 10^{20} cm^{-3} at room temperature [11]. Also, the hole conductivity (up to 44 cm^2 V^{-1} s^{-1}) and hole concentrations (10^{16}–10^{20} cm^{-3}) of CuI thin film have obtained the

* Corresponding author. Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon, 47000, Thailand.
E-mail address: athornvora-ud@snru.ac.th (A. Vora-ud).

https://doi.org/10.1016/j.physb.2021.413527
Received 18 June 2021; Received in revised form 24 September 2021; Accepted 2 November 2021
Available online 5 November 2021
0921-4526/© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.

maximum of electrical conductivity of 280 S cm^{-1} at 300 K due to the iodine-rich growth condition by contrast the energy gap of CuI is 3.1 eV [12]. Moreover, the total thermal conductivity of the CuI thin film sample has been reported to be below 0.55 W m^{-1} K^{-1} at ambient temperature [2], which is even lower than that of glass [13] and phonon–liquid material [14]. The *ZT* of the CuI films is equaled to 0.21 at 300 K [2]. Base on compared with other p-type transparent thermoelectric materials such as; $CuCrO_2$ had the *ZT* value around 0.002 [15] and $Ca_3Co_4O_9$ has reported the *ZT* value around 0.001 [16], at room temperature. Moreover, the literature reported that the output power of the CuI transparent thermoelectric module is around 8 nW at a different temperature of 10.8 K [2]. To prepare thin films of CuI, several techniques can be utilized, i.e., by vapor iodination method and solid iodination method [17] within the different CuI thin film deposition technologies using pulsed laser deposition (PLD), thermal evaporation, reactive sputtering, spin-coating, spray coating, and inkjet printing, etc. [1] Base on CuI thin films preparation, should be synthesized with a simple and environmentally friendly method. Recently, Wang et al. (2019) have been reported a simple method of CuI thin film grown by simply dipping copper films into iodine solution at room temperature [18]. The results showed that the CuI films exhibited a high transmission of 73% and electrical resistivity of 0.02 Ω cm to be obtained the large-area p-type transparent conductive.

In this work, we synthesized the CuI transparent thin films on glass slide substrates by using the Cu thin film as deposited within a dc magnetron sputtering method. As-deposited Cu thin films were dipped in I_2 solution to grow CuI thin films by liquid iodinate processing. The microstructure, morphology, composition, optical and thermoelectric properties of CuI thin films were studied and reported.

2. Experimental detail

Cu thin film samples were deposited onto soda-lime glass substrates using a DC magnetron sputtering system from the Cu target (99.99% purity, Kurt J. Lesker Company) within a diameter of 76.20 mm and thickness of 6.35 mm. All substrates were cleaned by an ultrasonic washer with acetone, methanol, and finally deionized water each for 15 min. The Cu thin film deposition conditions are composed of the base pressure below 9.8 × 10^{-4} Pa, the Ar flow rate of 30 sccm, working pressure about 2.67 Pa, and sputtering power of Cu target at 50 W. The deposition time fixed at 5 min to be controlled the Cu film thickness of 200 nm. Then, Cu thin film as deposited was dipped in the Iodine (I_2) solution (1% per 100 cc.) for 15s, 30s, and 60s based on liquid iodinate processing and then dried with a hot air blower. This method has been claimed to simply and environmentally friendly method [18]. The processing of CuI thin film synthesis and characterization were showed in Fig. 1. Microstructure structure, morphology, composition, and optical properties of CuI thin films were studied by X-ray diffractometer (XRD; XRD6100, Shimadzu), field emission scanning electron microscope (FESEM; SU8030, Hitachi), and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX; SU8030, Hitachi), and UV–visible spectroscopy (UV-5200, Metash), respectively. Finally, the electrical resistivity and Seebeck coefficient at room temperature of CuI thin films were measured by the ZEM-3 method (ZEM-3, Advance Riko) within the Ar atmosphere. The ZEM-3 method is Seebeck coefficient/electric resistance measurement system. Seebeck coefficient is measured by measuring the upper and lower temperatures T_1 (cold side) and T_2 (hot side) with the thermocouples pressed against the side of the sample, followed by measurement of thermal electromotive force (EMF) between the same wires on one side of the thermocouple within the temperature gradient as defined by Ref. [19]:

$$S = -\frac{\Delta V}{\Delta T} \tag{3}$$

where ΔV is electromotive force difference voltage and ΔT is difference temperature ($T_2 - T_1$). Electric resistance is measured by the dc four-terminal method, in which a constant current (I) is applied to both ends of the sample to measure and determine voltage (V) between the same wires of the thermocouple by subtracting the thermo-electromotive force between leads as followed by:

$$\sigma = \frac{(l \times I)}{(w \times t \times V)} \tag{4}$$

where l, w, and t are the sample length, the sample width, and the thin film's thickness, respectively. The ZEM-3 method for thin film measurement has been carried by using the samples with a size of 3.0 × 15.0 mm^2 loaded onto the thin film attachment as described following by Ref. [20].

3. Results and discussion

Fig. 2 shows the microstructure of Cu thin films as-deposited and CuI thin film as obtained by Cu thin film dip in I_2 solution for 15, 30, and 60s. As-deposited Cu thin film was showed the phase of Cu at (111) plan corresponding with PDF#41–0254. While the CuI thin films were showed the phase of CuI at (111), (200), (220), (311), and (222) planes corresponding with PDF#06–0246 to be confirmed cubic structure of CuI material. This result demonstrated that the sputtering technique could be produced the CuI thin films at low cost within attributed to the decadent element iodine to Cu thin film. The mean crystalline size (D) was calculated by using Scherrer's equation as defined by Ref. [21]:

$$D = \frac{0.9\lambda_{Cu}}{\beta \cos\theta}. \tag{5}$$

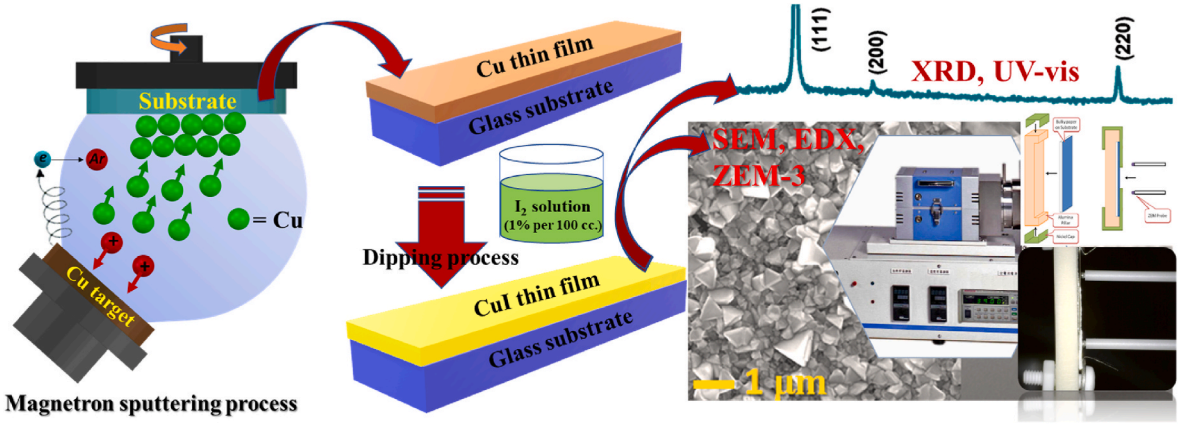


Fig. 1. Process of CuI thin film synthesis and characterization.

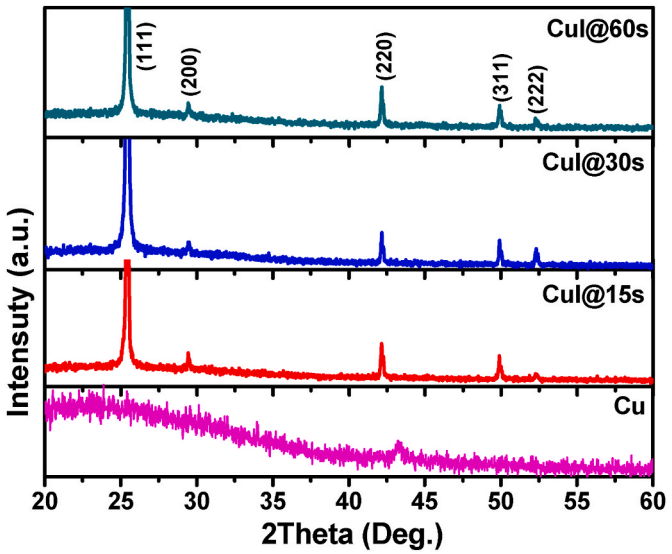


Fig. 2. XRD results of Cu thin film and CuI thin film after Cu thin film dipped in I_2 solution for 15s, 30s, and 60s.

where β, λ_{Cu}, and θ are the full width at half maximum (FWHM), a wavelength of Cu radiation (1.54184 Å), and position of diffraction peak, respectively. The calculation result of mean crystalline size demonstrated the same value of around 65 nm due to the FWHM all same and nearly position of diffraction peak of 2θ; 25.43°, 25.45°, and 25.44° for 15s, 30s, and 60s, respectively.

Fig. 3 shows the SEM images of the morphology in microscale and nanoscale and cross-section of CuI thin film after dipping in I_2 solution for (a) 15s, (b) 30s, and (c) 60s. The surface morphology of CuI thin film samples displayed the crystallite growth depend on the time dipped in iodine solution. The grain sizes of CuI thin films after a dip in I_2 solution have been composed of small to large sizes (65 nm–700 nm) to be distributed on thin film surface. The smallest grain sizes of CuI thin films have corresponded to the mean crystalline size while the largest grain sizes of CuI thin films have tended to increase with dipping time increasing. Moreover, the grain boundary or the interface between grains, where two crystals having different orientations meet without a disruption in the continuity of the material [22]. Focus on Fig. 3 (b) of the SEM image enlarged the grain boundary of CuI thin film after dipping in I_2 solution for 30s to be indicated the compact of grain boundary more than other samples. The grain boundary has been contributed to the total resistivity (ρ) as defined by Ref. [23]:

$$\rho = \rho_{bulk} + \rho_{GB} \tag{6}$$

where ρ_{bulk} is the resistivity of the defect-free state with large grains and ρ_{GB} is the total grain boundary resistivity as contributed from the grain boundary surface area per unit volume. In addition, the grain boundaries could be affected to scatter the phonons to be changed the thermal conduction properties of the product [24]. On the other hand, the film thickness was estimated from the SEM cross-section of the thin film to be slightly decreasing from 195 nm to 175 nm for CuI thin film after dipping in I_2 solution 15s–60s. This result was especially important to be used for the optical and electrical properties of thin films, which are mentioned in the next sections.

Fig. 4 shows the EDS spectra for analyzing the atomic composition of CuI thin film after dipping in I_2 solution for (a) 15s, (b) 30s, and (c) 60s, concluding atomic mapping to be covered Cu and I atoms. The EDS results demonstrated that the time of I_2 solution dipping has been affected to the atomic ratio between Cu and I atoms. Which the ratio of I atom will be increased with the time of I_2 solution dipping increasing to 30 s. The atomic ratio between Cu and I atoms were showed 0.44 : 0.56, 0.43 : 0.57, and 0.43 : 0.57 (Cu: I) for CuI thin film after dipping in I_2 solution 15s, 30s, and 60s, respectively. The optical properties of CuI thin film as-dipped in iodine solution for 30s were investigated by UV–visible technique with the wavelength in the range of 300–1100 nm, as shown in Fig. 5. The results showed that the transmittance was around 80–95% agreeing well with the literature data [2,3]. Moreover, the optical band gap energy of 3.0 eV as estimated with Tauc plot equation [25] as followed;

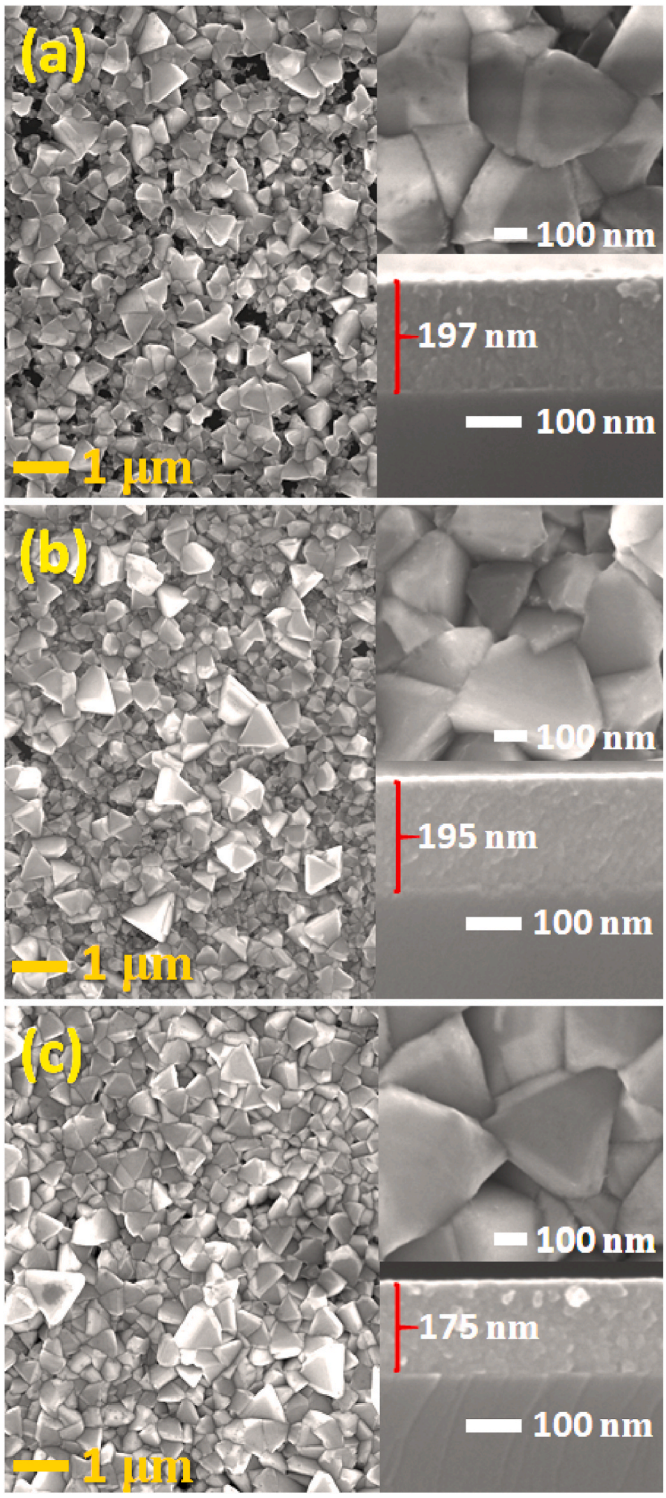


Fig. 3. SEM morphology and cross-section images of CuI thin film after dipping processing in I_2 solution for (a) 15s, (b) 30s, and (c) 60s.

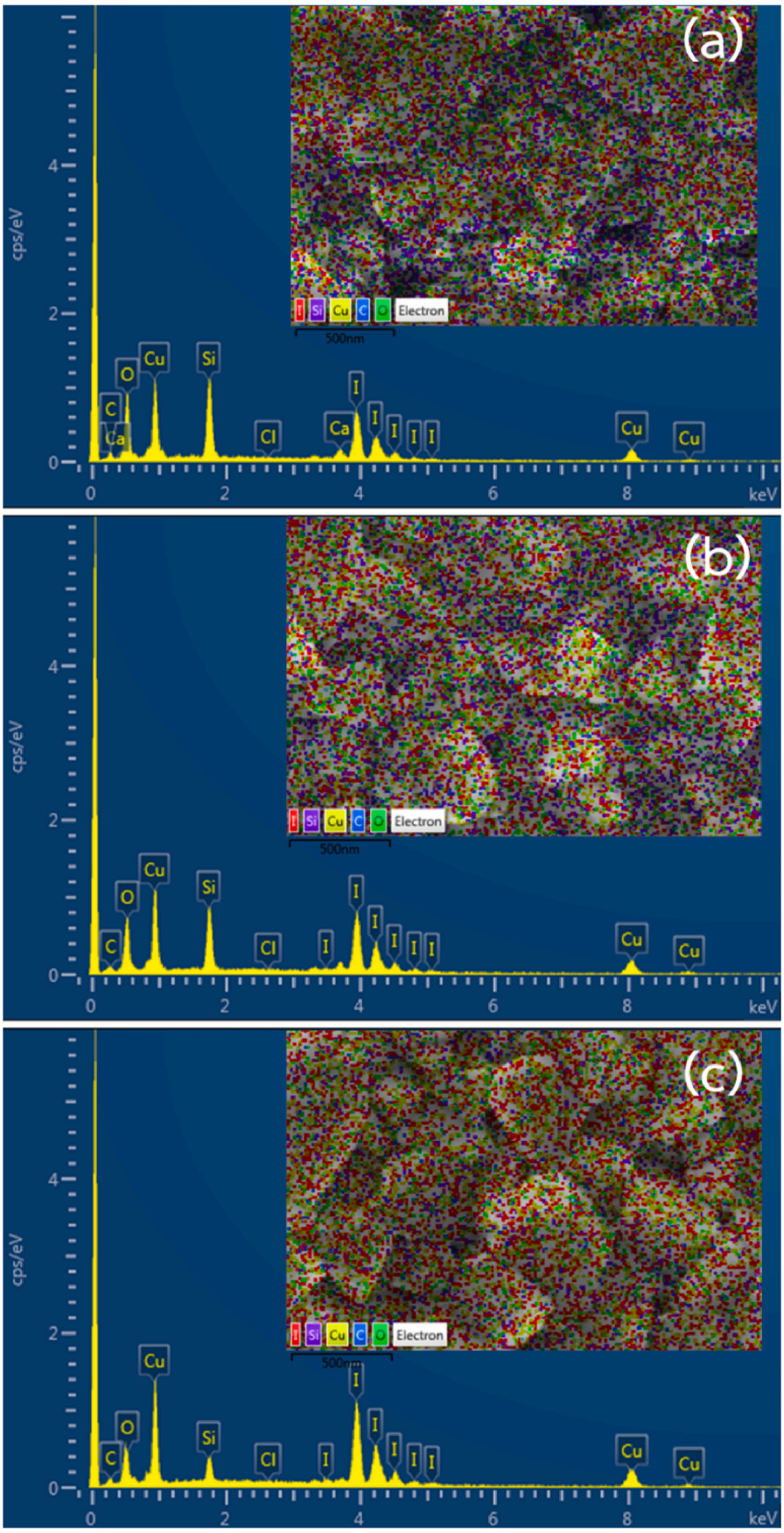


Fig. 4. EDS spectra and atomic mapping images of CuI thin film after dipping processing in I_2 solution for (a) 15s, (b) 30s, and (c) 60s.

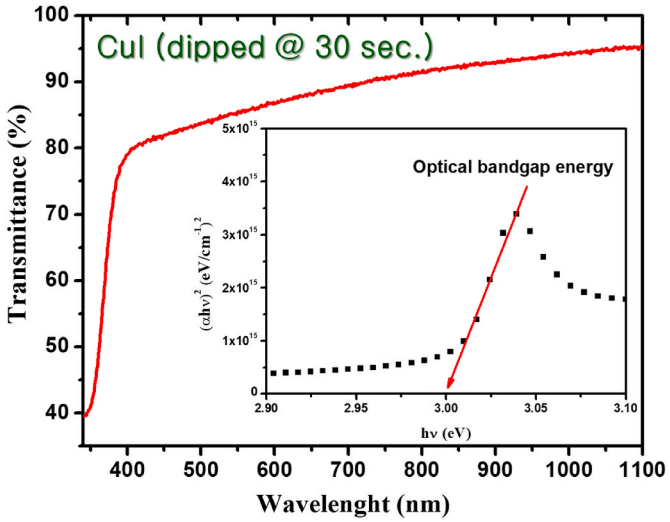


Fig. 5. Percent transmittance and Tauc plot (insert) of CuI thin film after dipping processing in I_2 solution for 30s.

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^m \quad (7)$$

where α, $h\nu$, B, and m are the optical absorption coefficient, the photon energy, constant, and for a direct band transition, respectively. The relationship between $(\alpha\ h\nu)^2$ and $h\nu$ were inserted in Fig. 5 to be indicated the optical band gap energy of CuI thin film.

The thermoelectric properties of CuI thin film after dipping in I_2 solution for 15s, 30s, and 60s were measured by the ZEM-3 method at room temperature as illustrated in Table 1. From Table 1, the results composed of electrical resistivity, Seebeck coefficient, and power factor of CuI thin film after dipping in I_2 solution to be indicated the p-type thermoelectricity. The lowest electrical resistivity was around 3.0×10^{-3} Ω m for the CuI thin film after dipping in I_2 solution of 30s. Base on the comparison of resistivity of CuI films with grown by various methods as concluded in Table 2 [18,26,27]. Seebeck coefficient and the power factor of the thin film were increased with the time dipped in iodine solution increasing. The highest Seebeck coefficient was around 308 μV K^{-1} m for the CuI thin film after dipping in I_2 solution of 60s corresponding to Ref. [28], which was reported in the theoretical calculation up to 400 μV K^{-1} and then depended on the carrier concentration. At room temperature, the power factor of CuI thin film was 14.71, 17.49, and 17.48 μW m^{-1} K^{-2} for time dipping in I_2 solution of 15s, 30s, and 60s, respectively.

4. Conclusion

The non-toxicity CuI thin films have been synthesized on glass slide substrates through the liquid iodination process by using Cu thin film dip in I_2 solution. The several grain sizes were arranged onto the surface of CuI thin films. The film thickness was slightly decreased with dipping time increasing. The CuI thin film applications showed transparent and thermoelectric properties. The dipping time in I_2 solution of 30s had a power factor of around 17 μW m^{-1} K^{-2} and the transmittance around 80–95% at room temperature.

Credit author statement

A. Vora-ud, K. Cha-ar-mart, W. Kasemsin, S. Boonkirdram and T. Seetawan designed this experiments and the experiments were carried out by A. Vora-ud. A. Vora-ud and K. Cha-ar-mart have analyzed the results and discussed the manuscript during the preparation. All authors discussed the results and implications and commented on the manuscript at all.

Table 1
Seebeck coefficient, electrical resistivity, and power factor values of CuI thin film after dipping processing in I_2 solution for 15s, 30s, and 60s.

Samples	ρ (mΩ m)	S (μV K^{-1})	PF (μW m^{-1} K^{-1})
15s	4.77	265	14.70
30s	3.11	233	17.50
60s	5.44	308	17.50

Table 2
Comparison of electrical resistivity of CuI films as prepared with various methods.

Methods	Sputtering + Dipping (Liquid Iodination)	Evaporation + Dipping (Liquid Iodination)	Vapor iodization	Spin coating
Resistivity (Ω m)	3.0×10^{-3} (this work)	2.0×10^{-4} [18]	2.0×10^{-3} [26]	3.0×10^{-3} [27]

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

This work has partially been supported by the Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University, Thailand (Grant number: 1/2019).

References

[1] A. Liu, H. Zhu, M.G. Kim, J. Kim, Y.Y. Noh, Adv. Sci. (2021), 2100546.
[2] C. Yang, D. Souchay, M. Knei, M. Bogner, H.M. Wei, M. Lorenz, O. Oeckler, G. Benstetter, Y.Q. Fu, Nat. Commun. 8 (2017), 16076.
[3] M. Grundmann, F.L. Schein, M. Lorenz, T. Böntgen, J. Lenzner, H. Wenckstern, Phys. Status Solidi 210 (2013) 1671–1703.
[4] J. Kim, J.Y. Lee, J.H. Lim, N.V. Myung, Electrochim. Acta 196 (2016) 579–586.
[5] B.K. Min, B.S. Kim, M.W. Oh, B.K. Ryu, J.E. Lee, S.J. Joo, S.D. Park, H.W. Lee, H. S. Lee, J. Kor. Phys. Soc. 68 (2016) 164–169.
[6] S.N. Zhang, T.J. Zhu, S.H. Yang, C. Yu, X.B. Zhao, Acta Mater. 58 (2010) 4160–4169.
[7] T. Su, X. Jia, H. Ma, L. Zhou, J. Guo, N. Dong, Phys. Lett. 372 (2008) 515–518.
[8] J. Cha, C. Zhou, S.P. Cho, S.H. Park, I. Chung, ACS Appl. Mater. Interfaces 11 (2019) 30999–31008.
[9] D. Narducci, Appl. Phys. Lett. 99 (2011), 102104.
[10] W. Liu, H.S. Kim, S. Chen, Q. Jie, B. Lv, M. Yao, Z. Ren, C.P. Opeil, S. Wilson, C.-W. Chu, Z. Ren, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 112 (2015) 3269–3274.
[11] M.K. Yadav, B. Sanyal, Mater. Res. Express 1 (2014), 015708.
[12] C. Yang, M. Kneib, M. Lorenz, M. Grundmann, Proc. Natl. Acad. Sci. Unit. States Am. 113 (2016) 12929–12933.
[13] R.W. Powell, C.Y. Ho, P.E. Liley, Thermal Conductivity of Selected Materials, 1966. No. NSRDS-NBS-8.
[14] H. Liu, X. Shi, F. Xu, L. Zhang, W. Zhang, L. Chen, Q. Li, C. Uher, T. Day, G. J. Snyder, Copper ion liquid-like thermoelectrics, Nat. Mater. 11 (2012) 422–425.
[15] K. Hayashi, K.I. Sato, T. Nozaki, T. Kajitani, Jpn. J. Appl. Phys. 47 (2008) 59–63.
[16] R. Funahashi, S. Urata, T. Sano, M. Kitawaki, J. Mater. Res. 18 (2003) 1646–1651.
[17] N. Yamada, R. Ino, Y. Ninomiya, Chem. Mater. 28 (2016), 4971.
[18] M. Wang, H. Wei, Y. Wu, C. Yang, P. Han, F. Juan, Y. Chen, F. Xu, B. Cao, Phys. B Condens. Matter 573 (2019) 45–48.
[19] A. Vora-ud, M. Kumar, S.B. Jin, P. Muthitamongkol, M. Horprathum, S. Thaowonkaew, W. Chao-moo, C. Thanachayanont, P.B. Thang, T. Seetawan, J. G. Han, J. Alloys Compd. 763 (2018) 430–435.
[20] A. Vora–ud, S. Thaowonkaew, J. Khajonrit, K. Singsoog, P. Muthitamongkol, C. Chananonnawathorn, N. Chanlek, M. Horprathum, S. Maensiri, T. Seetawan, Thin Solid Films 706 (2020), 138094.
[21] S.K. Wang, T.C. Lin, S.R. Jian, J.Y. Juang, J.S.C. Jang, J.Y. Tseng, Appl. Surf. Sci. 258 (2011) 1261–1266.
[22] J.P. Hirth, J. Lothe, Theory of Dislocations, McGraw-Hill, Inc., New York/St. Louis/San Francisco/Toronto/London/Syndey, 1968.
[23] I. Bakonyi, V.A. Isnaini, T. Kolonits, Zs Czigány, J. Gubicza, L.K. Varga, E. TóthKádár, L. Pogány, L. Péter, H. Ebert, Phil. Mag. 99 (2019), 1139.

[24] H. Peer-Mohammadi, A. Rajabpour, M. Khanaki, Grain size facilitating the heat transfer between graphene and silica substrate, Comput. Mater. Sci. 149 (2018) 348–353.
[25] J. Tauc, R. Grigorovici, A. Vancu, Phys. Status Solidi B 15 (1966) 627–637.
[26] F.L. Schein, H.V. Wenckstern, M. Grundmann, Appl. Phys. Lett. 102 (2013), 092109.
[27] S. Inudo, M. Miyake, T. Hirato, Phys. Status Solidi 210 (2013) 2395–2398.
[28] M.K. Yadav, B. Sanyal, Mater. Res. Express 1 (2014), 015708.

Ceramics International 48 (2022) 2605–2613

Contents lists available at ScienceDirect

Ceramics International

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ceramint

Relaxation of residual stress-controlled thermopower factor in transparent-flexible Ti-doped ZnO thin films

Dai Cao Truong [a,b], Somporn Thaowonkaew [c,d], Pennapa Muthitamongkol [e], Mati Horprathum [f], Manish Kumar [g], Thu Bao Nguyen Le [b,h], Anh Tuan Thanh Pham [b,i], Tosawat Seetawan [c,d], Athorn Vora-ud [c,d,*], Thang Bach Phan [a,b,**]

[a] Center for Innovation Materials and Architectures (INOMAR), Ho Chi Minh City, Viet Nam
[b] Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Viet Nam
[c] Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon, 47000, Thailand
[d] Thin Films Research Laboratory, Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon, 47000, Thailand
[e] National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency, Pathumthani, 12120, Thailand
[f] National Electronics and Computer Technology Center, 114 Thailand Science Park, Paholyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani, 12120, Thailand
[g] Centre for Advanced Materials, Organisation for Science Innovations and Research, RS Science Park, Bah, 283104, India
[h] Department of Mathematics and Physics, University of Information Technology, Ho Chi Minh City, Viet Nam
[i] Laboratory of Advanced Materials, University of Science, Ho Chi Minh City, Viet Nam

ARTICLE INFO

Keywords:
Ti-doped ZnO thin Films
Flexible-transparent thermoelectric
Residual stress
Thermopower factor
Post-thermal treatment

ABSTRACT

Transparent-flexible thermoelectric materials are attractive for future small-sized consumer electronics, the internet of things, and wearable devices. The microstructural evolution and subsequent thermoelectric properties of Ti 1%.at-doped ZnO thin films, grown on polyimide flexible substrates, are presented. The thin films were grown using radio frequency a magnetron sputtering method followed by annealing for 60 min at temperatures of 200–400 °C under vacuum atmosphere. Post-annealed films demonstrate a hexagonal Wurtize structure. It is found that the annealing helped to relax residual stresses in the thin films, subsequently leading to enhanced charge concentration, carrier mobility, mean free path, and density-of-states effective mass. The thin film, annealed at 300 °C, illustrates the highest power factor of the films measured at room temperature at 19.10 μW m^{-1} K^{-2}. Further increases in the annealing temperature suggest Ti^{2+} diffuses into the ZnO lattice and in turn disturbs the crystalline structure; this results in a reduction of the power factor to 9.32 μW m^{-1} K^{-2} at an annealing temperature of 350 °C.

1. Introduction

Recently, transparent and flexible thermoelectric materials have attracted attention for future technologies comprising small-sized consumer electronics, internet-of-things, and wearable devices [1]. Metal oxide semiconductors are transparent thermoelectric materials when developed as thin films [2,3]; this is especially characteristic of n-type Zn–O-based semiconductors [4,5]. Thermoelectric microdevices transport thermal energy into electronics across a temperature differential, which is a low-cost renewable source of energy. The resulting power can supply enough energy to operate low-energy sensors or transport signal systems [6]. Du et al. [7] manufactured flexible thermoelectric generators (TEGs) between the human body (which usually has a temperature of 37 °C) and the surrounding environment. However, wide band-gap materials have been reported to possess high transparency but low thermoelectric performance due to a high electrical resistivity. For thermoelectric energy generation and cooling applications, their performance is primarily directed toward increasing the material figure of merit (*ZT*), defined as

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{\kappa} \quad (1)$$

* Corresponding author. Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon, 47000, Thailand.
** Corresponding author. Center for Innovation Materials and Architectures (INOMAR), Ho Chi Minh City, Viet Nam.
E-mail addresses: athornvora-ud@snru.ac.th (A. Vora-ud), pbthang@inomar.edu.vn (T.B. Phan).

https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.10.043
Received 10 August 2021; Received in revised form 5 October 2021; Accepted 6 October 2021
Available online 12 October 2021
0272-8842/© 2021 Elsevier Ltd and Techna Group S.r.l. All rights reserved.

Table 1
Conditions of TZO thin film preparation.

Base pressure (Pa)	5.0×10^{-5}
Operating pressure (Pa)	0.5
Ar flow rate (sccm)	40
Radio frequency power (W)	100
Deposition time (s)/Temperature (°C)	30/RT
Substrates	Polyimide
Annealing temperature (°C)	200, 250, 300, 350, 400
Annealing time (min)	60

where, S is the Seebeck coefficient, σ is the electrical conductivity, T is the absolute temperature, and κ is the total thermal conductivity. The $S^2\sigma$ term is called the thermoelectric power factor (PF) [8–10], and it expresses the output power of thermoelectric devices. For example, previous work has shown that thin-film thermoelectric materials with a telluride alloy base have high power factors [8–10]. However, thermoelectric thin films deposited on organic substrates have many other advantages, such as flexibility, portability, and environmental decomposition [6,11,12]. Recently, TEGs developed in the literature have included completely organic [7] or inorganic/organic hybrids [13]. Ideally, for TEGs to have wider commercial applications, such devices must be developed to have a high PF and stability at high temperatures, while also maintaining their elastic properties.

ZnO is a promising inorganic material for TEG development because it has many benefits, including massive reserves in nature, transparency, and stability at high temperatures. The electrical resistivity of ZnO is high, but it can be reduced by doping with Al [4], Sn [14], Ga [15], Ga and In (dual doping) [5], and other IIIA transition metal ions [16,17]. On the other hand, when a dopant ion has a smaller radius than Zn^{2+}—which is the case for Al^{3+} (0.53 nm) and Ga^{+3} (0.62 nm)—the structure is loaded to have compressive stress, which improves the thermoelectric performance [19–21].

Considering the similar radii of Ti^{4+} and Zn^{2+} (0.68 nm and 0.74 nm, respectively), Ti^{4+} is an appropriate choice as a Zn^{2+} substitute to create free electrons and enhance carrier mobility [18]. Since Ti has multivalence ion states, the Ti dopant can induce various point defects which also influence the thermoelectric performance of the ZnO materials. In addition, the thermoelectric properties of flexible film materials strongly depend on residual stresses due to the degradation of the flexible substrate at high temperatures.

Herein, we present the relaxation of the residual stress-controlled thermopower factor in transparent-flexible Ti-doped ZnO thin films (TZO). Heat treatment reduces the compressive stress in thin-film structures by reducing the bond length of Zn and O; this in turn strongly enhances the density of the state's effective mass. Accordingly, the PF of TZO films annealed at 300 °C is found to be maximized because of the combination of optimum electrical conductivity and the Seebeck coefficient. At higher temperatures, tensile stress is induced. Furthermore, Ti^{2+} substitution by Zn^{2+} improves, resulting in a decrease in charge concentration, carrier mobility, and the Seebeck coefficient. Durable polymer flexible substrates are not found at 400 °C; as a consequence, PF is strongly reduced beyond this temperature.

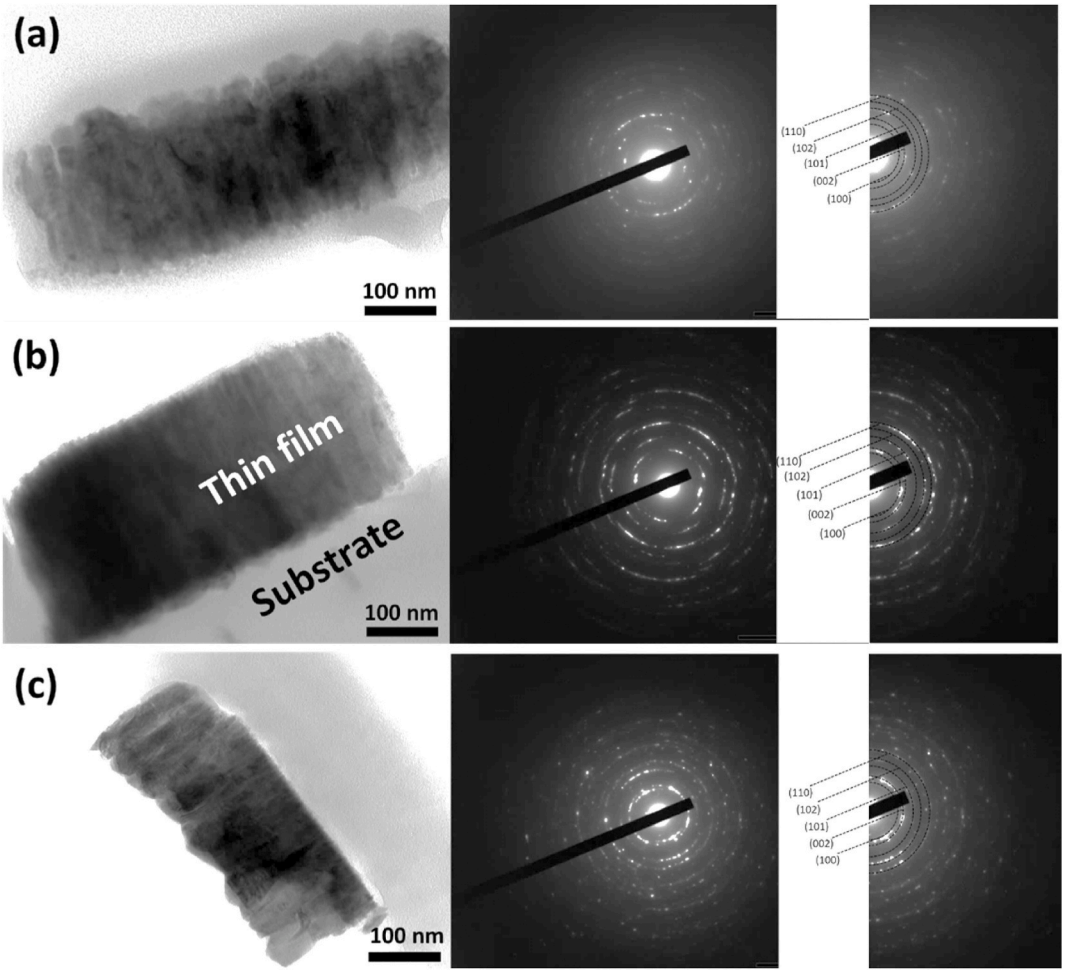


Fig. 1. TEM images and SAED patterns of TZO thin films on polyimide flexible substrates with various annealing temperatures: (a) 200 °C (TZO200), (b) 300 °C (TZO300), and (c) 400 °C (TZO400).

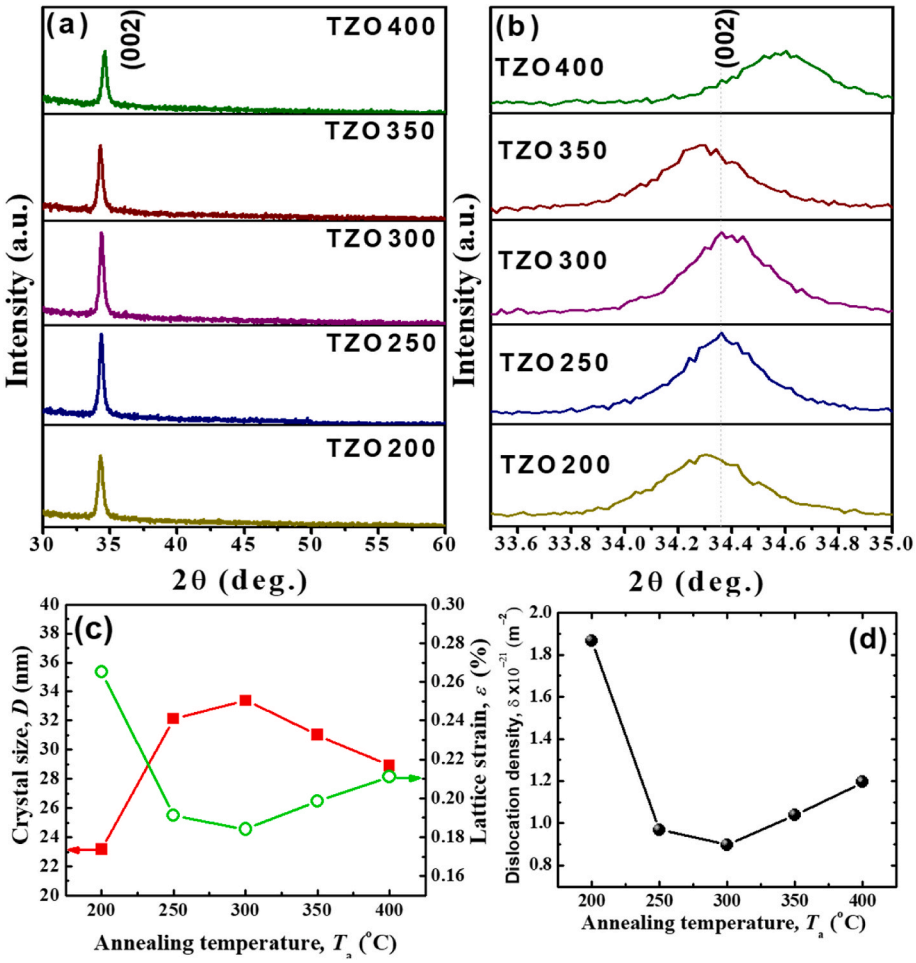


Fig. 2. Crystallography analysis of the TZO thin films grown on polyimide flexible substrates as a function of annealing temperature: 200 °C (TZO200), 250 °C (TZO250), 300 °C (TZO300), 350 °C (TZO350), and 400 °C (TZO400). The panels show (a) XRD patterns, (b) the enlarged (002) XRD peak, (c) the crystal size and lattice strain, and (d) dislocation density.

2. Material and methods

TZO thin films were deposited on polyimide flexible substrates (500 μm thick) by radio frequency (RF) magnetron sputtering from the Ti 1%. at-doped ZnO target, which was 3.0 inches in diameter and 0.25 inches thick [22]. The deposition conditions are reported in Table 1. Before deposition, the base high vacuum pressure was measured to be under 5.0×10^{-5} Pa, and the working pressure for the thin film deposition was fixed at 0.5 Pa by adjusting the Ar gas flow rate to 40 sccm. The distance and angle from the target to the substrate holder were 100 mm and 40°, respectively. RF power, deposition time, and substrate holder rotation were fixed at 100 W, 30 min, and 30 rpm, respectively, to control the film thickness of around 200 nm. After deposition, the as-deposited thin films were separated to be annealed for 60 min each at temperatures of 200, 250, 300, 350, and 400 °C, which were produced under vacuum by infrared lamp heating (Mila5000, Advanced Riko). The rate of heat increase from room temperature to all annealing temperatures was fixed to increase in 1 min steps. The resulting samples are designated TZO200, TZO250, TZO300, TZO350, and TZO400, with the numbers representing the annealing temperature of the sample.

The microstructure and composition mapping of the thin films were carried out using a high-resolution transmission electron microscope (HR-TEM; JEM-2100Plus, JEOL) with 200 kV acceleration. For TEM sample preparation, the TZO films were embedded in a resin and then cut with a Leica Ultracut UCT Ultra-microtome equipped with a diamond knife to have thicknesses of 70 nm. The samples were placed in a 200 mesh copper grid. Phase identification of the thin films was completed with an X-ray diffractometer (XRD6100, Shimadzu) using a Cu source at 40 kV and 40 mA in the conventional θ-2θ mode between 30° and 60° in 0.02° steps and a scanning rate of 8°/min. The morphology and atomic composition were examined by scanning electron microscopy (SEM; acceleration voltage of 5.0 kV) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS; acceleration voltage of 10.0 kV) (SU8030, Hitachi), respectively. All samples were treated by an Ar plasma cleaning process for 30 s to remove contaminates on the thin film surface before the SEM and EDS analyses. The Hall effect was measured at room temperature under a magnetic B-field strength of 0.55 T with a four-probe configuration using the van der Pauw method (HMS-3000, Ecopia). The Seebeck coefficient and electrical resistivity were measured with a ZEM-3 instrument (ZEM-3, Advance Riko) at room temperature.

3. Results and discussion

Fig. 1 shows the TEM images and selected area electron diffraction (SAED) patterns of the TZO thin film annealed at different temperatures. The TEM images of the TZO thin films, which were recorded in cross-section mode, demonstrate different micro-structures across the varying annealing temperatures. Fig. 1(a) shows that the TZO film has a porous structure where the column diameter is small when post-annealing is carried out at 200 °C. The TZO300 sample demonstrates a denser, closely packed column, and it contains grains that are strongly bonded with each other, as shown in Fig. 1(b). It is evident that the

Table 2
2$\theta$and residual stress of TZO at different annealing temperatures.

Samples	2θ (°)	ε r(GPa)
TZ200	34.30	- 0.695
TZ250	34.36	- 0.310
TZ300	34.37	- 0.246
TZ350	34.28	- 0.824
TZ400	34.61	+1.280

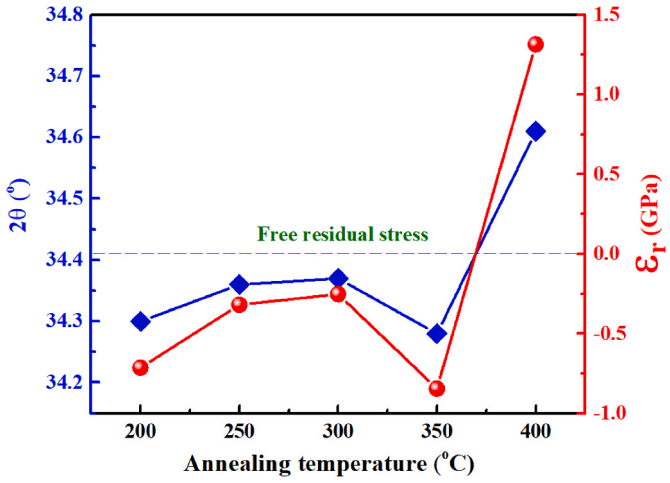


Fig. 3. 2$\theta$and residual stress of TZO at different annealing temperatures.

TZO300 sample crystallized better than the TZO200 because the Zn, Ti, and O atoms were diffused into more suitable locations in the TZO300. Further, the TZO400 column contains grains that are larger than those of the TZO300, but the TZO400 grains are not well-bonded with the substrate due to the thermal expansion coefficient of the organic substrate resulting in fractures at the substrate-grain interface. The SAED patterns confirm that the annealed TZO thin films have poly-crystalline hexagonal structures with prominent (100), (002), (101), (102), and (110) planes.

Fig. 2(a and b) illustrates the XRD patterns of the TZO thin films as a function of annealing temperature. The XRD patterns show that all of the thin films have a prominent diffraction peak around 34.30°, which is due to the (002) c-axis orientation of the hexagonal Wurtzite structure (JCPDS No.36-1451). A similar peak position has been previously reported in the case of TZO films grown on polyimide flexible substrates [23]. No peak related to titanium or its secondary phases is found, which eliminates the possibility of Ti^{4+} in the ZnO lattice. None of the planes observed in the SAED patterns were seen in the XRD patterns, which can be explained by differences in the detectors used in the SAED and XRD methods; specifically, the SAED method observes only the position, whereas XRD detects the peak position and intensity of diffracted X-rays from the orientation of the crystalline planes. Hence some peaks with low intensities–for example (100), (101), (102), and (110)–cannot be observed in XRD pattern, and their diffraction peaks are blended with the baseline because the intensity of the dominant (002) peak is quite strong. ZnO thin films on amorphous glass usually develop polycrystalline structures because the abundance of nucleation sites initiates random orientations on non-epitaxial substrates such as polymer-flexible glass substrates [24]. This explains the polycrystalline structure of the thin films in the present work.

The mean crystalline size (D) was calculated using Scherrer's equation [25]:

$$D = \frac{0.9\lambda_{Cu}}{\beta \cos\theta} \tag{2}$$

where λ_{Cu}, β, and θ are the Cu radiation wavelength (1.54184 Å), full width at half maximum (FWHM), and position of the diffraction peak, respectively. To gain a more detailed perspective of the TZO thin film microstructure, the dislocation density (δ) and the lattice strain (ε) in the c-axis was calculated using Equations (3) and (4) [26].

$$\delta = \frac{1}{D^2} \tag{3}$$

$$\varepsilon = \frac{\beta}{4\tan\theta} \tag{4}$$

Fig. 2(c) and (d) illustrate the variation in the D and δ values as a function of annealing temperature. It is evident from the D value for TZO200 is 15 nm; this value increases to 30.00 nm and 32.00 nm for TZO250 and TZO300, respectively, before decreasing to 30.0 nm and 27.5 nm for TZO350 and TZO400, respectively. Through post-thermal treatment, atoms acquire more energy to migrate to a minimum energy location that relaxes any strains in the film structure [23]. Accordingly, the crystal size develops, and the dislocation density decreases substantially by about a factor of two from 1.90×10^{-21} m^{-2} for TZO200 to 0.9×10^{-21} m^{-2} for TZO300. Since the grain boundary is one of the defects that reduce the crystalline quality of the (002) orientation, the intensity of the TZO300 diffraction peak is found to have a greater magnitude than the other samples. The lattice strain, which depicts information related to crystallinity imperfections such as dislocation defects, is another important quality for understanding the microstructure of thin films. The TZO lattice strain is 0.27% in TZO200, 0.18% in TZO300, and 0.21% in TZO400. The initial reduction in the lattice strain can be explained by the heat treatment at 300 °C under vacuum supporting the relaxation process in the internal TZO structure and reducing the dislocation density. Conversely, an annealing temperature in the 350–400 °C range induces Ti^{2+} impact and affects the stability of the flexible substrate.

The residual stress of the c-axis was defined as [21].

$$\varepsilon_r = \frac{2C_{13}^2 - C_{33}(C_{11}+C_{12})}{2C_{13}} \times \frac{c_f - c_o}{c_o} \tag{5}$$

where the Cij terms are the elastic stiffness constants for the ZnO material (C_{11} = 208.8 GPa and C_{33} = 213.8 GPa, C_{12} = 119.7 GPa, and C_{13} = 104.2 GPa); $c_f = \lambda/\sin\theta$, which is the distance of the (002) lattice planes of the TZO thin films; and the constant c_o = 0.52066 nm is the lattice parameter for ZnO powder (free residual stress). The results are shown in Table 2 and Fig. 3.

Fig. 3 illustrates 2$\theta$and the residual stress of the TZO thin films. The calculated stress values show that the films annealed between 200 °C and 350 °C are under compressive stress (−0.695, −0.310, −0.246, and −0.824 GPa for TZO200, TZO250, TZO300, and TZO350, respectively), whereas the film annealed at 400 °C is under tensile stress (+1.280 GPa). The different residual stresses and crystal sizes reveal the effect of the Ti dopant and annealing temperature on the host ZnO film structure.

The transition from compressive stress to tensile stress above 350 °C might originate from the presence and incorporation of Ti^{2+} and Ti^{4+} into the ZnO host lattice. Liu et al. suggested impurities comprising Ti^{4+} and Ti^{2+} co-exist in thin films [1]. Lin et al. reported that TZO thin-films include TiO and TiO_2 components and that their relative strengths change slightly when the deposition temperature is varied during sputtering [27]. Naturally, titanium as a transition metal gets two valence ions, namely Ti^{2+} and Ti^{4+}. These ions have radii of 0.094 nm and 0.068 nm, respectively, whereas the radius of Zn^{2+} is 0.074 nm [28]. While Ti^{4+} can be easily incorporated into the Zn^{2+} lattice, Ti^{2+} prefers an interstitial position because the ion radius of Ti^{2+} is larger than that of Zn^{2+}. Since the average diameter of the Ti^{4+} cation is 8.1% smaller than that of Zn^{2+}, Ti^{4+} replaces or moves into the ZnO lattice rapidly. On the other hand, Ti^{2+} is significantly bigger, with a 34.4% larger diameter, than Zn^{2+}. Therefore, Ti^{4+} and Ti^{2+} have a high probability of distribution at the grain boundary when the films are

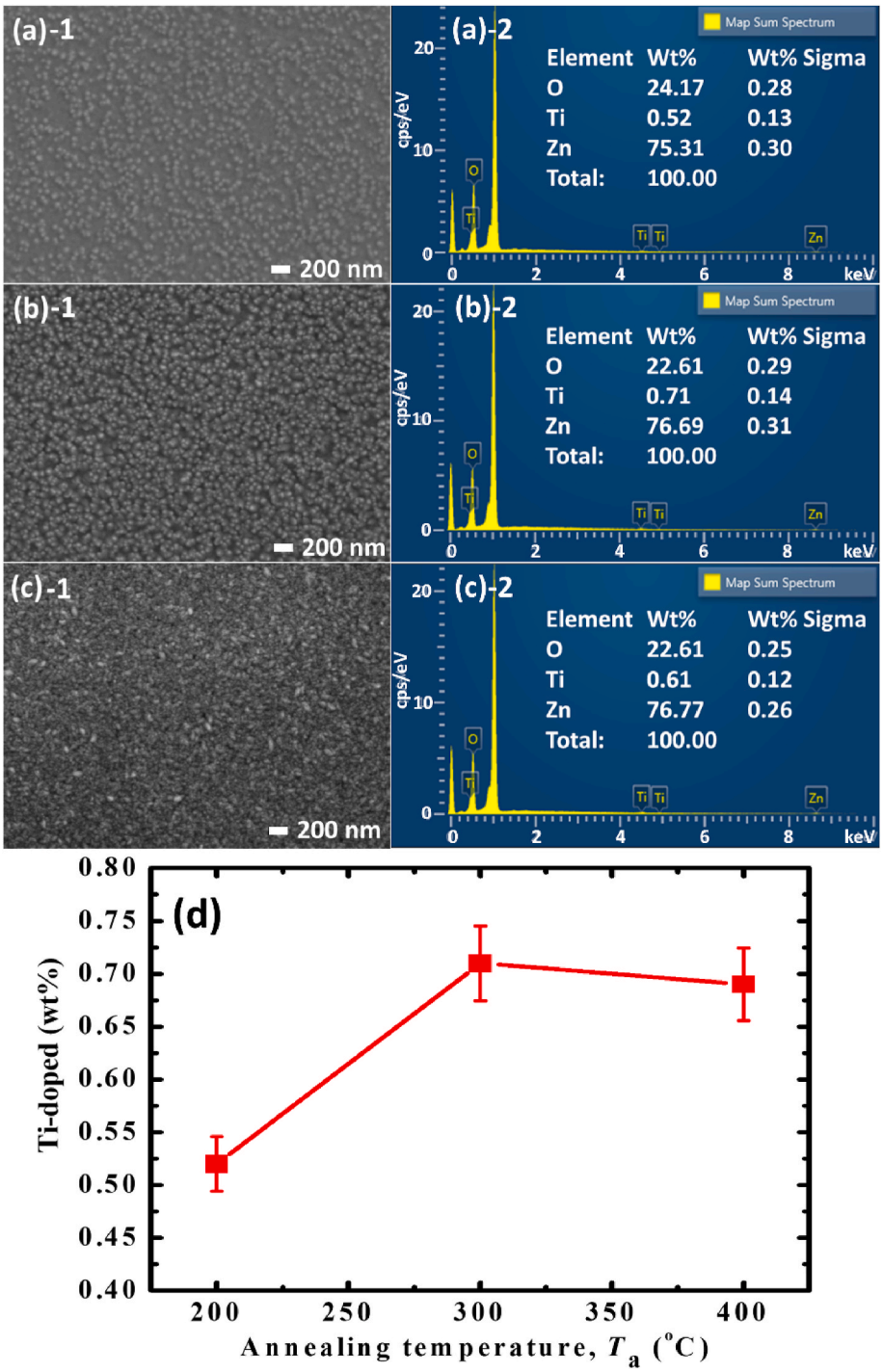


Fig. 4. (a–c)-1; SEM images and (a-c)-2; EDX spectra of the elemental Ti, Zn, and O composition of TZO thin films on polyimide flexible substrates at various annealing temperatures: (a) 200 °C (TZO200), (b) 300 °C (TZO300), and (c) 400 °C (TZO400), as well as (d) the Ti wt.% dependence on annealing temperature.

heated up to 350 °C and 400 °C. As a result, such post-thermal processes induce crystallization demonstrated by the (002) XRD peak around 34.30° for the TZO200, TZO250, and TZO300 samples. to be obtained the diffraction peak stokes shifts within originally of Ti-doped ZnO thin film. Upon increasing the temperature, the diffraction peak slightly red-shifts to 34.20° for TZO350 and then blue-shifts to 34.45° for TZO400. The TZO300 film has a larger diffraction peak intensity than the other films due to its enhanced crystalline structure. In this case, the Ti^{2+} at the grain boundary (after occupying the Zn^{2+} lattice) expands the unit cell. The film annealed at 350 °C supplies more energy for Ti^{2+} migration in the ZnO lattices.

Fig. 4 shows the surface morphology ((a-c)-1) and energy-dispersive X-ray (EDX) spectra ((a-c)-2) of the TZO thin films annealed at different temperatures. It is found that the annealing temperature noticeably affects the surface morphology. The TZO200 film appears to be less condensed and has grain sizes of approximately 50 nm. When the temperature increases to 300 °C, the Zn, O, and Ti receive more energy for diffusion into beneficial positions in thin-film lattices. As a result, larger grains (with diameters of about 80–100 nm) grow, and the packing fraction improves in TZO300, which in turn demonstrates better crystallinity than TZO200. When the annealing temperature is further increased to 400 °C, tiny grains evolve predominantly over bigger

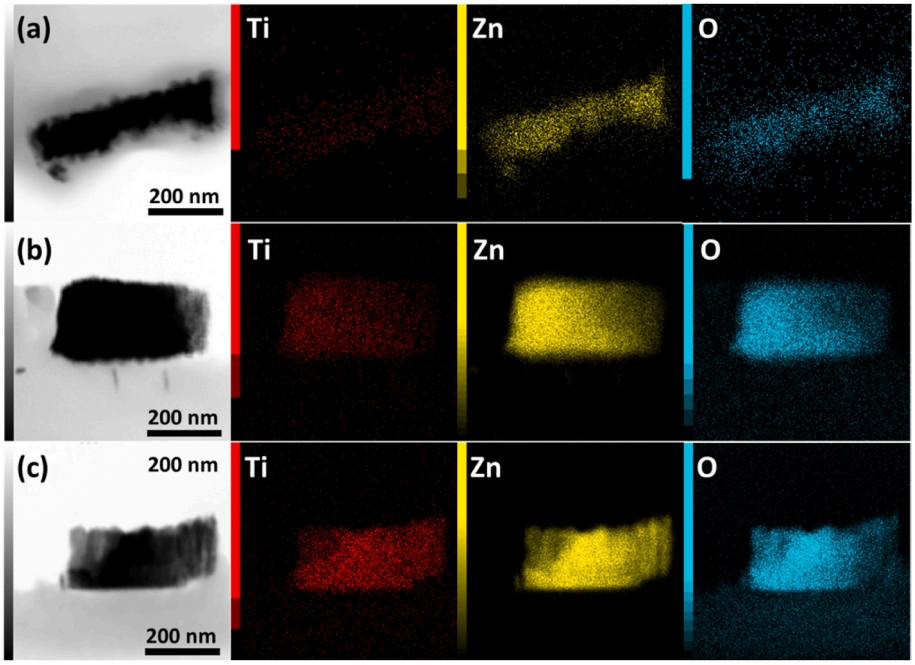


Fig. 5. TEM images and EDX mapping of atomic Ti, Zn, and O in TZO thin films on polyimide flexible substrates with various annealing temperatures: (a) 200 °C, (b) 300 °C, and (c) 400 °C.

Table 3
Hall coefficient (RH), carrier concentration (n) and mobility (μ), mean free path (λ), and lattice strain of TZO thin films on polyimide flexible substrates as a function of annealing temperature (Ta).

T_a(∘C)	R_H(cm^3C^{-1})	n(cm^{-3})	μ($cm^2V^{-1}s^{-1}$)	λ(nm)	ε_a(%)
200	-3.32×10^{-2}	1.88×10^{19}	0.29	0.419 ± 0.21	0.27
250	-2.74×10^{-2}	2.28×10^{19}	2.60	2.84 ± 1.42	0.19
300	-1.27×10^{-2}	4.91×10^{19}	2.73	3.78 ± 1.89	0.18
350	-5.21×10^{-2}	1.20×10^{19}	1.25	1.58 ± 0.79	0.20
400	-5.33×10^{-2}	1.17×10^{19}	1.07	1.34 ± 0.67	0.21

grains, resulting in a less dense morphology in the TZO400 film compared to TZO300. It should be noted here that, at 400 °C, the stability of the polyimide substrate is affected in that there is a strong mismatch between the TZO lattice and the substrate. Increasing lattice strain in the films impedes crystallization; as a result, TZO400 has smaller grain sizes and a higher grain boundary density.

The EDX results illustrate the variation in the elemental compositions of Zn, O, and Ti in the TZO thin films as a function of annealing temperature. It is found that the Ti atom concentration slightly changes with the annealing temperature; these concentrations are 0.52 at.%, 0.71 at.%, and 0.61 at.% for 200 °C, 300 °C, and 400 °C, respectively, as shown in Fig. 4(d). On the other hand, the concentration of the O atoms remains around 23 at.% whereas the Zn atom concentration is around 76 at.%. The chemical compositions measured in this study agree with the trends observed in TZO deposited onto glass substrates [29].

TEM images were recorded in bright field mode, and the corresponding elemental mapping was recorded for elemental Ti, Zn, and O in the TZO thin films annealed at various temperatures, as shown in Fig. 5. The images illustrate the surface morphology and distribution of elements inside the thin films. From EDX mapping, it is evident that the dopant Ti atoms were homogeneously distributed in the ZnO structures. No isolated Ti clusters are observed in the host lattices of any of the TZO thin films, as shown in Fig. 5(a), (b), and 5(c). This finding agrees with the fact that dopant Ti substitutes Zn atoms in the lattice and does not form a secondary phase, as observed in the XRD and SAED patterns. The substitution of the Ti atoms in the Zn lattices promotes oxygen vacancies

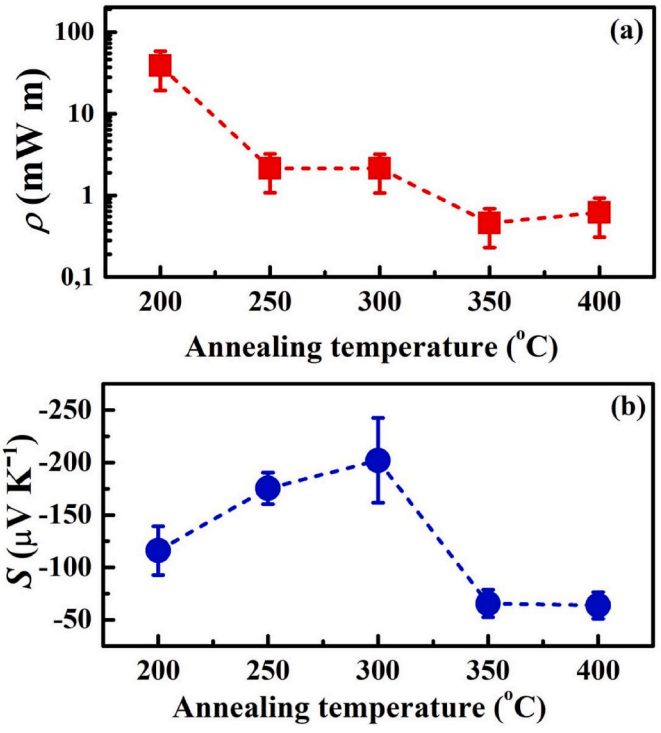


Fig. 6. Thermoelectric properties, namely (a) electrical resistivity and (b) Seebeck coefficient, of TZO thin films on polyimide flexible substrates at room temperature and as a function of annealing temperature.

and free electrons [30] (***). Therefore, the concentration of interstitial Zn rises as does the concentration of free electrons (**). These are normal defects that contribute to the charge concentration, as can be seen in Equations (5)–(7) [31,32].

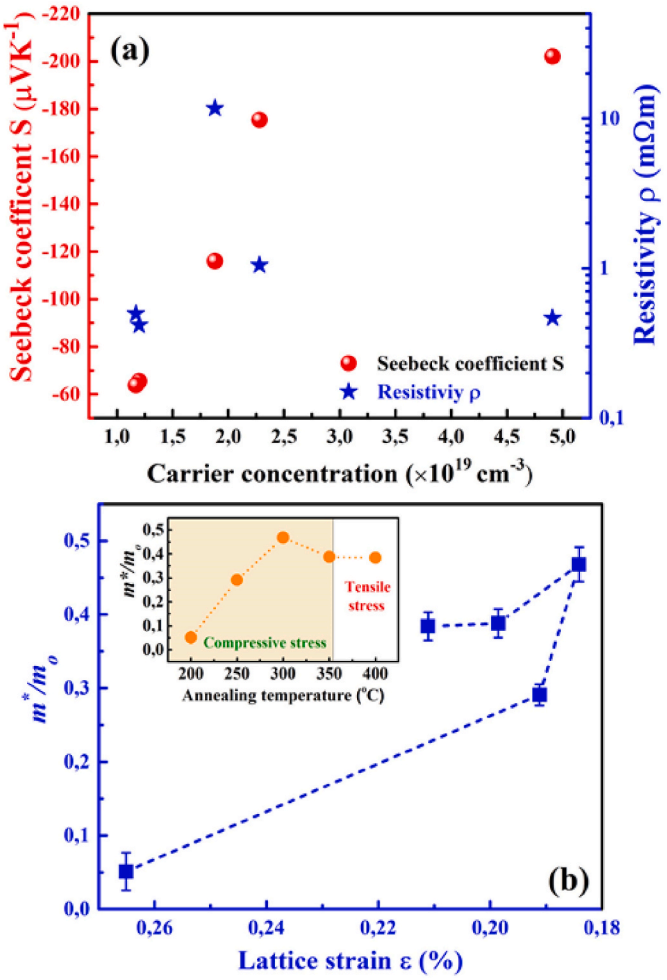


Fig. 7. (a) The Seebeck coefficient and electrical resistivity dependence on carrier concentration and (b) effective mass density m_d^* dependence on lattice strain and annealing temperature (inset graph) of TZO thin films on polyimide flexible substrates.

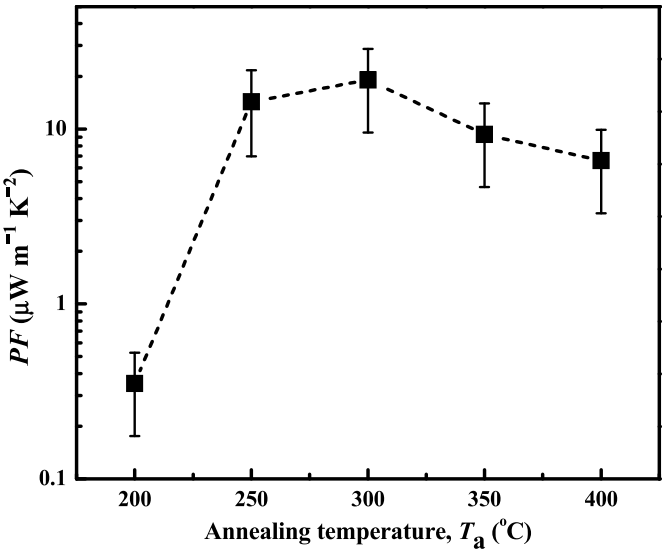


Fig. 8. Variation in the power factor (measured at room temperature) as a function of annealing temperature.

$$O_o^x \leftrightarrow V_o^{\bullet\bullet} + 2e + \frac{1}{2}\,O_2\uparrow\cdot(*) \tag{6}$$

$$ZnO + v_i \rightarrow Zn_i^{\bullet\bullet} + 2e + \frac{1}{2}O_2\uparrow(**) \tag{7}$$

$$TiO_2 \xrightarrow{ZnO} Ti_{Zn}^{\bullet\bullet\bullet} + 2O_o + V_O^{\bullet\bullet} + 4e'(***) \tag{8}$$

Electrical parameters strongly depend on the annealing temperature. The electrical conductivity and mean free path of the TZO thin films were measured at room temperature, as shown in Table 3. The mean free path (λ) was calculated as [33].

$$\lambda = h\left(3\pi^2 n\right)^{1/3}\mu \,\Big/\, 2\pi e \tag{9}$$

where h, n, and μ are the Planck constant, charge concentration, and carrier mobility, respectively. The mean free path was found to fall in the range of 0.4 nm–3.78 nm, which is smaller than the crystallite size measured from the XRD pattern and the average grains observed in the SEM images. This suggests that electrons scatter many times with the ionized impurities and internal grain defects before they scatter against the grain boundaries. The R_H values are negative, indicating that electrons are the dominant carriers in all of the TZO thin films. The n and μ values in the TZO200 thin film are 1.88×10^{19} cm^{-3} and 0.29 cm^2 V^{-1} s^{-1}, respectively. In the TZO300 film, the n and μ values are 4.91×10^{19} cm^{-3} and 2.73 cm^2 V^{-1} s^{-1}, respectively. When the annealing temperature is increased, the relaxation process enhances the crystallization of TZO300, which in turn improves the electrical conductivity. At higher temperatures (350 °C and 400 °C), conductivity decreases because of an increase in the probability of Ti^{2+} impurity that comes with the Zn^{2+} ion substitution. This creates more disorder in the lattice as the Ti^{2+} impurities induce higher lattice strain. However, these Ti^{2+} defects do not contribute to more free electrons, which is deduced from n and μ values of 1.20×10^{19} cm^{-3} and 1.25 cm^2 V^{-1} cm^{-1}, respectively, for TZO350. Upon further increasing the temperature to 400 °C, diverse thermal expansion evolves between the substrate and the thin film surface, and the n and μ values further decrease to 1.17×10^{19} cm^{-3} and 1.07 cm^2 V^{-1} cm^{-1}.

Typically, S and electrical resistivity (ρ) relate with carrier concentration by

$$S = \frac{8\pi^2 k_B^2}{3eh^2} m_d^* T\left(\frac{\pi}{3n}\right)^{2/3} \tag{10}$$

and

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{nq\mu} \tag{11}$$

where h, k_B, q, and$\rho$are the Planck constant, the Boltzmann constant, carrier charge, and electrical resistivity, respectively [34]. Fig. 6(a) illustrates the value of ρ for the TZO thin films measured at room temperature by the ZEM-3 method. Fig. 6(b) shows the variation of the S values for the TZO thin films, also measured at room temperature. All of the thin films possess negative S values, indicative of electrons being the dominant carrier, which agrees with the Hall measurement result. The S values initially rise from −116 μV K^{-1} in the TZO200 sample to a maximum value of −202 μV K^{-1} in the TZO300 sample, whereas ρ decreases over the same annealing temperature range. Further increases in the annealing temperature to 350 °C and 400 °C results in a strongly depressed S value of −65.5 μV K^{-1}.

Fig. 7(a) shows the relationship between S and ρ with the electron concentration. Based on Equation (8), S is inversely related to the carrier concentration (n). The experimental S values are observed to be −202 μV K^{-1} and -175 μV K^{-1} for TZO300 and TZO250, respectively, whereas their charge concentrations of 2.28×10^{19} cm^{-3} and 4.91×10^{19} cm^{-3} were larger than the other films. Dependence of m_d^* on lattice strain is expressed in Fig. 7(b). If the m_d^*/m_o values are compared, the maximum

Table 4
Comparison of TZO300 with other studies. All values were measured at/near room temperature. (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction - SILAR; Chemical Vapor Deposition - CVD; Atomic Layer Deposition - ALD; Polyethylene Terephthalate - PET; Indium Tin Oxide - ITO; Pulsed laser deposition - PLD).

Sample	Preparation Method	Substrate	σ (Sm^{-1})	S ($\mu V.K^{-1}$)	PF ($\mu W\ m^{-1}K^{-2}$)	Ref.
TZO (1.5% at Ti)	Spin coating	Si/SiO_2	667	−65	3.1	[16]
$Zn_{0.96}Al_{0.02}Ga_{0.02}O$	APMOCVD	Mica	5000	−60	18	[37]
Amorphous ZnO_xN_x	PLD	Nonalkali glass	7.8×10^4	−77	46	[38]
ZnO:In	SILAR	Polyimide	0.02	−147	1.0	[39]
ZnO	PLD	Kapton	1111	−59	3.9	[40]
ZnO:In	SILAR	Glass	120	−120	9.0	[41]
AZO (3% wt Al)	DC sputtering	Glass	3×10^4	−15	6.75	[42]
TZ300 (1% at Ti)	*RF sputtering*	*Polyimide*	*2398*	*−202*	*19.10*	*This work*

value is observed to be 0.468 for TZO300, almost an order of magnitude higher than that of TZO200 ($m_d^*/m_o = 0.051$); this is because lattice strain is at a minimum at 300 °C. As a consequence, TZO300 demonstrates the highest S value (−202.0 μVK^{-1}) and the lowest electrical resistivity. Below an annealing temperature of 300 °C, the S values for the TZO thin films are strongly governed by m_d^* instead of electron charge concentration. It is well known that density of state effective mass represents the density of electrons participating in the Seebeck effect under the bottom conduction band of the material [19,20]. Typically, a high m_d^* value enhances S by changing the electrical band structure that exhibits rising to a narrower band dispersion of p-type Bi and Sb tellurides [35].

Enhancing the density of state effective mass breaks the inverse relationship of σ and S, and the electrical conductivity and Seebeck coefficient may enhance simultaneously, resulting in an improvement in the output power factor of the thermoelectric materials. S and ρ decrease together when the annealing temperatures are 350 °C and 400 °C. In such cases, the density of state effective mass diminishes as 0.388 m_d^*/m_o and 0.384 m_d^*/m_o for TZ350 and TZO400, respectively. The reason for this is the possible presence of Ti^{2+} and degeneracy of the polyimide substrate increasing the lattice strain. The TZO400 sample is loaded with tensile stress while the others are loaded with compressive stress, shown in the inset of Fig. 7(b). There are previous studies on dopant impurity (e.g., Al^{3+} and Ga^{3+}) in ZnO materials that foster the growth in m_d^* because the ionic radii of Ga^{3+} (0.62 nm) [19] and Al^{3+} (0.53 nm) [20] are smaller than that of Zn^{2+} (0.74 nm). Ti^{4+} (0.68 nm) dopant is also reported to yield TZO thin films loaded with compressive stress [23,32]. The m_d^* value in the present work is reduced at an annealing temperature of 350 °C because the Ti^{2+} can diffuse into the Zn and O lattice. The crystalline structure becomes disordered when the Ti^{2+} substitutes Zn^{2+} in the TZO350 thin film.

The variation of the PF value for the TZO thin films measured at room temperature is shown in Fig. 8. The PF is strongly influenced by the annealing temperature. TZO300 demonstrates the maximum PF value at 19.10 $\mu W\ m^{-1}\ K^{-2}$, 54 times larger than that of TZO200 (0.035 $\mu W\ m^{-1}\ K^{-2}$). The annealing temperature supports a restructuring process to improve carrier mobility, charge concentration, and density of state effective mass. Improving $m_d^*$is a considerable reason for the rise in PF in the thermoelectric material because of an un-coupling trade-off relationship between the charge concentration and S due to energy modifications in the band structure [36].

In comparison as listed in Table 4, the thermoelectric properties of our investigated TZO thin films is comparable to the literatures of doped ZnO thin films deposited on amorphous substrates [37–42].

4. Conclusion

In this work, we present insights on the relaxation of residual stress on the microstructure, electrical properties, and thermoelectric properties of TZO thin films (doped with Ti 1% at.) prepared on flexible substrates. The post-deposition annealing promotes the crystallization of the samples and induces variation in the residual stress. TZO300 is found to better crystallize than other samples as demonstrated by independent XRD, SEM, TEM, and Hall measurements. Heat treatment also reduces the compressive stress in thin-film structure by reducing the bond length between Zn and O, thereby substantially enhancing the density of state effective mass. Accordingly, TZO300 has the maximum PF because of both its optimum electrical conductivity and its Seebeck coefficient. Further enhancement in the thermal energy induces Ti^{2+} substitution for Zn^{2+}, which decreases the charge concentration, carrier mobility, and Seebeck coefficient. Polymer flexible substrates are not durable when annealed at 400 °C, as a consequence, the PF is significantly reduced beyond this temperature.

Declaration of competing interest

I hereby declare the contributions of the authors to the original manuscript, as the following: A. Vora-ud, M. Kumar and T. B. Phan designed this experiments and prepared the manuscript. The experiments were carried out by A. Vora-ud, D. C. Truong, S. Thaowonkaew, P. Muthitamongkol, M. Horprathum, M. Kumar, T. B. N. Le, A. T. T. Pham, T. Seetawan and T. B. Phan have analyzed the results and discussed the manuscript during the preparation. All authors discussed the results and implications and commented on the manuscript at all stages.

Acknowledgements

This work was financially supported by the National Research Council of Thailand (NRCT) and the Thailand Research Fund (TRF) through a Research Career Development Grant (RSA6180070) and a Research Grant for New Scholar (MRG6180007). This work was supported by VietNam National University Ho Chi Minh City (NCM2019-50-01).

References

[1] X. Wang, A. Suwardi, S.L. Lim, F. Wei, J. Xu, Transparent flexible thin-film p–n junction thermoelectric module, npj Flex. Electron. 4 (2020) 1–9.
[2] H. Kawazoe, M. Yasukawa, H. Hyodo, M. Kurita, H. Yanagi, H. Hosono, P-type electrical conduction in transparent thin films of $CuAlO_2$, Nature 389 (6654) 939–942.
[3] K. Zhang, F. Zhu, C.H.A. Huan, A.T.S. Wee, Effect of hydrogen partial pressure on optoelectronic properties of indium tin oxide thin films deposited by radio frequency magnetron sputtering method, J. Appl. Phys. 86 (1999) 974–980.
[4] T.Q. Trinh, T.T. Nguyen, D.V. Vu, D.H. Le, Structural and thermoelectric properties of Al-doped ZnO thin films grown by chemical and physical methods, J. Mater. Sci. Mater. Electron. 28 (2017) 236–240.
[5] A.T.T. Pham, H.K.T. Ta, Y. Liu, M. Aminzare, D.P. Wong, T.H. Nguyen, N.K. Pham, T.B.N. Le, T. Seetawan, H. Ju, S. Cho, K.H. Chen, V.C. Tran, T.B. Phan, Effect of annealing temperature on thermoelectric properties of Ga and in dually doped - ZnO thin films, J. Alloys Compd. 747 (2018) 156–165.
[6] A.J. Karttunen, L. Sarnes, R. Townsend, J. Mikkonen, M. Karppinen, Flexible thermoelectric ZnO–organic superlattices on cotton textile substrates by ALD/MLD, Adv. Electron. Mater. 3 (2017), 1600459.
[7] Y. Du, K. Cai, S. Chen, H. Wang, S.Z. Shen, R. Donelson, T. Lin, Thermoelectric fabrics: toward power generating clothing, Sci. Rep. 5 (2015) 1–6.
[8] M. Kumar, A. Vora-ud, T. Seetawan, J.G. Han, Study of pulsed-DC sputtering induced $Ge_2Sb_2Te_5$ thin films using facile thermoelectric measurement, Mater. Des. 98 (2016) 254–261.

[9] M. Kumar, A. Vora-ud, T. Seetawan, J.G. Han, Thermoelectric power factor enhancement by pulsed plasma engineering in magnetron sputtering induced $Ge_2Sb_2Te_5$ thin films, ACS Appl. Energy Mater. 1 (2018) 4025–4031.

[10] S. Thaowonkaew, M. Kumar, A. Vora-ud, Thermoelectric properties of Ag-Doped Sb_2Te_3 thin films on SiO_2 and polyimide substrates with rapid thermal annealing, J. Electron. Mater. 50 (2021) 2669–2673.

[11] Y. Du, J. Xu, B. Paul, P. Eklund, Flexible thermoelectric materials and devices, Appl. Mater. Today 12 (2018) 366–388.

[12] P. Fan, Z. Zheng, Y. Li, Q. Lin, J. Luo, G. Liang, X. Cai, D. Zhang, F. Ye, Low-cost flexible thin film thermoelectric generator on zinc based thermoelectric materials, Appl. Phys. Lett. 106 (2015) 1–5.

[13] C. Wan, X. Gu, F. Dang, T. Itoh, Y. Wang, H. Sasaki, M. Kondo, K. Koga, K. Yabuki, G.J. Snyder, R. Yang, K. Koumoto, Flexible n-type thermoelectric materials by organic intercalation of layered transition metal dichalcogenide TiS_2, Nat. Mater. 14 (2015) 622–627.

[14] M. Ajili, M. Castagné, N.K. Turki, Study on the doping effect of Sn-doped ZnO thin films, Superlattice. Microst. 53 (2013) 213–222.

[15] A. Tomeda, T. Ishibe, T. Taniguchi, R. Okuhata, K. Watanabe, Y. Nakamura, Enhanced thermoelectric performance of Ga-doped ZnO film by controlling crystal quality for transparent thermoelectric films, Thin Solid Films 666 (2018) 185–190.

[16] A. Mallick, D. Basak, Revisiting the electrical and optical transmission properties of co-doped ZnO thin films as n-type TCOs, Prog. Mater. Sci. 96 (2018) 86–110.

[17] M.H. Hong, H. Choi, Y. Kim, T. Kim, H.H. Cho, Z. Driss, D. Driss, A. Bouabidi, S. Euchy, H.H. Park, Ti doping effects on the Seebeck coefficient and electrical conductivity of mesoporous ZnO thin film, Mater. Chem. Phys. 235 (2019), 121757.

[18] J. ting Luo, Z. hao Zheng, G. xing Liang, F. Li, P. Fan, Enhanced thermoelectric properties in AZO thin films by introducing Ti co-dopant, Mater. Res. Bull. 94 (2017) 307–312.

[19] K.H. Jung, K. Hyoung Lee, W.S. Seo, S.M. Choi, An enhancement of a thermoelectric power factor in a Ga-doped ZnO system: a chemical compression by enlarged Ga solubility, Appl. Phys. Lett. 100 (2012), 2010–2014.

[20] J.P. Wiff, Y. Kinemuchi, H. Kaga, C. Ito, K. Watari, Correlations between thermoelectric properties and effective mass caused by lattice distortion in Al-doped ZnO ceramics, J. Eur. Ceram. Soc. 29 (2009) 1413–1418.

[21] A.T.T. Pham, P.T.N. Vo, H.K.T. Ta, N.K. Pham, H.T. Lai, H.N.T. Tran, V.C. Tran, T. L.H. Doan, S. Park, T.B. Phan, Dopants and induced residual stress-controlled thermoelectric properties of ZnO thin films, Mater. Sci. Eng. B Solid-State Mater. Adv. Technol. 261 (2020), 114712.

[22] Anh Tuan ThanhPham, Tuyen Anh Luu, Ngoc Kim Pham, Hanh Kieu Thi Ta, Truong Huu Nguyen, Dung Van Hoang, Hoa Thi Lai, Vinh Cao Tran, Jong-Ho Park, Jae-Ki Lee, Sungkyun Park, Ohtaki Michitaka, Su-Dong Park, Hung Quang Nguyen, Thang Bach Phan, Multi-scale defects in ZnO thermoelectric ceramic materials co-doped with in and Ga, Ceram. Int. 46 (8) (2020) 10748.

[23] Y.C. Lin, C.Y. Hsu, S.K. Hung, D.C. Wen, Influence of TiO_2 buffer layer and post-annealing on the quality of Ti-doped ZnO thin films, Ceram. Int. 39 (2013) 5795–5803.

[24] Y. Kajikawa, Texture development of non-epitaxial polycrystalline ZnO films, J. Cryst. Growth 289 (2006) 387–394.

[25] S.K. Wang, T.C. Lin, S.R. Jian, J.Y. Juang, J.S.C. Jang, J.Y. Tseng, Effects of post-annealing on the structural and nanomechanical properties of Ga-doped ZnO thin films deposited on glass substrate by rf-magnetron sputtering, Appl. Surf. Sci. 258 (2011) 1261–1266.

[26] A. Samavati, H. Nur, A.F. Ismail, Z. Othaman, Radio frequency magnetron sputtered ZnO/SiO_2/glass thin film: role of ZnO thickness on structural and optical properties, J. Alloys Compd. 671 (2016) 170–176.

[27] S.S. Lin, J.L. Huang, D.F. Lii, Effect of substrate temperature on the properties of Ti-doped ZnO films by simultaneous rf and dc magnetron sputtering, Mater. Chem. Phys. 90 (2005) 22–30.

[28] J. Liu, S.Y. Ma, X.L. Huang, L.G. Ma, F.M. Li, F.C. Yang, Q. Zhao, X.L. Zhang, Effects of Ti-doped concentration on the microstructures and optical properties of ZnO thin films, Superlattice. Microst. 52 (2012) 765–773.

[29] J.L. Chung, J.C. Chen, C.J. Tseng, The influence of titanium on the properties of zinc oxide films deposited by radio frequency magnetron sputtering, Appl. Surf. Sci. 254 (2008) 2615–2620.

[30] K. Park, K.Y. Ko, Effect of TiO_2 on high-temperature thermoelectric properties of ZnO, J. Alloys Compd. 430 (2007) 200–204.

[31] N.H. Tran Nguyen, T.H. Nguyen, Y. Liu, M. Aminzare, A.T.T. Pham, S. Cho, D. P. Wong, K.H. Chen, T. Seetawan, N.K. Pham, H.K.T. Ta, V.C. Tran, T.B. Phan, Thermoelectric properties of indium and gallium dually doped ZnO thin films, ACS Appl. Mater. Interfaces 8 (2016) 33916–33923.

[32] S.S. Lin, J.L. Huang, P. Šjgalik, The properties of Ti-doped ZnO films deposited by simultaneous RF and DC magnetron sputtering, Surf. Coating. Technol. 191 (2005) 286–292.

[33] Y. Shigesato, D.C. Paine, Study of the effect of Sn doping on the electronic transport properties of thin film indium oxide, Appl. Phys. Lett. 62 (1993) 1268–1270.

[34] G.J. Snyder, E.S. Toberer, Complex thermoelectric materials, Nat. Mater. 7 (2008) 105–114.

[35] M.S. Park, J.H. Song, J.E. Medvedeva, M. Kim, I.G. Kim, A.J. Freeman, Electronic structure and volume effect on thermoelectric transport in p -type Bi and Sb tellurides, Phys. Rev. B Condens. Matter 81 (2010) 2–6.

[36] D.K. Aswal, R. Basu, A. Singh, Key issues in development of thermoelectric power generators: high figure-of-merit materials and their highly conducting interfaces with metallic interconnects, Energy Convers. Manag. 114 (2016) 50–67.

[37] B. Paul, V. Khranovskyy, R. Yakimova, P. Eklund, Donor-doped ZnO thin films on mica for fully-inorganic flexible thermoelectrics, Mater. Res. Lett 7 (2019) 239–243.

[38] Y. Hirose, M. Tsuchii, K. Shigematsu, Y. Kakefuda, T. Mori, T. Hasegawa, Thermoelectric properties of amorphous ZnO_xN_y thin films at room temperature, Appl. Phys. Lett. 114 (2019), 193903.

[39] N.P. Klochko, K.S. Klepikova, I.V. Khrypunova, D.O. Zhadan, S.I. Petrushenko, V. R. Kopach, S.V. Dukarov, V.M. Sukhov, M.V. Kirichenko, A.L. Khrypunova, Flexible thermoelectric module based on zinc oxide thin film grown via SILAR, Curr. Appl. Phys. 21 (2021) 121–133.

[40] K. Tian, B. Tudu, A. Tiwari, Growth and characterization of zinc oxide thin films on flexible substrates at low temperature using pulsed laser deposition, Vacuum 146 (2017) 483–491.

[41] N.P. Klochko, et al., Semitransparent p-CuI and n-ZnO thin films prepared by low temperature solution growth for thermoelectric conversion of near-infrared solar light, July, Sol. Energy 171 (2018) 704–715, https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.07.030.

[42] P. Fan, K.S. Klepikova, V.R. Kopach, I.I. Tyukhov, D.O. Zhadan, G.S. Khrypunov, S. I. Petrushenko, S.V. Dukarov, V.M. Lyubov, M.V. Kirichenko, A.L. Khrypunova, Applied Surface Science Thermoelectric properties optimization of Al-doped ZnO thin films prepared by reactive sputtering Zn – Al alloy target, Appl. Surf. Sci. 284 (2013) 145–149.

Temperature Controlling and Monitoring System of Mao-Wine Aging Tank for Local Enterprises

2021 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovation Electricals and Electronics (RI2C) | 978-1-6654-0300-9/21/$31.00 ©2021 IEEE | DOI: 10.1109/RI2C51727.2021.9559768

Kongphope Chaarmart
Program of Electrical and Electronics,
Faculty of Industrial Technology,
Sakon Nakhon Rajabhat University,
680 Nittayo Road., Mueang District,
Sakon Nakhon 47000, Thailand
Email: kongphope@snru.ac.th

Athorn Vora-ud
Program of Physics,
Faculty of Science and Technology,
Sakon Nakhon Rajabhat University,
680 Nittayo Road., Mueang District,
Sakon Nakhon 47000, Thailand
Email: athornvora-ud@snru.ac.th

Tosawat Seetawan
Program of Physics,
Faculty of Science and Technology,
Sakon Nakhon Rajabhat University,
680 Nittayo Road., Mueang District,
Sakon Nakhon 47000, Thailand
Email: t_seetawan@snru.ac.th

***Abstract*— Constant temperature controlling for the aging of Mao-wine is significant of that quality of wine. In this presentation, the aging tank of the Mao-wine was designed and the intelligent temperature controlling and monitoring systems were carried by using Arduino Mega and ds180b20 temperature sensors. The system can detect the set temperature in the specified range. The principle that was designed is uncomplicated, easy to understand. The result showed that Mao-wine has been matured in aging tank within the temperature controlled around 13 °C. This result was confirmed with the temperature distribution during wine aging as simulated by the finite element method. Note that, this temperature as controlled was suitable into wine aging and reduced time of wine aging to product as same the quality of wine. Therefore, the principle does not require linear control because it has designed the work according to the written algorithm, so it works respectfully can be used in the local enterprises regarding Mao-wine production.**

Keywords*— *Mao-wine aging tank, temperature controller, Arduino, temperature sensor

INTRODUCTION

Today, governments around the world have been enhanced the social and environmental performance of small and medium enterprises (SMEs) or local enterprises and the goals of SMEs are achieved in national sustainability [1]. Especially in Thailand, the government has been focused base on products of agriculture and food industry, health, and wellness industry. In Sakon Nakhon province, the Chateau De Phuphan is famous for SMEs in local fruit juice and wine so-call "Mamao". The Mamao or Mao (Antidesma puncticulatum Miq.) is one of the geographical indications (GI) of Sakon Nakhon province, Thailand (Northeastern) from Phu Phan mountain. Moreover, tropical fruit is the Phyllanthaceae family, generally found in Africa, Australia, groups of islands in the Pacific Ocean, tropical Asia, and Northeastern in Thailand [2-5]. Focus on Mao-wine product, one of importance on winemaking processing is wine aging process. This processing will be processed within the aging tank after fermentation and before bottling. The importance of the aging process is exchanged air or oxygen to be improved of wine structure, the stabilization of coloring matter and wine composition as well as equilibrated wines [6-7]. Hence, the control of oxygen is the main of this point because the oxygen contributions are consequences regarding the quality of wine [8]. However, wine industries used aging tanks base on different materials such as; stainless steel, wood, fiberglass, etc. To management the aging process, these tanks should be allowed to the winemaker control oxygen to be wine received as an auto-micro-oxygenator system, and then necessary to know the oxygen transfer rate [9]. While, the oxygen level can be conducted with the temperature control, which the temperature affected various reactions involved in wine maturation to be accelerated the reactions of physiochemical in nature. This caused is a problem to winemaking to be controlled of the temperature of Mao-wine such as the Chateau De Phuphan, which must be the temperature during wine aging in rang 5-15 °C. The process of Mao-wine making as produced from the Chateau De Phuphan was displayed in Fig. 1, which the aging process is very important before bottling.

Fig. 1. The process of Mao-wine making from the Chateau De Phuphan; 1) Mao fruit washing 2) squeezing 3) filtering 4) fermentation 5) aging and 6) bottling.

From Fig. 1, the process of Mao-wine as processed from the Chateau De Phuphan was started with following; 1) Mao fruit washing 2) squeezing 3) filtering 4) fermentation 5) aging and 6) bottling onto dispensing. The problem of aging tank as used was controlled within natural and manual. These are caused to be not controlled the time of wine aging. In addition, wine aging time has affected to the quality of wine to be reduced grade of wine which may be below standards and lack of customer confidence.

In this work, we constructed the aging tank of Mao-wine to support SMEs (the Chateau De Phuphan). This tank was designed to control the temperature and monitoring system using ds180b20 temperature sensors and Arduino Mega, respectively. Also, the temperature controlling of wine aging to be analyzed with computational simulation based on finite element method was presented.

978-1-6654-0300-9/21/$31.00 ©2021 IEEE

Authorized licensed use limited to: Athorn Vora-ud. Downloaded on November 22,2021 at 22:03:06 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.

MATERIALS AND METHODS

A. Wine Aging Tank Designing

A wine aging tank was designed and constructed in a cylindrical model as shown in Fig. 2. Inside of aging tank with 85.0 cm of diameter and 110.0 cm of height was constructed from stainless steel (304 grads) sheet with 1.20 mm of thickness. Outside of the tank was Insulated by Polyurethan foam with 8.5 cm of thick to be surrounded of the tank and then covered with stainless steel sheet again. For temperature controlling was conducted within two systems composed of 1) inside a tank, to direct the refrigerant into the copper tube with a compressor system and 2) water cooling flowed to surrounding of the tank.

B. Temperature Controlling and Monitoring System

Temperature controlling and monitoring systems processing were presented in Fig. 3. The controlling processing was conducted through Arduino microcontroller (MEGA 2560 R3) and two temperature sensors based on a k-type thermocouple (ds18b20). The temperature sensors as used were detected the temperature of the inside tank at maturing wine water and temperature of tank surrounding. Which, two regions must be the same range temperature.

C. Temperature Distribution Analyzing

Temperature distribution during wine aging was carried out by the finite element method, using ANSYS 2019 R1 software (academic student's version). The geometrical model was designed by using Solidwork program and then exported to ANSYS program to be used the thermal physic solver interface [10] as shown in Fig. 4.

The equations for temperature analysis of aging tank are governed by heat transfer equation as followed [11];

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{q} = Q \tag{1}$$

and Fourier equation is

$$\vec{q} = -k\vec{\nabla} T \tag{2}$$

where, ρ, c, Q, q, κ, T and t are density, heat, heat capacity, heat flux, thermal conductivity, absolute temperature, and time, respectively.

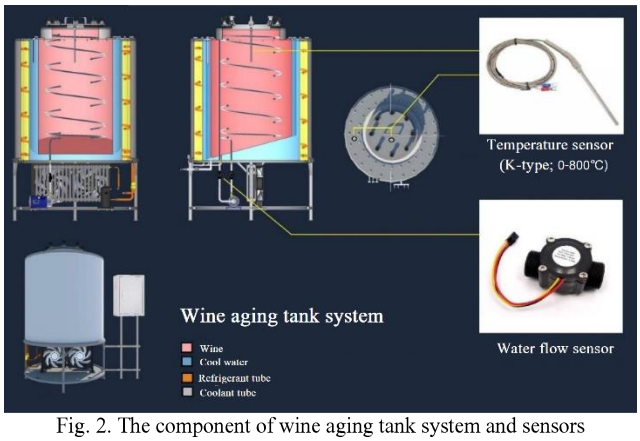


Fig. 2. The component of wine aging tank system and sensors

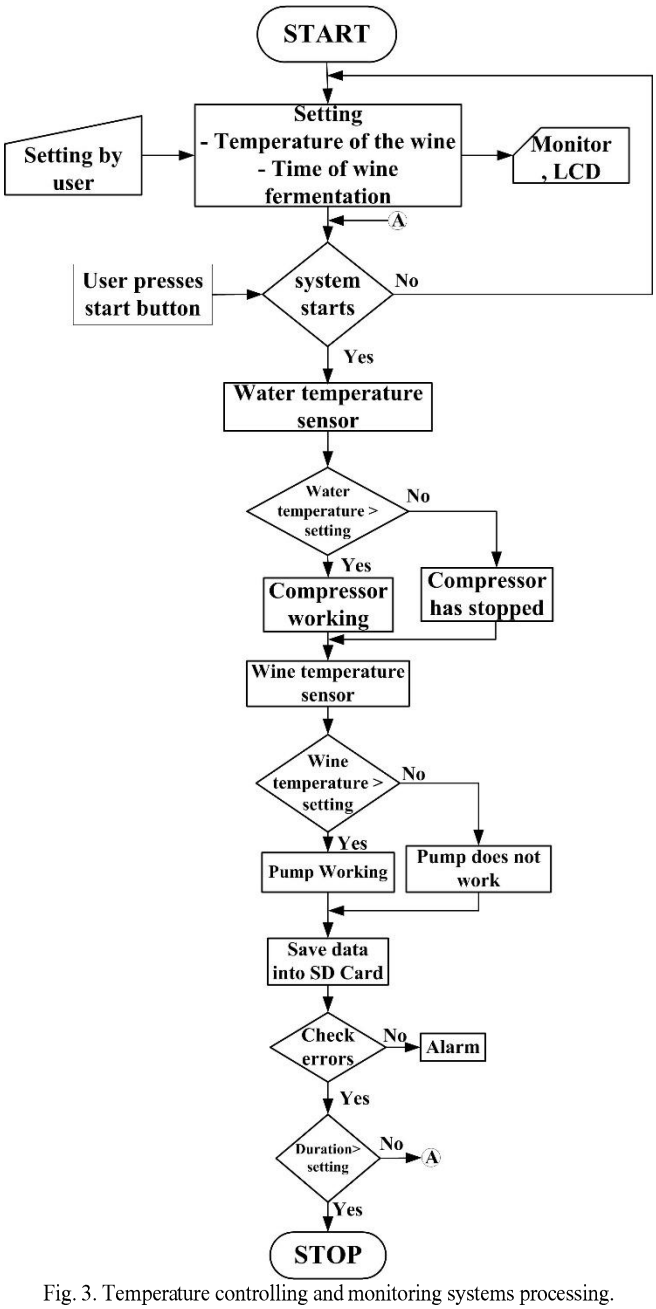


Fig. 3. Temperature controlling and monitoring systems processing.

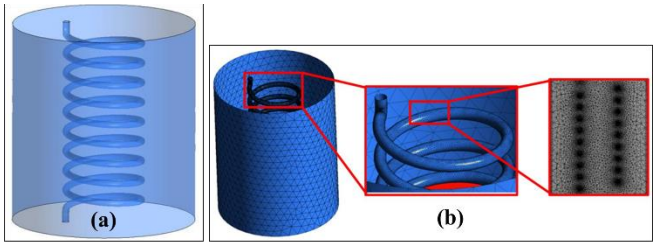


Fig. 4. (a) Aging tank and the copper tube cooling models and (b) the Finite element mesh (tetragonal) for ANSYS computational simulation.

Authorized licensed use limited to: Athorn Vora-ud. Downloaded on November 22,2021 at 22:03:06 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 5 shows the temperature of wine as used during maturing in the aging tank within 24 hours. Mao wine has been matured in an aging tank from start to 24 hours at a temperature around 13 °C, as suitable for wine aging. Step of temperature controller during wine aging is that the temperature of wine is upper 14 °C, the cooling system is turn on and then the temperature of wine is lower 12 °C, the cooling system is turned off. While the electrical voltage and current were measured within 24 hours to be obtained the electrical power of the aging tank operating as shown in Fig. 6 and 7, respectively. The electrical power of aging tank operating is low cost and suitable for EMEs products.

The temperature distribution during wine aging was displayed in Fig. 8, as carried by the finite element method through a personal computer with CPU 8 Cores and Ram 32 Gb. The result demonstrated that the temperature of wine during aging was controlled at around 12 °C. Moreover, this research could be helped to reduce the time of Mao-wine aging to the product of the Chateau De Phuphan, EMEs from 180 days reduce to 75 day and same of the quality of wine.

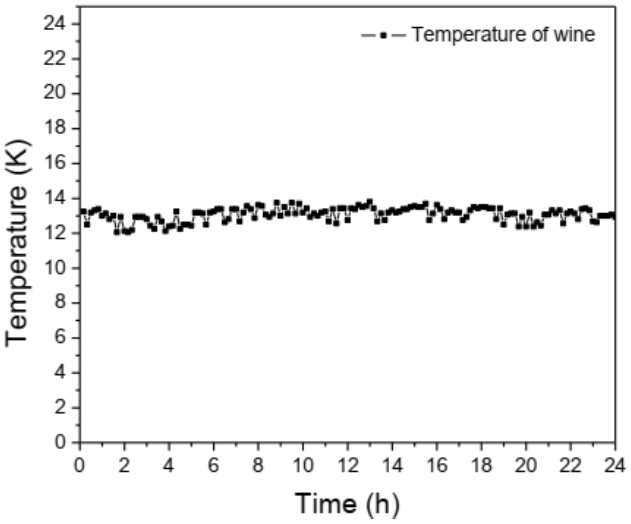


Fig. 5. The temperature of wine as used during maturing in the aging tank within 24 hours.

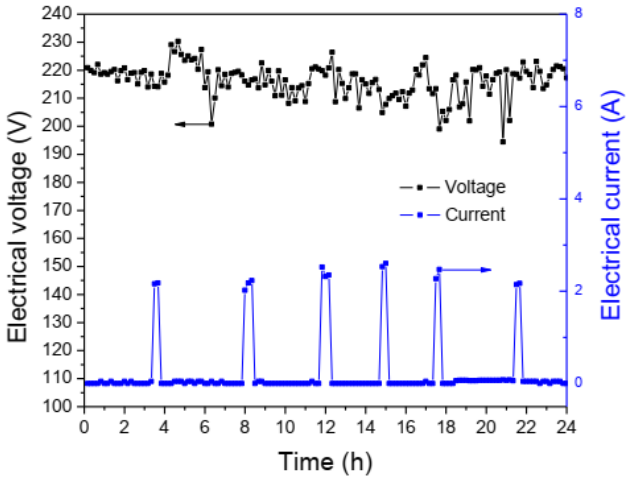


Fig. 6. (a) Electrical voltage and current as used during maturing in the aging tank within 24 hours.

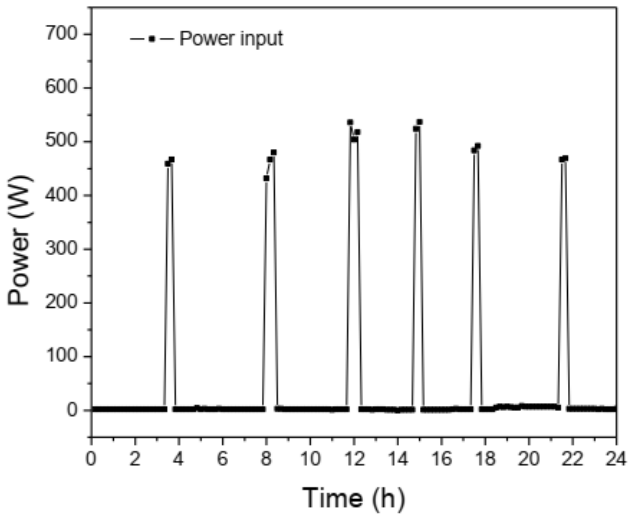


Fig. 7. Electrical power as used during maturing in the aging tank within 24 hours.

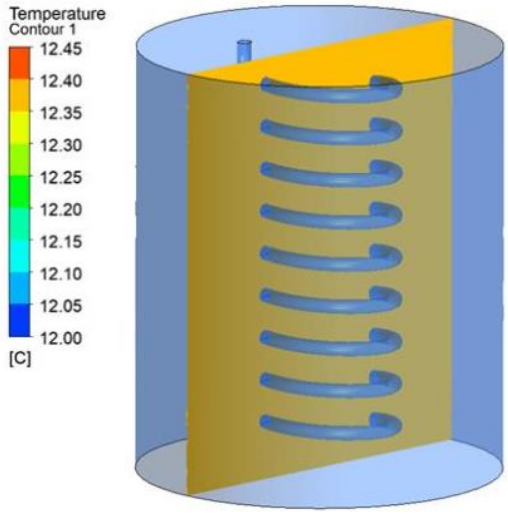


Fig. 8. Temperature distribution during wine aging was simulated by the finite element method.

SUMMARY AND FUTURE WORK

Mao-wine aging tank has been designed and constructed to be controlled the temperature of wine during the maturing process. Base on temperature controlling of the aging tank used Arduino Mega and ds180b20 temperature sensors. The result showed that Mao wine has been matured in the aging tank within the temperature-controlled around 13 °C. This result was confirmed with the temperature distribution during wine aging as simulated by the finite element method. Note that, this temperature as controlled was suitable for wine aging and reduced the time of wine aging to the product but maintain the quality of wine. This project could be adapted to the process of winemaking for the Chateau De Phuphan.

ACKNOWLEDGMENT

Financially supported by Thailand Research Fund (TRF) through the Supporting Research Funds for Industries (RDG61I0011) is acknowledged.

Authorized licensed use limited to: Athorn Vora-ud. Downloaded on November 22,2021 at 22:03:06 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.

REFERENCES

[1] M. Journeault, A. Perron, L. Vallières, "The collaborative roles of stakeholders in supporting the adoption of sustainability in SMEs", *J. Env. Manag.*, vol. 287, 112349, 2021.

[2] W. Suravanichnirachorn, V. Haruthaithanasan, S. Suwonsichon, U. Sukatta, W. Chantrapornchai, "Stability of mao (Antidesma bunius (L.) Spreng) powder in different food process models", *Int. Food Res. J.,* vol.25, no.6, pp. 2666-2673, 2018.

[3] L. Butkhup, S. Samappito, "An analysis on flavonoids contents in mao luang fruits of fifteen cultivars (Antidesma bunius), grown in northeast Thailand", *Pakistan J. Bio. Sci.*, vol. 11, no. 7, pp. 996-1002, 2008.

[4] D. Puangpronpitag, P. Yongvanit, P. Boonsiri, M. Suttajit, P. Areejitranusorn, H. Na, Y. Surh, "Molecular mechanism underlying anti-apoptotic and anti-inflammatory effects of mamao *(Antidesma thwaitesianum Müll. Arg.*) polyphenolics in human breast epithelial cells", *Food Chem.*, vol. 127 pp. 1450-1458, 2011.

[5] S. Jorjong, L. Butkhup, S. Samappito, "Phytochemicals and antioxidant capacities of Mao-Luang (*Antidesma bunius L.*) cultivars from northeastern Thailand", *Food Chem.*, vol. 181, pp. 248-255, 2015.

[6] M. Cano-López, F. Pardo-Minguez, J.M. López-Roca, E. GómezPlaza, "Effect of microoxygenation on anthocyanin and derived pigment content and chromatic characteristics of red wines", *American J. Enol. Vitic.*, vol. 57, pp. 325–331, 2006.

[7] G. Roig, S. Yêrle, "Balance y perspectivas De 10 Años De microoxigenación", *ACE Revista de enología*, vol. 30, pp. 1-4, 2003.

[8] I. Nevares, M.D. Alamo, L.M. Cárcel, R. Crespo, C. Martin, L. Gallego, "Measure the dissolved oxygen consumed by red Wines in aging tanks", *Food Bioprocess Technol.*, vol. 2 pp. 328–336, 2009.

[9] M. De Álamo, I. Nevares, L.M. Cárcel, R. Crespo, C. Gonzalez-Muñoz, "Wine ageing in controlled permeability HDPE tanks", *Int. Conf. Food Inov.*, pp. 1-4, 2010.

[10] A. Vora-ud, W. Kasemsin, T. Seetawan, S. Thaowankaew, D. Weatchapitak, "Designing and analyzing on thermoelectric cooler for turbomolecular pump cooling applications", *Res. Inv. Inn. Congr.*, pp.1-4 2019.

Authorized licensed use limited to: Athorn Vora-ud. Downloaded on November 22,2021 at 22:03:06 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.

IIETA International Information and Engineering Technology Association
Advancing the World of Information and Engineering

Instrumentation Mesure Métrologie
Vol. 21, No. 2, April, 2022, pp. 49-57
Journal homepage: http://iieta.org/journals/i2m

Development of Biosensors for Ethanol Gas Detection

Mekhala Insawang[1], Kongphope Chaarmart[2], Tosawat Seetawan[1*]

[1] Physics Program, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000, Thailand
[2] Electrical and Electronic Program, Faculty of Industrial Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000, Thailand

Corresponding Author Email: t_seetawan@snru.ac.th

https://doi.org/10.18280/i2m.210203

Received: 5 February 2022
Accepted: 9 April 2022

Keywords:
alcohol biosensor, thin film electrode, DC magnetron sputtering method, gas sensor

ABSTRACT

This work developed a biosensor for the measurement of ethanol gas in the air. The biosensors were synthesized by mixing signal layer materials containing SiO_2 and polyimide (PI) substrates using the enzyme Alcohol Dehydrogenase (ADH) and coenzyme Nicotinamide Adenine Dinucleotide (NAD^+) as a biosensor. The electrodes were coated on biosensors by DC magnetron sputtering method for test the response performance of the developed biosensors. The ADH/NAD^+ was immobilized on the Ag electrode by Glutaric dialaehyde 25 wt. % cross-linking procedure. It was found that, alcohol biosensors can be exhibited sensing ethanol gas at even low concentrations from 300 ppb to very high concentrations up to 1900 ppm, response time 3 s, recovery times 1-2 minutes and good sensitivity. The SiO_2 substrate has excellent, which provides significant advantages for wearable electronic device that compact, easy to use and reduce direct contact with alcoholics. The alcohol biosensors can adoption in next generation to other electronic devices, because easy to integrate, such as a module alcohol biosensor with wireless or the fabrication of the RCL circuit. Furthermore, the alcohol biosensors based on SiO_2/Ag/ADH, PI/Ag/ADH is artificial intelligence strategy for stable practical wearable electronic devices.

1. INTRODUCTION

Blood alcohol determination plays an important role in laboratory medicine and forensic medicine for several reasons [1, 2]. Driving under the influence of alcohol represents a major safety concern due to the synergistic or additive effect of these substances of abuse. Cause in traffic accident such as car or motorcycle accident. Hence, rapid road-site testing of these substances is highly desired to reduce risks of fatal accidents [3]. Corresponding with the road traffic laws in Thailand and many countries, which stipulate that blood alcohol concentration 200 ppm violation of the Act. Artificial intelligence in practical capable strategy of physics, chemistry and biology sensing and diversity sensing have broadened the scope of various sensing applications to wearable electronics, especially for the wireless monitoring [4]. For example, the MQ-3 gas sensor module for detecting alcohol. MQ-3 Semiconductor sensor for alcohol gas has good sensitivity to alcohol in wide range and has advantages such as long lifespan. It is with low cost and suitable for various applications of detecting alcohol at different concentration and simple drive circuit. It is widely used in domestic alcohol gas alarm, industrial alcohol gas alarm and portable alcohol detector [5].

Nowadays, there are many methods are being used for alcohol measurement, such as spectrometric analysis and chromatographic analysis or breathalyzer, where the alcohol concentration or refractivity is detected [6, 7]. However, these methods are time-consuming and complex to perform laborious sample pre-treatment. In addition, expensive analytical apparatuses are necessary [8]. Including breathalyzer analysis methods the results can be analyzed by inhaling the breath alcohol tester through the alcohol mouthpiece (mouthpiece plastic) [9]. Direct contact between the drinker and the detector, and it is necessary to constantly change the alcohol mouthpiece. Thus, there is an increasing requirement for rapid, accurate and inexpensive methods for blood alcohol determination [10]. Alcohol biosensors is another interesting and suitable alternative, because biosensors have biological substances such as enzyme used as a detector for the substance to be measured, and the choice of enzyme alcohol biosensors will give a specific response to the substance to be measured (ethanol) [11]. We are selected enzyme ADH immobilized on electrode. The resulting enzyme electrode exhibits excellent electrocatalysis for the oxidation of reduced NAD^+ [12]. Enzyme dehydrogenase catalyzes oxidation in the conditions of oxygen as a co-substrate (in smooth chemical conditions). This approach based on chemical bonding of the cofactor (which was checked by infrared spectroscopy method) led to good performances in terms of long-term stability of the electrochemical response [13]. Thus, avoiding interferences due to the presence of oxidizable substances in samples [14-16]. We decided to use 2 materials such as Silicon dioxide and PI for structure thin film. 1. Silicon that have properties metal oxide semiconductors are widely used as sensor materials because of many advantages, high sensitivity, fast response, recovery, and low detection limits over other semiconductors [17-20]. Including have a large surface area. The porous structure improves gas absorption efficiency, because the high surface-to-volume ratio [21, 22]. 2. PI is regarded as high-performance

polymers because of their excellent chemical, thermal and irradiation stability, high mechanical strength and reliable electrical insulation. Nowadays there are state-of-the-art microelectronic applications [23, 24]. PI has found applications as enzyme immobilization membrane, due to their good chemical stability and low reactivity [25-28]. Moreover, we selected Ag used as electrodes for the fabricated to alcohol biosensors and module alcohol biosensors for wearable electronics devices. Ag it has excellent electrical conductivity, excellent repeatability and durability [29-32]. Flexing endurance and are broadly used in flexible electrodes and flexible sensors [33]. Thus, Ag is suitable for use as electrodes.

Therefore, the researcher is interested in developing Biosensors for the detection of ethanol gas for wearable electronic devices. Reduce direct contact with drinkers, high sensitivity, selectivity, rapid response and stability. Inexpensive compared to breath alcohol monitors. Then, we are selected MQ-3 gas sensor module used to it as prototype equipment due to inexpensive. Fabrication module alcohol biosensor for wearable electronic devices. 2 materials such as SiO_2 and PI use to Structure of thin film. Enzyme ADH and coenzyme NAD^+ was used as biosensors, immobilization on Ag electrode by DC magnetron sputtering method. The efficiency of response alcohol biosensors developed was tested. Alcohol biosensors module and module alcohol biosensors for wearable electronic devices compare with MQ-3 gas sensor module prototype equipment. Furthermore, the technology has been applied to the development of sensors. Next generations, in this work, can be apply or connect to other wearable electronic devices, or used for further analysis of substances.

2. EXPERIMENTAL

2.1 Synthesis thin film by DC magnetron sputtering

2.1.1 Preparation signal layer structure

5-mm thick SiO_2 and PI substrate was ultrasonic cleaner with acetone and deionized water using times 10 minutes. After that 5-mm SiO_2, PI was take dried under nitrogen flow at temperature 250℃ for 4 h for clean the structure by used Tube furnace**.**

2.1.2 Synthesis thin film

Formation a pattern of Ag electrode by DC magnetron sputtering methods, it consists of a DC power supply, Magnetron Sputtering Gun inside the vacuum and magnetron sputtering gun cooling system. After that preparation thin film in the vacuum chamber at base pressure 2.1 mT under Ar gas atmosphere Ar 99.99%, flow rating 23.3±0.1 cm^3 /min and total working pressure 50 mT. Constant frequency DC high voltage power supplies 17.24 kHz adjust the current/potential at the cathode terminals while sputtering, to find the right conditions. The signal layer structure is far from the sputtering target 5.0 cm, during sputtering there is no heating, while doing it takes 15 minutes. Which is the optimum time condition for thin film preparation.

2.2 Alcohol biosensor process

2.2.1 Chemicals

Alcohol Dehydrogenase from *Saccharomyces cerevisiae* ≥ 300 units/mg protein were obtained from Sigma chemical company, and beta-Nicotinamide Adenine Dinucleotide hydrate 98+% (from Germany) used as received. Glutaric dialaehyde 25 wt. % solution in water obtained from Belgium, was diluted to 2.5 wt. % with deionized water. Albumine bovine serum for biochemistry additional reagent IGSS protease was obtained from United States of America. After that, preparation of the phosphate buffer solution by prepared with 0.1 mol/L Na_2HPO_4 and 0.1 mol/L NaH_2PO_4. Next process, all solutions was made up with deionized water. The ADH stock solution were preparation with 100 µL phosphate buffer solution (pH 7.5) and stored at 4℃.

2.2.2 Biosensor process

ADH/NAD^+ was immobilized on the Ag electrode by glutaric dialaehyde/Albumine bovine serum cross-linking procedure. Enzymes solution was obtained by dissolving 3 mg of ADH and 6 mg of NAD^+ in 100 µL of 0.1 mol/L (pH 7.5) phosphate buffer solution. ADH and NAD^+ mixed with vigorous stirring, containing 8 mg Albumine bovine serum. And then the glutaric dialaehyde (2.5 wt. %) was dilute to 2.5% wt, 1.9% wt up to a final concentration of a 0.9% wt. with deionized water. The Glutaric dialaehyde 2.5% wt. which is a bifunctional cross-linking agent was added to the ADH/NAD^+ solution. In the process, the solution was completely mixed. Next steps, the Ag electrodes was immobilized on ADH solution by used micropipettes size 10-100 µl, 10±20 µl enzyme solution was immobilized on them. This procedure, we can take repeated two or three times. After that, the enzyme electrodes was placed in a desiccator for sometimes to the gel formation. The resulting enzyme electrodes as receptor (defined as SiO_2/Ag/ADH, PI/Ag/ADH) and kept dry enzyme structure in phosphate buffer solution (pH 7.5) in refrigerator at 4℃ 5 h before use.

2.3 Analytical method

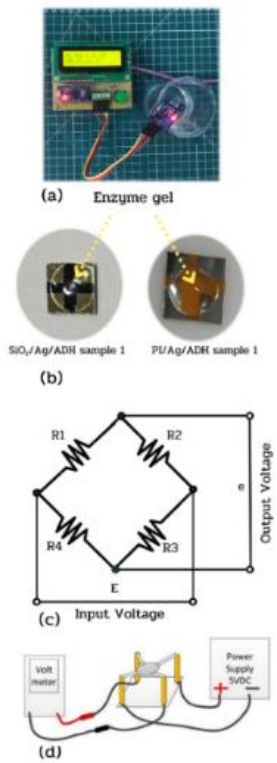


Figure 1. The ethanol gas test

Figure 1 shows the ethanol gas test (a) shown the Ethanol gas response to the MQ-3 alcohol biosensor module. (b) developed signal layer structure material, in figure for the structure of SiO_2/Ag/ADH sample 1 and PI/Ag/ADH sample 1. (c) shown the sensor bridge circuit (d) ethanol gas response test of Module Alcohol biosensor for wearable electronic devices.

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1 XRD analysis

The X-ray diffraction pattern of Ag thin film deposition on SiO_2 and PI substrates shown in Figures 2, 3. The X-ray diffraction patterns of SiO_2 were found at an angle equal 38.3 and 44.3 degree. The X-ray diffraction pattern of SiO_2 is considered which uses the reference position from the ICDD standard number 00-047-1300, was found SiO_2 had a plane equal (211), (202), (212), (203), (302) and (114), respectively. The Ag thin film can be observed and the peak namely (111), (200) according to ICDD number card (00-004-0783) cubic type by plane (111) is Preferred Orientation. It can be said that the thin film coated on SiO_2 material is Ag thin film. As for the Ag thin films coated on the PI material, X-ray diffraction and plane diffraction patterns of the Ag thin films were observed in the same way, there are angles equal 38.3 and 44.3 degree. Crystallite size and lattice constant of main peak (111) are shown in Figure 4, were calculate the lattice constant of the Ag thin film prepared for installation from Eq. (1):

$$d_{hkl} = \frac{\alpha}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (1)$$

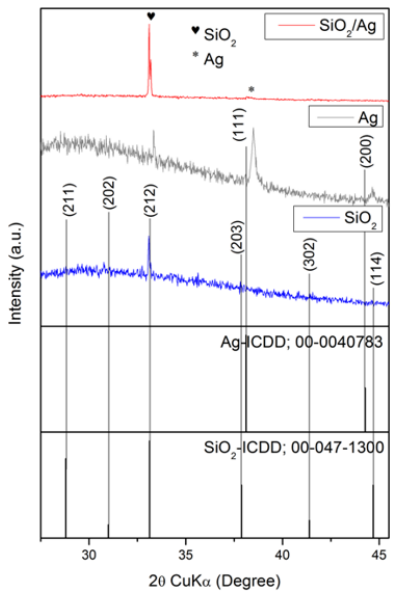


Figure 2. Comparison XRD pattern of thin film Ag based on SiO_2 at deposition times 15 minutes

The grain size was calculated by Scherrer equation from Eq. (2):

$$L = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (2)$$

where, k is constant safe factor 0.9 for Face-centered cubic structure, λ is X-ray diffraction length CuK_α=1.5406 Å, β is full width half maximum intensity (FWHM), θ is the Bragg angle and compare to standard as shown in Table 1.

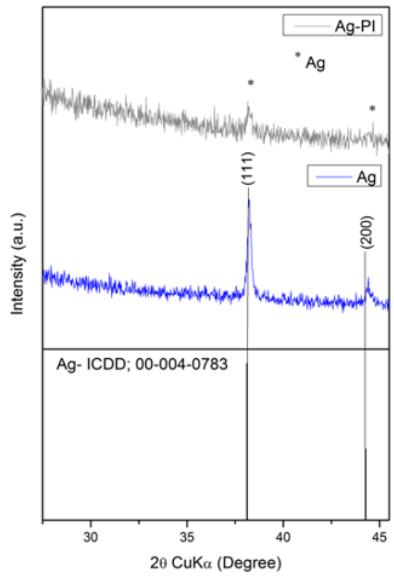


Figure 3. Comparison XRD pattern of thin film Ag based on PI at deposition times 15 minutes

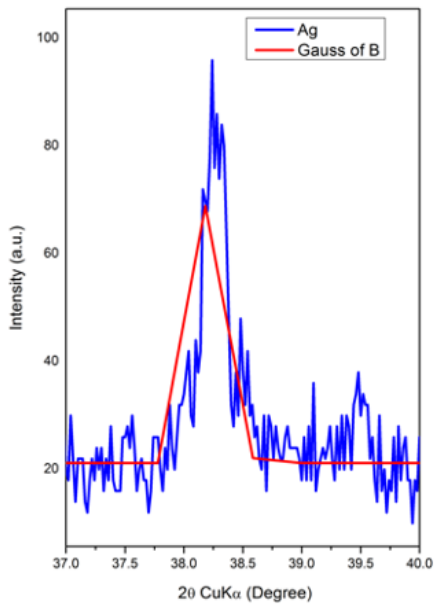


Figure 4. Equiangular X-ray diffraction pattern at an angle equal 2θ to 38.1164 degree

Table 1. A standard and calculated comparison of Ag thin film crystal structure

Standard (ICDD; 00-004-0783)				Ag thin film synthetic				
Peak position (2 theta)	D-spacing (Å)	(hkl)	Lattice constant (Å)	Peak position (2 theta)	D-spacing (Å)	FWHM (Å)	Crystallite size D (nm)	Lattice constant (Å)
38.116	2.359	111	4.086	38.261	2.350	0.262	31.985	4.072

3.2 SEM analysis

Microstructure, the SEM characterization showed the surface morphology of Ag thin film deposited on SiO_2 and PI substrate at different magnification 5.000x and 10.000x shown in Figure 5, Figure 5 (a) (b) shown Ag thin film on SiO_2 and PI at magnifications 5.000x and Figure 5 (c) (d) shown Ag thin film on SiO_2 and PI at magnifications 10.000x. The morphology of Ag thin films with a thickness of 1 µm coated on SiO_2 and PI materials has a smooth surface. Ag thin films coated on SiO_2 materials have a smoother and more graven surface than Ag thin films coated on PI materials, are under the same sputtering conditions.

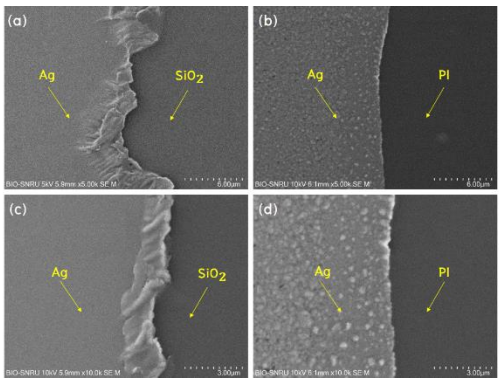


Figure 5. The SEM image of Ag thin film deposited on SiO_2 and PI substrate at magnifications 5.000x and 10.000 x

3.3 Sensing performance of Module Alcohol biosensors

Module alcohol biosensors for wearable electronic devices, as illustrated in Figure 6. Figure 6 (a) (b) is Module alcohol biosensor based on SiO_2/Ag/ADH sample 1, Figure 6 (c) (d) is Module alcohol biosensor based on SiO_2/Ag/ADH sample 2, Figure 6 (e) (f) is Module alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 1 and Figure 6 (g) (h) is Module alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 2. Module alcohol biosensors it can be detected to different gasses to ethanol are under conditions and general environment. All tests are under standard test condition at 25℃±2℃; 65%±5%RH of alcohol and 31℃±2℃; 66%±5%RH of alcohol in the general environment, respectively. Nevertheless, Module alcohol biosensor based on SiO_2/Ag/ADH and PI/Ag/ADH sample 2 tasted by Digital Multimeter Sefram series 7332 brand. In addition, Module alcohol biosensor based on SiO_2/Ag/ADH, PI/Ag/ADH sample 1 used a DC power supply to test by supplying 5 V to them, and then compare with resistance before and after exposure molecule ethanol gas in the air.

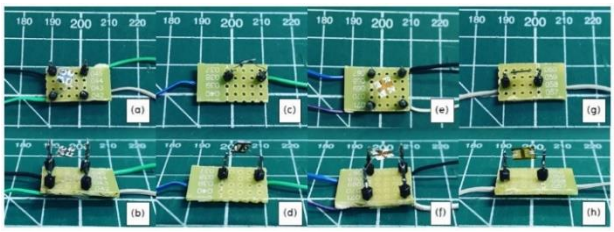


Figure 6. Module alcohol biosensors for wearable electronic devices developed

Electrical Resistivity (RS/RO) measurement of Module alcohol biosensors for wearable electronic devices, as illustrated in Figures 7, 8. The value ordinate means resistance (R) ratio of the sensor (RS/RO), abscissa is concentration of gasses. RS means resistance in different gasses, RO means resistance of sensor in 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40% ethanol concentrations, respectively. Good instrument performance must be within an RS/RO value in the dynamic rang range of 0.001 to 0.999. If the value of ethanol in the air is more than the sensor can detect, the sensor will read a value 0, and if the sensor reads an RS/RO value greater than 1 that mean the volume of ethanol in the air that the sensor can detect in low concentration.

Experimental result it was found that, Module alcohol biosensor based on SiO_2/Ag/ADH sample 1 has an RS/RO range between 0.191 to 22.09 are under conditions and 0.461 to 2.609 in the general environment. Module alcohol biosensor based on SiO_2/Ag/ADH sample 2 has an RS/RO range 1.7 to 12.49 are under conditions and 5.56 to 11.66 in the general environment. Next, Module alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 1 has an RS/RO range 1.786 to 11.622 are under conditions, 5.964 to 10.928 in the general environment and Module alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 2 has an RS/RO range 4.426 to 20.81 are under conditions and 0.85 to 5.794 in the general environment.

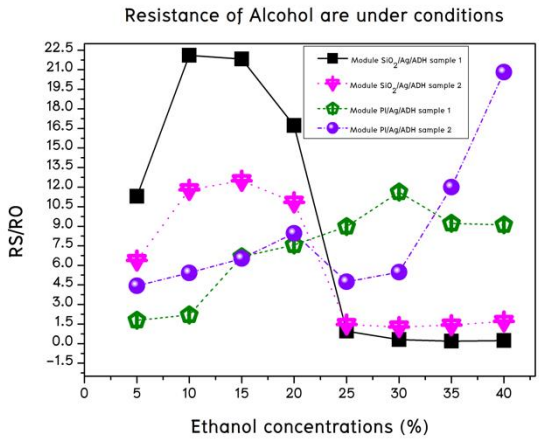


Figure 7. The typical sensitivity characteristics of the module alcohol biosensors are under conditions at temperature 25℃

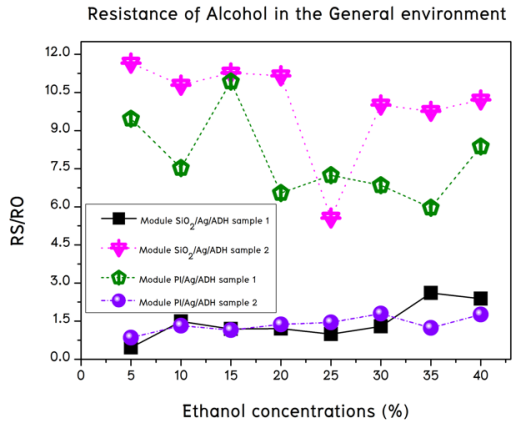


Figure 8. The typical sensitivity characteristics of the module alcohol biosensors in the general environment

Figure 7 can be seen that the alcohol concentration ranges from 5% to 20%, Module alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 1, 2 better responses to ethanol gas more than Module alcohol biosensor based on SiO_2/Ag/ADH sample 1, 2. Module alcohol biosensor SiO_2/Ag/ADH sample

1, 2 is more responsive to ethanol gas at the alcohol concentration range of 25% to 40% are under conditions.

It can be seen that the Module alcohol biosensors for wearable electronic devices based on SiO_2/Ag/ADH sample 1 and PI/Ag/ADH sample 2 better response to ethanol gas more than Module alcohol biosensor based on SiO_2/Ag/ADH sample 2 and Module alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 1 in all concentrations of alcohol are under general environment (Figure 8). The results of the intensive experiments confirmed the efficiency of the effective material selection and inexpensive, that PI material is cheaper compared to SiO_2.

From the above information, it can be concluded that, Module alcohol biosensors for wearable electronic devices can response to ethanol gas in the air by estimated RS/RO value has changed. Next steps, we will modifications Module alcohol biosensors for electronic devices by fabrication with MQ-3 gas sensor module used as an equipment prototype for used sensors for detecting ethanol gas in type compact and easy to use. We selected MQ-3 gas sensor module as an equipment prototype because cheap cost around 60 baths in Thai and just equal 2 USD.

3.4 Sensing performance of MQ-3 Alcohol biosensors module developed

Wearable platforms are an artificial intelligent interest in this generation, after are made module alcohol biosensors, recent advance have been made by incorporating MQ-3 gas sensor module equipment prototype, as illustrated in Figure 9 and shows structure of them. Figure 9 (a) (b) are MQ-3 gas sensor module shown the internal structure which compound Al_2O_3/Au/SnO_2, Figure 9 (c) (d) are MQ-3 alcohol biosensor module shown the internal structure which compound SiO_2/Ag/ADH sample 1, Figure 9 (e) (f) are MQ-3 alcohol biosensor module shown the internal structure which compound PI/Ag/ADH sample 1 and Figure 9 (g) (h) is MQ-3 alcohol biosensor module shown the internal structure which compound PI/Ag/ADH sample 2, respectively.

Accordingly, we demonstrated wirelessly operable MQ-3 alcohol biosensors module with MQ-3 gas sensor module by supplying 5 V DC power supply. Rapid response to ethanol gas in both (RS/RO) value of the MQ-3 gas sensor module with MQ-3 alcohol biosensors module developed shown in Figures 10, 11. We used MQ-3 gas sensor module is reference and calibrations with MQ-3 alcohol biosensors module developed. The MQ-3 alcohol biosensors module developed are test under standard condition test at 25°C±2°C; 65%±5%RH of alcohol and 31°C±2°C; 65%±5%RH, 31°C±2°C; 66%±5%RH, 29°C±2°C; 66%±5%RH and 27°C±2°C; 65%±5%RH of alcohol in the general environment.

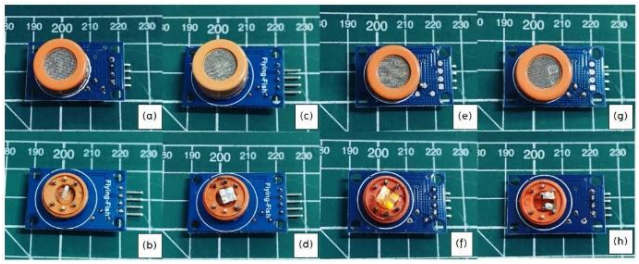


Figure 9. Structure of MQ-3 gas sensor module with MQ-3 Alcohol biosensors module developed

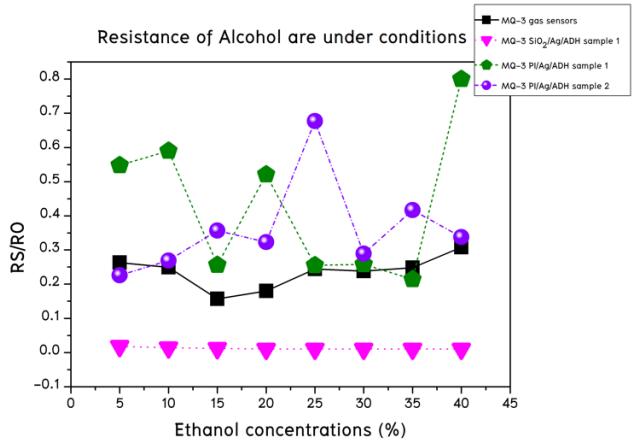


Figure 10. The typical sensitivity characteristics of the MQ-3 gas sensor module with MQ-3 alcohol biosensors module developed are under conditions temperature at 25°C

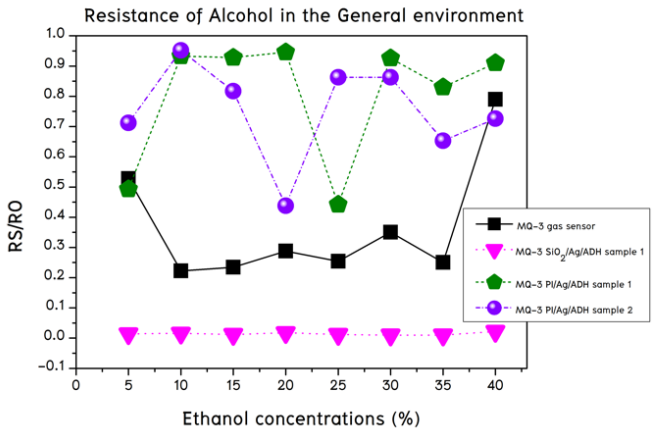


Figure 11. The typical sensitivity characteristics of the MQ-3 gas sensor module with MQ-3 alcohol biosensors module developed in the general environment

When exposure to ethanol gas MQ-3 alcohol biosensors module as illustrated in Figures 10, 11, RS/RO data will be chance when enzymatic oxidation of ethanol gas in the air. ADH defined as receptor, the RS/RO value shown a value of 1, which means no ethanol molecules in the air. It was found that, firstly MQ-3 gas sensor module equipment prototype has an RS/RO value in the range 0.18 to 0.308 and 0.222 to 0.79. Secondly, MQ-3 alcohol biosensor based on SiO_2/Ag/ADH sample 1 has an RS/RO value in the range 0.014 to 0.01 and 0.012 to 0.022. Thirdly, MQ-3 alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 1 has an RS/RO value in the range 0.214 to 0.59 and 0.442 to 0.946. And last MQ-3 alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 2 has an RS/RO value in the range 0.226 to 0.677 and 0.4383 to 0.952 are tests under standard conditions and general environment. Figures 10, 11 show response efficiency to ethanol gas of biosensors. In conclusion, MQ-3 alcohol biosensors based on PI/Ag/ADH sample 1, 2 response better to ethanol gas more than MQ-3 gas sensor module equipment prototype and MQ-3 alcohol biosensors based on SiO_2/Ag/ADH sample 1 are under conditions. In general environment, it was found that MQ-3 alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 1, 2 responses better to ethanol gas more than MQ-3 gas sensor module equipment prototype and MQ-3 alcohol biosensors based on SiO_2/Ag/ADH sample 1 also even under general environment.

3.5 Power of Sensitivity (Ps) body of the MQ-3 Alcohol biosensors module developed

Ps of MQ-3 Alcohol biosensors module developed with the MQ-3 gas sensor module are under conditions at ≤0.6(31Ω±3Ω) 25℃±2℃; 65%±5%RH of alcohol and under general environment at ≤0.6(31Ω±3Ω) 31℃±2℃; 65%±5%RH, 31℃±2℃; 66%±5%RH, 29℃±2℃; 66%±5%RH and 27℃±2℃; 65%±5%RH. As illustrated in Figures 12, 13 were calculate by Eq. (3):

$$Ps = Vc^2 \times Rs / (Rs + RL)^2 \quad (3)$$

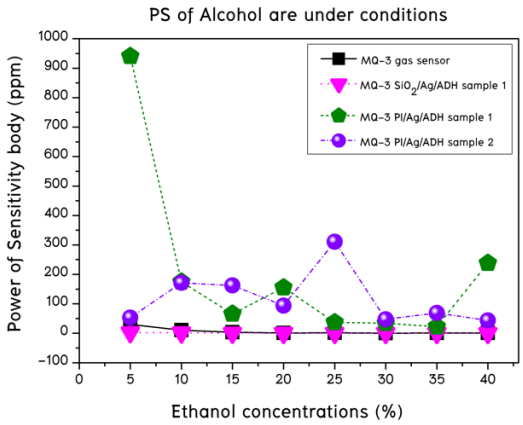


Figure 12. Ps body of the MQ-3 alcohol biosensors module developed with MQ-3 gas sensor module exposure to ethanol are under conditions temperature at 25℃

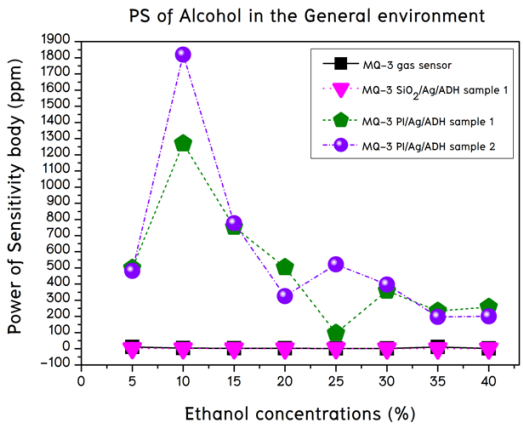


Figure 13. Ps body of the MQ-3 alcohol biosensors module developed with MQ-3 gas sensor module exposure to ethanol gas in general environment

Figures 12, 13 show the Ps body of the MQ-3 alcohol biosensors module developed with MQ-3 gas sensor module exposure to ethanol gas. It was found that, are under conditions the MQ-3 gas sensor module can detected ethanol gas dynamic range 1 to 30 ppm and 1 to 10 ppm in the general environment. As illustrated in Figures 12, 13. Our MQ-3 alcohol biosensors module it can be detected ethanol gas in the air in dynamic range 309 ppb to 941 ppm by MQ-3 alcohol biosensor based on SiO_2/Ag/ADH sample 1 it can be detected at 309 ppb to 3 ppm, MQ-3 alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 1 it can be detected at 23 to 941 ppm and MQ-3 alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 2 it can be detected at 44 to 311 ppm, as illustrated in Figure 12. In general environment, Our MQ-3 alcohol biosensors module it can be detected ethanol gas in dynamic range 309 ppb to 1900 ppm. The MQ-3 alcohol biosensor based on SiO_2/Ag/ADH sample 1 it can be detected at 309 ppb to 3 ppm, MQ-3 alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 1 it can be detected at 97 to 1270 ppm and MQ-3 alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 2 it can be detected at 197 to 1819 ppm. Thus, the MQ-3 alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 1, 2 can detected ethanol gas over a wider range of alcohol concentrations and suitable the most.

The Diagram showing the detector operation when the receptor detects ethanol gas of the MQ-3 alcohol biosensors module developed, coupled enzymatic oxidation of ethanol gas in the air as illustrated in Figure 14.

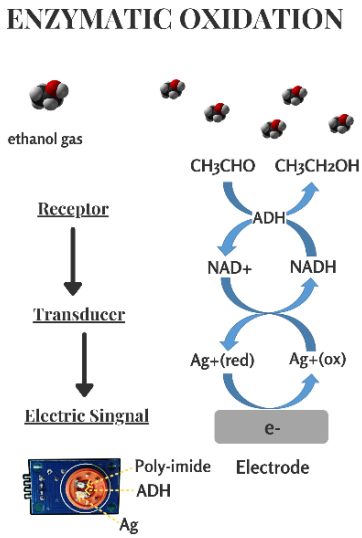


Figure 14. Enzymatic oxidation of ethanol gas in the air

Sensitivity curve of the VRL means the loop voltage (VC) is used to detect the voltage VRL on load resistance. Sensitivity curve of the VRL indicates the detection capability of ethanol gas inversely proportional to the sensor's electrical power supply, by the material being the translator of the electrode and the dependent variable, temperature and humidity as a control translator, as illustrated in Figures 15, 16. Figures 15, 16(a) shown the sensitivity curve of the VRL of MQ-3 gas sensor module, Figures 15, 16(b) are MQ-3 alcohol biosensor based on SiO_2/Ag/ADH sample 1, Figures 15, 16(c) are MQ-3 alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 1 and Figures 15, 16(d) are MQ-3 alcohol biosensor based on PI/Ag/ADH sample 2 are test under standard conditions and general environment, Figures 15, 16. The graph shows that VRL value has changed the way electrochemical transistor when the receptor can sensing ethanol gas and recovered in the absence of ethanol gas in the air during 1-2 minutes.

Figures 15, 16 show sensitivity curve of the VRL in alcohol with different concentrations. Sensitivity curve of the VRL demonstrates the ability to detect ethanol gas inversely proportional to the sensor's electrical power supply. First, the MQ-3 gas sensor module equipment prototype VRL voltage is used to power the sensor with an average value of 2.999 V and 2.633 V, (Figures 15, 16(a)) when comparison between VRL voltage and Sensitivity to ethanol gas, it was found that, MQ-3 gas sensor module equipment prototype it uses moderate electrical power and can detected ethanol gas at a low concentration range. Second, the MQ-3 alcohol biosensors based on SiO_2/Ag/ADH sample 1 VRL voltage is used to power the sensor with an average value of 4.92 V equal (Figures 15, 16(b)), it is very electrically powered and detects

ethanol gas at a very small range of concentrations in the ppb scale. Third, the MQ-3 alcohol biosensors based on PI/Ag/ADH sample 1 VRL voltage is used to power the sensor with an average value of 0.439 V and 0.200 V (Figures 15, 16(c)), it consumes little electricity and can detected ethanol gas at a range of concentrations from the low concentration to the high concentration range and the MQ-3 alcohol biosensors based on PI/Ag/ADH sample 2 VRL voltage is used to power the sensor with an average value of 0.466 V and 0.198 V (Figures 15, 16(d)), it consumes little electricity and can detected ethanol gas at a range of concentrations from the low concentration to the high also as the MQ-3 alcohol biosensors based on PI/Ag/ADH sample 1, all test are under standard conditions and general environment. Finally, it can be concluded that, MQ-3 alcohol biosensors based on PI/Ag/ADH sample 1, 2 it uses less VRL voltage to power than MQ-3 gas sensor module equipment prototype and MQ-3 alcohol biosensors based on SiO_2/Ag/ADH sample 1 calculate 2% and 4% respectively. The ability to save energy is a key feature of the artificial intelligence platform.

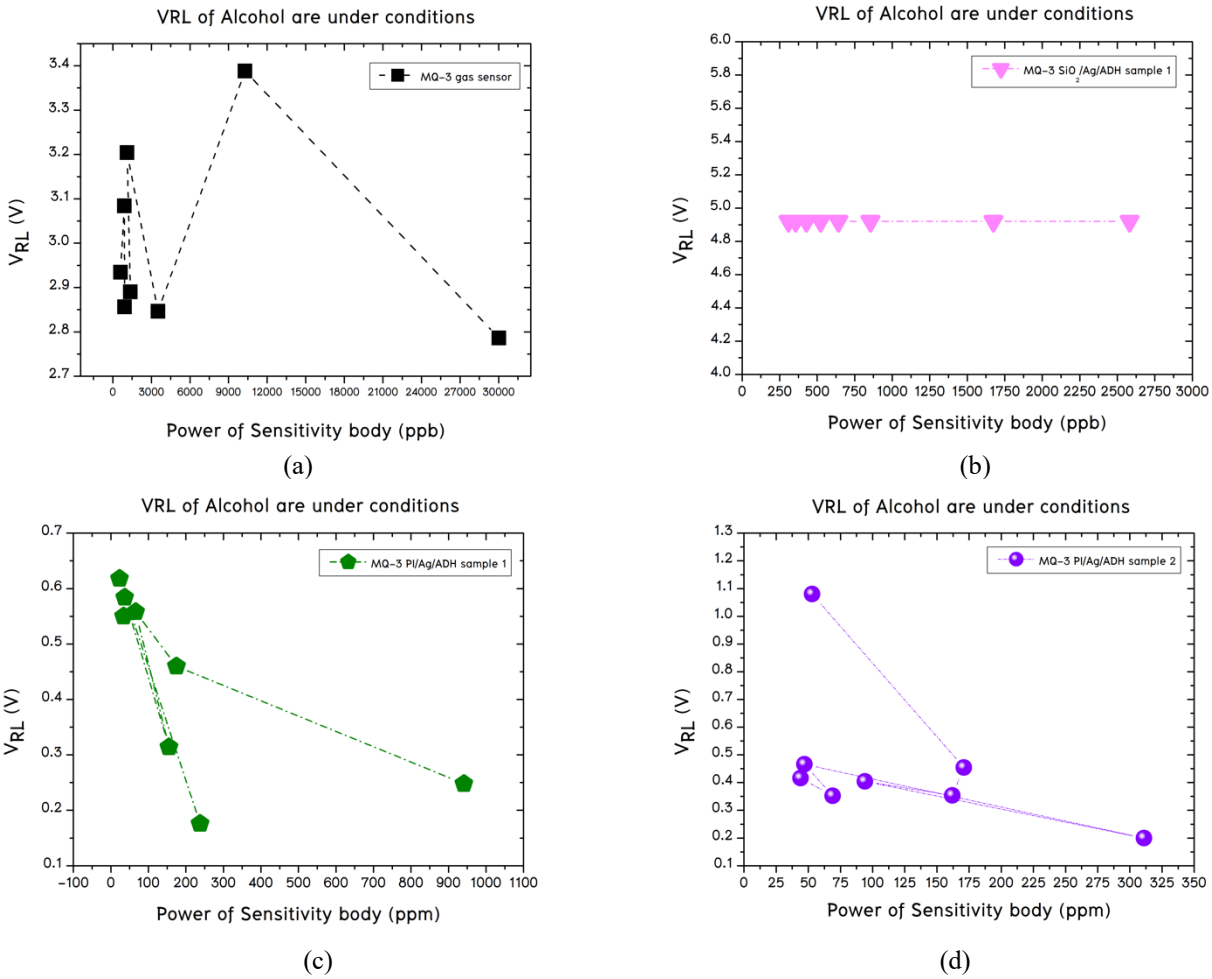
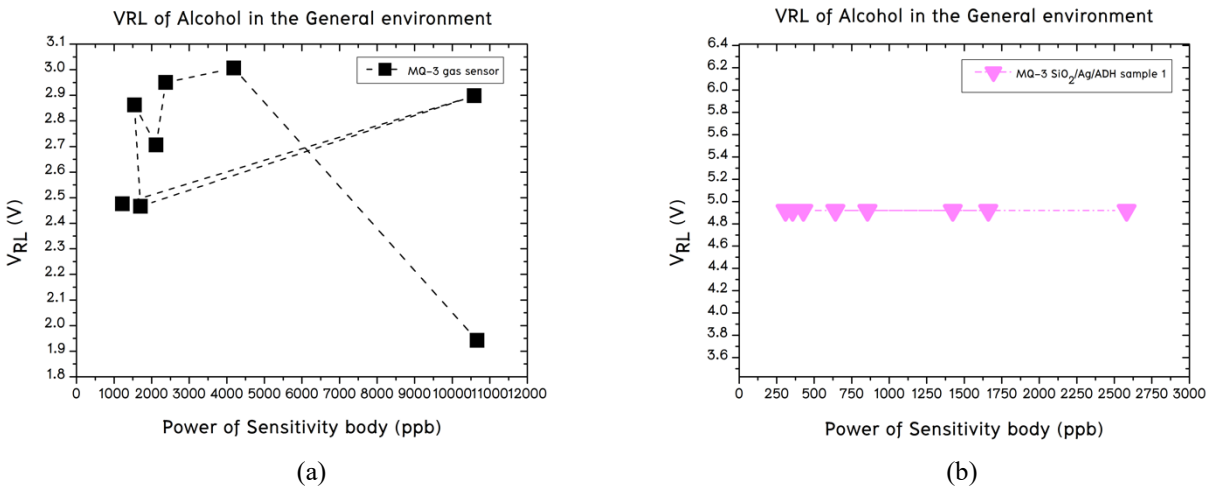
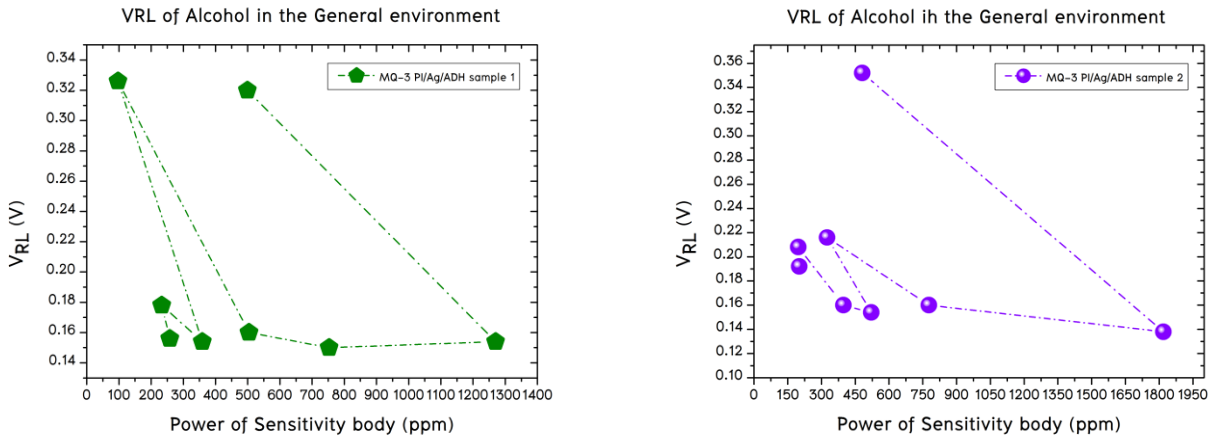


Figure 15. Sensitivity Curve of the VRL in Alcohol with different concentrations are under standard conditions





(c) (d)

Figure 16. Sensitivity curve of the VRL in alcohol with different concentrations in the general environment

4. CONCLUSIONS

We demonstrated the first Alcohol biosensor made with MQ-3 gas sensor module based on SiO_2 and PI substrates is an electrochemical transistor integrated with the enzyme ADH and coenzyme NAD^+. The alcohol biosensors are easy to fabricate using DC magnetron sputtering techniques, made on an inexpensive, easy to integrate. We showed that the alcohol biosensors detection ethanol gas in the air, calibration with the MQ-3 gas sensor module equipment prototype. It can be concluded from the experimental results, our MQ-3 alcohol biosensors based on PI/Ag/ADH sample 1, 2 can detected ethanol gas from the range of low concentration to the range of high concentration. Detects ethanol gas in a wider range compared with MQ-3 gas sensor module equipment prototype and MQ-3 alcohol biosensors based on SiO_2/Ag/ADH sample 1. In next generation, module alcohol biosensors can adoption to technology in sensor development and applied for further analysis of other substances.

ACKNOWLEDGMENT

This work is financial supported by Thailand Research Fund (TRF) Research Career Development Grant, (RSA6180070).

REFERENCES

[1] Rothschild, M.L., Mastin, B., Willer, T.W. (2006). Reducing alcohol impaired driving crashes through the use of social marketing. Accident Analysis & Prevention, 38(6): 18-30. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2006.05.010

[2] Dula, C.S., Dwyer, W.O., Leverng, G. (2007). Policing the drunk driver: measuring law enforcement involvement in reducing alcohol-impaired driving. Journal of Safety Research, 38(3): 67-72. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2006.10.007

[3] Mishra, K.R., Sempionatto, R.J., Li, Z., et al. (2020). Simultaneous detection of salivary Δ^9 - tetrahydrocannabinol and alcohol using a Wearable Electrochemical Ring Sensor. Talanta, 211: 120757. http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2020.120757

[4] Kim, S.Y., Kim, J., Cheong, W.H., et al. (2018). Alcohol gas sensor capable of wireless detection using In_2O_3 /Pt nanoparticles and Ag nanowires. Sensors and Actuators B: Chemical, 259: 825-832. https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.12.139

[5] Winsen, Z. (2022). SENSORS. http://www.winsen-sensor.com/contract.html, accessed on Apr. 13, 2022.

[6] Kitagawa, Y., Kitabatake, K., Suda, M., et al. (1991). Amperometric detection of alcohol in beer using a flow cell and immobilized alcohol dehydrogenase. Anal Chem., 63(20): 2391-2393. http://dx.doi.org/10.1021/ac00020a036

[7] Blanke, R.V., Decker, W.J. (1987). Analysis of toxic substance. In: Tietz NW, editor. Fundamentals of clinical chemistry. Philadelphia, PA. WB Saunders Co, 869-905.

[8] Vijayakumar, A.R., Csöregi, E., Heller, A., Gorton, L. (1996). Alcohol biosensors based on coupled oxidase-peroxidase systems. Anal Chim Acta, 327(3): 223-234. https://doi.org/10.1016/0003-2670(96)00093-1

[9] Chinvejkitwanich, W., Panuvej, C., Issaravanich, S. (1998). Measurement the level of Blood Alcohol Concentration after drinking alcoholic beverages. Journal of Health Systems Research, 6(2): 106-116. https://kb.hsri.or.th/dspace/bitstream/handle/11228/1098/jv6n2-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

[10] Gülce, H., Gülce, A., Kavanoz, M., Coskun, H., Yildiz, A. (2002). A new amperometric enzyme electrode for alcohol determination. Biosensor Bioelectron, 17(6-7): 517-521. http://dx.doi.org/10.1016/S0956-5663(02)00008-8

[11] Kuswandi, B., Irmawati, T., Hidayat, A.M., Jayus, J., Ahmad, M. (2014). A simple visual ethanol biosensor based on alcohol oxidase immobilized onto polyaniline film for halal verification of fermented beverage samples. Sensors, 14(2): 2135-2149. http://dx.doi.org/10.3390/s140202135

[12] Cai, C.X., Xue, K.H., Zhou, Y.M., Yang, H. (1997). Amperometric biosensor for ethanol based on immobilization of alcohol dehydrogenase on a nickel hexacyanoferrate modified microband gold electrode. Talanta, 44(3): 339-347. http://doi.org/10.1016/s0039-9140(96)02049-8

[13] Wang, Z., Etienne, M., Quiles, F., Kohring, G.W., Walcarius, A. (2012). Durable cofactor immobilization

in sol–gel bio-composite thin films for reagentless biosensors and bioreactors using dehydrogenases. Biosensors and Bioelectronics, 32(15): 111-117. http://doi.org/10.1016/j.bios.2011.11.043
[14] Mullor, S.G., Cabezudo, M.S., Ordieres, A.J., Ruiz, B.L. (1996). Alcohol biosensor based on alcohol dehydrogenase and Meldola blue immobilized into a carbon paste electrode. Talanta, 43(5): 779-784. http://doi.org/10.1016/0039-9140(95)01802-6
[15] Santos, A.S., Freire, R.S., Kubota, L.T. (2003). Highly stable amperometric biosensor for ethanol based on Meldola's blue adsorbed on silica gel modified with niobium oxide. J Electroanal Chem, 547(2): 135-142. http://dx.doi.org/10.1016/S0022-0728(03)00186-4
[16] Sprules, S.D., Hartley, I.C., Wedge, R., Hart, J.P., Pittson, R. (1996). A disposable reagentless screen-printed amperometric biosensor for the measurement of alcohol in beverages. Anal Chim Acta, 329(3): 215-221. https://doi.org/10.1016/0003-2670(96)00121-3
[17] Kolmakov, A., Klenov, D.O., Lilach, Y., Stemmer, S., Moskovits, M. (2005). Enhanced gas sensing by individual SnO_2 nanowires and nanobelts functionalized with pd catalyst particles. Nano. Lett., 5(4): 667-673. https://doi.org/10.1021/nl050082v
[18] Jin, C.H., Park, S.H., Kim, H.S., Lee, C. (2012). Ultrasensitive multiple networked Ga_2O_3-core/ZnO-shell nanorod gas sensors. Sens Actuators B, 161(1): 223-228. https://doi.org/10.1016/j.snb.2011.10.023
[19] Park, S.H., An, S.Y., Ko, H.S., Jin, C.H., Lee, C. (2012). Synthesis of nanograined ZnO nanowires and their enhanced gas sensing properties. ACS Appl Mater Interfaces, 4(7): 3650-3656. https://doi.org/10.1021/am300741r
[20] Kwon, Y.J., Kim, H.S., Lee, S.M., Chin, I.J., Seong, T.Y., Lee, W.I. (2012). Enhanced ethanol sensing properties of TiO_2 nanotube sensors. Sens Actuators B, 173: 441-446. https://doi.org/10.1016/j.snb.2012.07.062
[21] Sun, Y.F., Liu, S.B., Meng, F.L., Liu, J.Y., Jin, Z., Kong, L.T., Liu, J.H. (2012). Metal oxide nanostructures and their gas sensing properties: A review. Sensors, 12(3): 2610-2631. http://dx.doi.org/10.3390/s120302610
[22] Kim, B.Y., Cho, J.S., Yoon, J.W., et al. (2016). Extremely sensitive ethanol sensor using Pt-doped SnO_2 hollow nanospheres prepared by Kirkendall diffusion. Sens Actuators B Chem, 234: 353-360. http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2016.05.002
[23] Tsai, M.H., Huang, S.L. (2006). Synthesis and Characteristics of polyimide/siloxane hybrid films for reliability adhesion. Surface and Coatings Technology, 200(10), 3297-3302. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.07.030
[24] Qi, H.X., Wang, X.L., Zhu, T.S., Li, J., Xiong, L., Liu, F. (2019). Low dielectric poly (imide siloxane) films enabled by a well-defined disiloxane-linked alkyl diamine. American Chemical Society, 4(26): 22143-22151. https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03302
[25] Ghaemy, M., Nasab, S.M.A. (2010). Synthesis and identification of organosoluble polyimides: Thermal, photophysical and chemiluminescence properties. Polym. J., 42: 648-656. https://doi.org/10.1038/pj.2010.57
[26] Chou, W.Y., Kuo, C.W., Chang, C.W., Yeh, B.L., Chang, M.H. (2010). Tuning surface properties in photosensitive polyimide. Material design for high performance organic thin-film transistors. J. Mater. Chem., 20(26): 5474-5480. http://doi.org/5474-5480. 10.1039/c0jm00196a
[27] Jiang, L.Z., Liu, J.G., Wu, D.Z., Li, H.Q., Jin, R.G. (2006). A methodology for the preparation of nanoporous polyimide films with low dielectric constants. Thin Solid Films, 510(1-2): 241-246. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2005.12.216
[28] Jin, X.Z., Ishii, H. (2005). Novel positive-type photosensitive polyimide with low dielectric constant. J. AppI. PoIym. Sci., 98(1): 15-21. https://doi.org/10.1002/app.21994
[29] Kim, J., Kim, M., Lee, M.S., et al. (2017). Wearable smart sensor systems integrated on soft contact lenses for wireless ocular diagnostics. Nat Commun., 8: 14997. http://dx.doi.org/10.1038/ncomms14997
[30] Park, J., Kim, J., Kim, K., et al. (2016). Wearable wireless gas sensors using highly stretchable and transparent structures of nanowires and graphene. Nanoscale, 8(20): 10591-10597. http://dx.doi.org/10.1039/C6NR01468B
[31] Choi, S., Park, J., Hyun, W., et al. (2015). Stretchable heater using ligand-exchanged silver nanowire nanocomposite for wearable articular thermotherapy. ACS Nano, 9(6): 6626-6633. http://dx.doi.org/10.1021/acsnano.5b02790
[32] Lee, M.S., Lee, K., Kim, S.Y., et al. (2013). High-performance transparent and stretchable electrodes using graphene-metal nanowire hybrid structures. Nano Lett, 13(6): 2814-2821. http://dx.doi.org/10.1021/nl401070p
[33] Li, H.F., Ding, G.F., Yang, Z.Q. (2019). A high sensitive flexible pressure sensor designed by silver nanowires embedded in polyimide (AgNW-PI). Micromachines, 10(3): 206. https://doi.org/10.3390/mi10030206

NOMENCLATURE

SiO_2/Ag/ADH	Silicon Dioxide Silver Alcohol Dehydrogenase
PI/Ag/ADH	Poly-imide Silver Alcohol Dehydrogenase

Greek symbols

α	thermal diffusivity, $m^2.\ s^{-1}$
β	thermal expansion coefficient, K^{-1}
θ	dimensionless temperature
λ	wavelength

Subscripts

SiO_2	silicon dioxide
PI	poly-imide
Ag	silver
ADH	alcohol dehydrogenase
NAD^+	nicotinamide adenine dinucleotide
PBS	phosphate buffer solution

arXiv:2112.13229v2 [cond-mat.mtrl-sci] 17 Jun 2022

Spin-tunable thermoelectric performance in monolayer chromium pnictides

Melania S. Muntini,[1,*] Edi Suprayoga,[2,†] Sasfan A. Wella,[2] Iim Fatimah,[1] Lila Yuwana,[1] Tosawat Seetawan,[3,4] Adam B. Cahaya,[5] Ahmad R. T. Nugraha,[2] and Eddwi H. Hasdeo[2,6,‡]

[1] *Department of Physics, Faculty of Science and Data Analytics, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia.*
[2] *Research Center for Quantum Physics, National Research and Innovation Agency, Tangerang Selatan 15314, Indonesia.*
[3] *Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000, Thailand.*
[4] *Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000, Thailand.*
[5] *Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia*
[6] *Department of Physics and Material Science, University of Luxembourg, L-1511 Luxembourg.*

(Dated: June 20, 2022)

Historically, finding two-dimensional (2D) magnets is well known to be a difficult task due to instability against thermal spin fluctuations. Metals are also normally considered poor thermoelectric (TE) materials. Combining intrinsic magnetism in two dimensions with conducting properties, one may expect to get the worst for thermoelectrics. However, we will show this is not always the case. Here, we investigate spin-dependent TE properties of monolayer chromium pnictides (CrX, where X = P, As, Sb, and Bi) using first-principles calculations of electron- and phonon-energy dispersion, along with Boltzmann transport formalism under energy-dependent relaxation time approximation. All the CrX monolayers are dynamically stable and they also exhibit half metallicity with ferromagnetic ordering. Using the spin-valve setup with antiparallel spin configuration, the half metallicity and ferromagnetism in monolayer CrX enable manipulation of spin degrees of freedom to tune the TE figure of merit (ZT). At optimized chemical potential and operating temperature of 500 K, the maximum ZT values ($\approx$ 0.22, 0.12, and 0.09) with the antiparallel spin-valve setup in CrAs, CrSb, and CrBi improve up to almost twice the original values ($ZT \approx$ 0.12, 0.08, and 0.05) without the spin-valve configuration. Only in CrP, which is the lightest species and less spin-polarized among CrX, the maximum ZT ($\approx$ 0.34) without the spin-valve configuration is larger than that ($\approx$ 0.19) with the spin-valve one. We also find that, at 500 K, all the CrX monolayers possess exceptional TE power factors of about 0.02–0.08 W/m.K^2, which could be one of the best values among 2D conductors.

I. INTRODUCTION

Thermoelectric (TE) materials convert heat directly into electricity so that they could be beneficial for powering electronic devices in some situations where heat loss is abundant [1], such as from automotive engines, high-performance computers, or even human bodies. For most of the applications at moderate temperature (around 500 K), the cost-effective power generation of the TE materials requires a high power factor (PF) on the order of at least 10^{-3} W/m.K^2 [2]. Besides PF, there is also an efficiency-related quantity known as the dimensionless figure of merit, ZT, which one can calculate by the following formula [1]:

$$ZT = \frac{\mathrm{PF}}{\kappa}T = \frac{S^2\sigma}{\kappa_e + \kappa_{ph}}T, \tag{1}$$

where S is the Seebeck coefficient, σ is the electrical conductivity, T is the operating temperature, and κ is the total thermal conductivity (sum of the electronic contribution κ_e and lattice (or phonon) contribution κ_{ph}). Therefore, in conventional thermoelectrics, to obtain as large ZT as possible, we need simultaneously high S, high σ, and low κ. This condition is, unfortunately, difficult to achieve by nature [3–5]. For example, in normal metals, σ and electronic part of κ (denoted by κ_e) depend on each other through the Wiedemann-Franz law [6], which prohibits very high σ and very low κ to emerge simultaneously. Furthermore, S (σ) in metals or other conducting materials is lower (higher) than S (σ) in semiconductors or insulators [7]. In this regard, much of thermoelectrics research in the past decades has often focused on semiconductors to find optimal values of the TE transport coefficients (S, σ, and κ) that can give $ZT > 1$ [8]. On the other hand, most conductors usually only possess $ZT < 0.1$ [9].

Recent advances in two-dimensional (2D) materials have also opened up an opportunity for exploring high-performance thermoelectrics in low dimensions [10–12]. For example, black phosphorus [13–15], transition metal dichalcogenides [16, 17], and group-III chalcogenides [18, 19] in the family of 2D semiconductors have been found to exhibit better TE performance than their bulk counterparts. Pioneering studies by Dresselhaus' group have pointed out that the quantum confinement effect plays

* melania@physics.its.ac.id
† edi.suprayoga@brin.go.id
‡ eddwi.hesky.hasdeo@brin.go.id

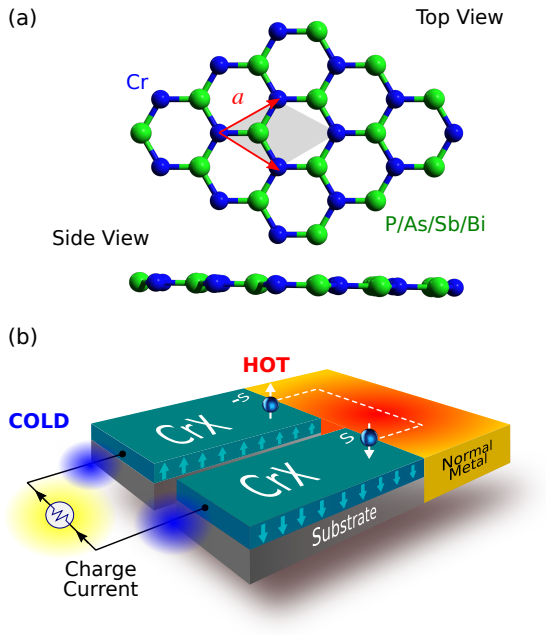


FIG. 1. (a) Geometrical structure of 2D chromium pnictides with honeycomb (hexagonal) lattice. (b) Spin-valve device setup with antiparallel spin configuration.

a crucial role in improving PF or ZT in low dimensions [20, 21]. In particular, when the confinement length is less than the thermal de Broglie wavelength of the material under consideration, the PF enhancement is theoretically guaranteed to be achieved [22]. However, the theory assumed the material does not have intrinsic magnetism and is not spin-polarized. Therefore, to obtain high-performance thermoelectrics in 2D materials with intrinsic magnetism, it seems that one needs to consider another enhancement technique beyond quantum confinement and find the materials that can utilize the mechanism.

Before looking for suitable 2D magnets for thermoelectrics, one should note that the difficulty of obtaining long-range magnetic order in two dimensions is a long-standing problem that prevents most 2D materials from possessing intrinsic magnetism. According to the Mermin-Wagner theorem, the long-range magnetic order in isotropic 2D magnets at finite temperatures is unstable against thermal spin fluctuations [23]. However, by the presence of magnetic anisotropy, some materials such as CrI_3 and $Cr_2Ge_2Te_6$ can emerge as 2D magnets with the magnetic order depending on the number of layers [24, 25]. Analyzing the structural simplicity of CrI_3, one may expect the other 2D Cr-based honeycomb structures [Fig. 1(a)] may also lead to intrinsic magnetism. Indeed, recent studies on monolayer chromium pnictides (CrX, where X = P, As, Sb, and Bi) suggested that monolayer CrX can be another 2D magnet, yet half-metallic. While monolayer CrI_3 as a *semiconductor* is potentially a good TE material [26, 27], we do not know whether monolayer CrX can perform similarly to CrI_3. Note that CrI_3 also exhibit spin-dependent TE properties, with the ZT value, at 500 K, of about 0.26, which is high enough for the family of 2D materials (c.f. monolayer MoS_2 with $ZT \sim 0.11$ [16] and InSe with $ZT \sim 0.5$ [28] at the same temperature). However, the constant relaxation time approximation used in Refs. [26] and [27] might not be accurate enough for the ZT calculation. Moreover, although the TE transport coefficients in CrI_3 are spin-dependent, there is no clear advantage of the spin polarization for the ZT enhancement in CrI_3 because one cannot utilize the spin degrees of freedom in semiconductors using the spin-valve TE device [29]. By contrast, half metallicity in monolayer CrX may allow manipulation of spin degrees of freedom to enhance the ZT.

In this work, we will show our simulation suggesting that the ZT values in monolayer CrX can increase using the spin-valve setup with antiparallel configuration [Fig. 1(b)]. Since the majority carriers (spin-up states) are metallic and the minority ones (spin-down states) are semiconducting, the PF values in monolayer CrX are also exceptionally high for a 2D material because the minority carriers contribute to a high Seebeck coefficient, while the majority carriers contribute to high electrical conductivity. We perform the calculations for TE transport coefficients within the linearized Boltzmann transport theory and energy-dependent relaxation time approximation, with electronic energy and phonon dispersion relations obtained from first-principles density functional theory (DFT), as outlined in the next section.

II. COMPUTATIONAL METHODS

All optimized geometrical structures, electronic properties, and phonon dispersion relations of CrX monolayers are calculated with DFT as implemented in the Quantum ESPRESSO code [1]. We employ the optimized norm-conserving Vanderbilt (ONCV) pseudopotentials [2, 3] to describe the interaction between electrons and ions. We use the Perdew-Burke-Ernzerhof functional [4] under generalized gradient approximation to describe exchange-correlation energy and potential. The wave functions are expanded in plane-wave basis sets with the cutoff energy as high as ∼820 eV. We sample the Brillouin zone using dense $32 \times 32 \times 1$ and $64 \times 64 \times 1$ Monkhorst-Pack (MP) grids for calculations of optimized geometry and density of states, respectively. All structures are relaxed until the maximum Hellmann-Feynman force per atom is less than 0.26 meV/Å. We set a vacuum layer to 30 Å to avoid the interlayer interactions due to the lattice periodicity. We then obtain the optimized lattice constants a [see Fig. 1(a)] of 3.88, 3.94, 4.39, and 4.58 Å for CrP, CrAs, CrSb, and CrBi, respectively, in good agreement with available data in the literature [34, 35]. With the optimized geometry data, we can calculate the ground-state electronic structures of monolayer CrX.

We use DFT+U improvement of accuracy, especially for Cr, to include the effects of strong electronic correlations. Following a prior theoretical study [34], $U = 3$ eV can be employed for Cr atoms with the spin polarization taken into account for all the systems. The initial magnetic moment of each CrX is set to three times Bohr magneton (μ_B). After relaxation, the resulting magnetic moments of CrP, CrAs, CrSb, and CrBi monolayers are $2.97\mu_B$, $3.00\mu_B$, $3.00\mu_B$, and $3.00\mu_B$, respectively, which agree well with the reported value of $3\mu_B$ in the literature [34, 35]. For the spin-unpolarized band structures, readers can refer to Supplementary Material Fig. S1 [36]. Although CrX monolayers here posssess non-zero magnetic moments, the DFT+U method is already sufficient and consistent with the DFT+U+J method because the J parameter for these cases was found to be small enough, around 10 meV [34, 35]. The dynamical stability of CrX is also confirmed by calculating the phonon dispersion [Fig. S2 in the Supplementary Material] with the dynamical matrix evaluated on the $4 \times 4 \times 1$ MP grid of **q**-points [36]. Note that we do not consider van der Waals interaction in this study because it will not change the band structure significantly; it only gives a minor change in the lattice constants [34, 35].

Having complete information of electronic structures, we calculate the TE transport coefficients using BoltzTraP2 code [6] within linearized Boltzmann transport theory and energy-dependent relaxation time approximation. The moment of the generalized transport coefficient with spin index $j =\uparrow$ and $\downarrow$ is given by,

$$\mathcal{L}_j^{(\alpha)} = e^2 \sum_{n,\mathbf{k}} \tau_{n,\mathbf{k}} v_{n,\mathbf{k}}^2 (\varepsilon_{n,\mathbf{k}} - \mu)^\alpha \left(-\frac{\partial f_{n,\mathbf{k}}}{\partial \varepsilon_{n,\mathbf{k}}} \right). \quad (2)$$

This kernel is used to calculate the electrical conductivity, the Seebeck coefficient, and the electron thermal conductivity as follows:

$$\sigma_j = \mathcal{L}^{(0)}, \quad S_j = \frac{1}{eT} \frac{\mathcal{L}^{(1)}}{\mathcal{L}^{(0)}}, \quad \kappa_{e,j} = \frac{1}{e^2 T} \left[\mathcal{L}^{(2)} - \frac{\mathcal{L}^{(1)2}}{\mathcal{L}^{(0)}} \right], \quad (3)$$

where e is the unit electric charge, μ is the chemical potential, $\varepsilon_{n,\mathbf{k}}$ is the energy of nth band at wave vector $\mathbf{k}$, $\tau_{n,\mathbf{k}}$ is the electronic relaxation time, $v_{n,\mathbf{k}}$ is the electronic group velocity, and $f_{n,\mathbf{k}}$ is the Fermi-Dirac distribution function. To fairly treat σ and κ_e of 2D systems, we multiply the output σ and κ_e from BoltzTraP2 with the thickness of the simulation box over the conventional width of the monolayer. The total contributions from both spins read as:

$$\sigma = \sigma_\uparrow + \sigma_\downarrow, \quad S = \frac{\sigma_\uparrow S_\uparrow + \sigma_\downarrow S_\downarrow}{\sigma}, \quad \kappa_e = \kappa_{e,\uparrow} + \kappa_{e,\downarrow}. \quad (4)$$

We consider the electron-phonon scattering as the most dominant scattering contribution to the electronic relaxation time, which can be defined as $\tau_{n,\mathbf{k}} = \hbar/(2\ \mathrm{Im} \sum_{n,\mathbf{k}})$, where $\hbar$ is the reduced Planck constant and $\mathrm{Im} \sum_{n,\mathbf{k}}$ is the imaginary part of the electronic self energy. Using the EPW code [5], we compute the self energy using the electronic energy and the phonon dispersion on relatively coarse $16\times16\times1$ **k**-point and $8\times8\times1$ **q**-point grids, respectively. To obtain a finer result, we fit $1/\tau_{n,\mathbf{k}}$ from EPW with an energy-dependent τ model:

$$1/\tau(\varepsilon) = \mathcal{C} \cdot \mathrm{DOS}(\varepsilon) + 1/\tau_0, \quad (5)$$

where $\mathcal{C}$ is a DOS-dependent fitting parameter and τ_0 is the relaxation time constant that is chosen to overcome the absence of DOS in the band gap area in the spin-down band. The resulting $1/\tau(\varepsilon)$ model for each CrX species is given in Fig. S3 [36]. Note that although the CrX family are ferromagnetic materials, we do not consider contribution of magnetic spin excitations (known as magnons) to the thermoelectric properties. The magnon effect in heterostructures [like the system depicted in Fig. 1(b)] is suppressed because the magnons cannot escape the ferromagnets [43].

Finally, to fully obtain ZT, we calculate the phonon thermal conductivity κ_{ph} from the linearized phonon Boltzmann transport equation for phonons within the single-mode relaxation-time method, as implemented in the Phono3py code [39, 40]. The second-order harmonic and third-order anharmonic interatomic force constants are computed using a $2 \times 2 \times 1$ supercell with the finite displacement method. To obtain a converged result, we use $32 \times 32 \times 1$ **q**-point mesh to sample reciprocal space of the primitive cells of all CrX monolayers.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The CrX monolayers have a honeycomb structure without buckling along an axis normal to the surface, similar to graphene [see Fig. 1]. Their electronic structures, on the other hand, do not correspond to graphene mostly because of the presence of d orbitals in Cr. The d orbitals play a significant role to lift the spin degeneracy. In Fig. 2, we show the electronic structures of (a) CrP, (b) CrAs, (c) CrSb, and (d) CrBi, which are all consistent with previous first-principles results [34, 35]. In particular, one can compare the good agreement of Fig. 2 in this study with Fig. 4 of Ref. [34]. The dashed (solid) line refers to spin-up (down) states. Spin-up states are metallic while spin-down states possess band gaps displaying the half-metallic phase. At the Fermi level, chromium pnictides are ferromagnet. These electronic structures are distinct from monolayer chromium iodide (CrI_3 which shows ferromagnetic insulator [24]. As atomic number increases from CrP to CrBi, both bandwidth and half-metallic band gap decrease. We will show later how these behaviors will tune the TE transport.

In Fig. 3, we plot the TE transport coefficients as a function of chemical potential for CrP as a representative of chromium pnictides at $T = 500$ K. Meanwhile, the TE transport coefficients of CrAs, CrSb, and CrBi are given in Figs. S4-S6 [36]. As expected, the spin-up conductivity dominates over the spin-down conductivity

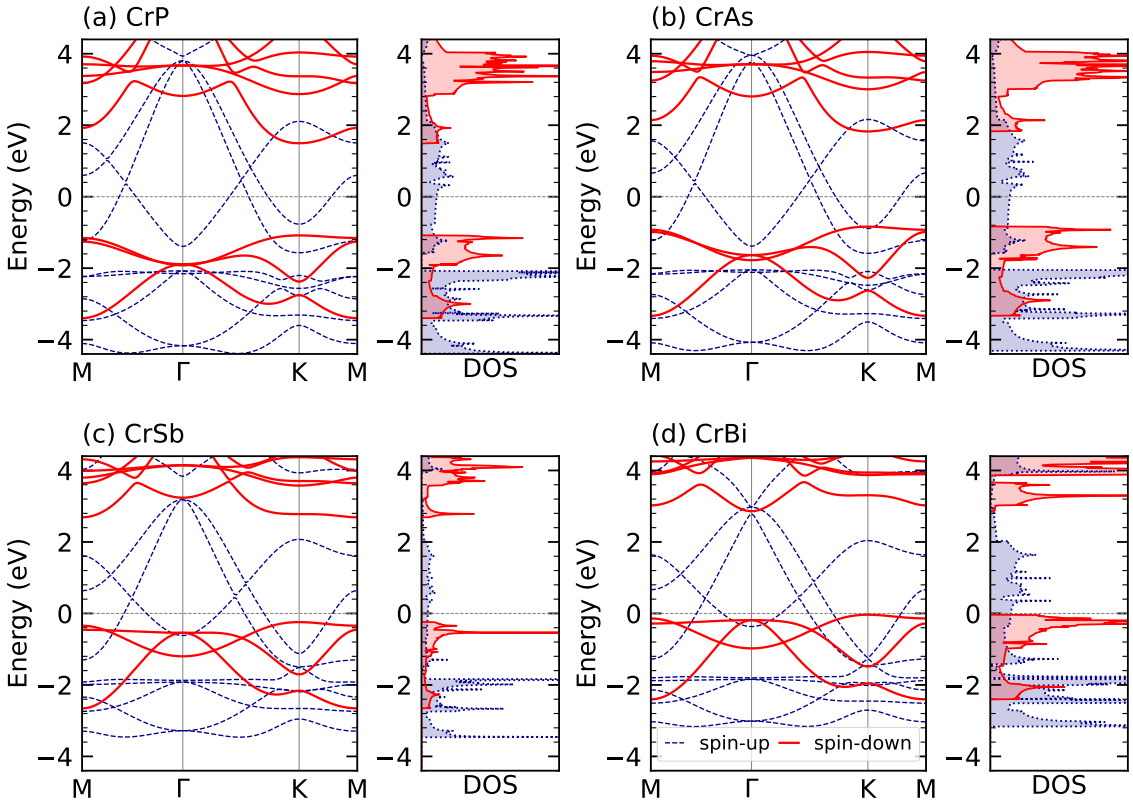


FIG. 2. Electronic structure (energy dispersion and density of states) of chromium pnictides: (a) CrP, (b) CrAs, (c) CrSb, (d) CrBi. The blue dashed (red solid) lines refer to spin-up (-down) states.

as depicted in Figs. 3(a) and 3(b). Therefore, the total conductivity σ pretty much resembles the spin-up contribution [Fig. 3(c)]. On the contrary, the Seebeck effect is dominated by the spin-down states because of the presence of the band gap. According to the Mott formula, the Seebeck coefficient is proportional to $-\sigma'(\mu)/\sigma(\mu)$; thus it will be large if the band gap exists. For the spin-down states, the Seebeck coefficient reaches 2000 μV/K. Normally, the Seebeck coefficient is proportional to the band gap Δ in the non-degenerate limit ($k_BT \ll \Delta$). For the spin-up states, the Seebeck coefficient is not entirely zero, typically on the order of fundamental entropy per charge ($k_B/e = 87$ μV/K).

The total Seebeck coefficients S are weighted by their conductivity so that the results mostly follow the shape of the spin-up states that indicates dominant contributions from majority carrier at the Fermi level. Despite the small S values, their oscillations around zero will play an important role later when spin-dependent transport is considered. In Figs. 3(g) and 3(i), the spin-up conductivity and total electron thermal conductivity κ_e resemble the shape of σ, consistent with the Wiedemann-Franz law. In fact, the Lorenz number $\kappa_e/\sigma T$ is 2.7×10^{-8} W.Ω/K^2, similar to those of ordinary metals.

We show phonon thermal conductivity κ_{ph} of all CrX monolayers as a function of T in Fig. 4 with the assumption that the magnon effect is neglected and that the materials are kept ferromagnetic. The Curie temperatures of CrX monolayers are within 550–700 K [34], above which the ferromagnetic to paramagnetic phase transition and short-range magnetic interaction may occur. Therefore, to avoid the issue of phase transition and short-range magnetic interaction, we can focus on the practicality of our system below 550 K. For example, as indicated by the arrow and small box in Fig. 4, at $T = 500$ K, κ_{ph} of CrP is smaller by almost two-order of magnitudes than κ_e. This comparison generally holds for the other chromium pnictides. This result suggests that sole electronic transport calculation for the TE properties is sufficient as the phonon contribution to κ is minimum. As the atom gets heavier from CrP to CrBi, κ_{ph} decreases following the Debye-Callaway model.

We turn our analysis on the PF and ZT of CrX as shown in Fig. 5. The total PF is dominated by the spin-up states as expected. With the increase of atomic weight, maximum PF tends to decrease but PF at $\mu = 0$ increases. CrP has the highest PF because it has the largest Fermi velocity while CrBi has a high PF at $\mu = 0$ because it has an additional contribution from the spin-down state at that energy. It is worth mentioning that the PF of CrX (about 0.02–0.08 W/m.K^2) could be one of the best values among 2D conductors, comparable to the extraordinary PF record in Mg_3Bi_2-based materi-

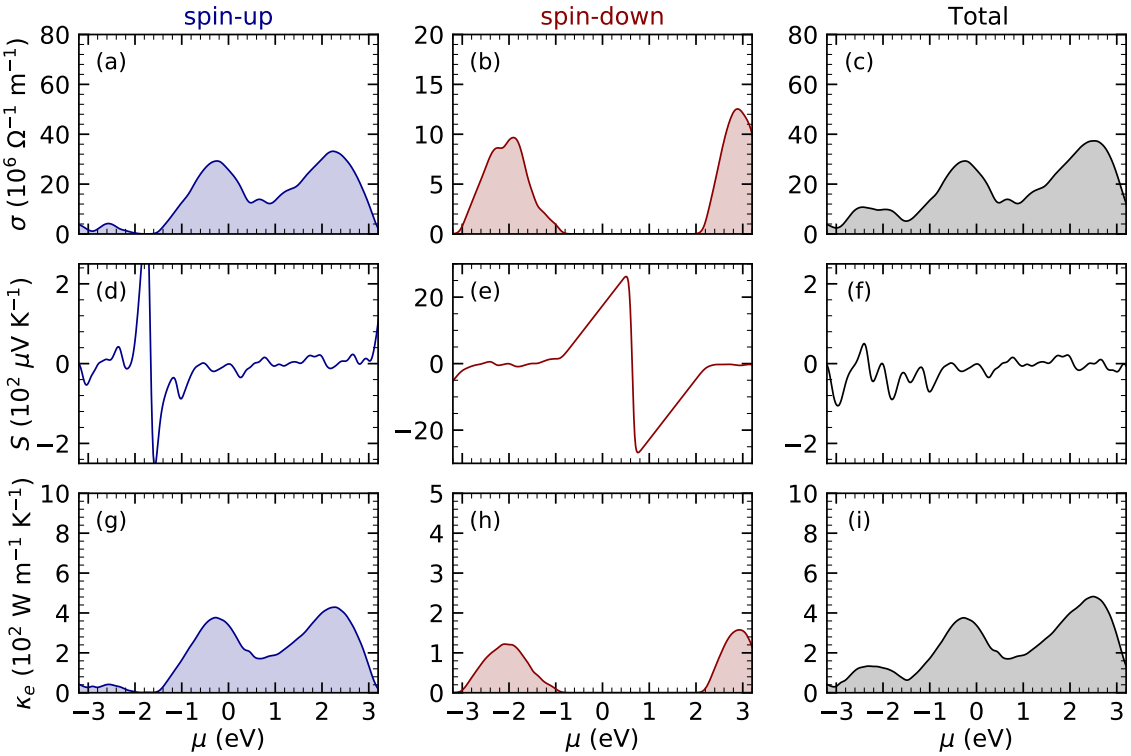


FIG. 3. Thermoelectric quantities of CrP: (a-c) Electrical conductivity, (d-f) Seebeck coefficient, and (g-i) electron thermal conductivity of spin-up, spin-down, and total, respectively.

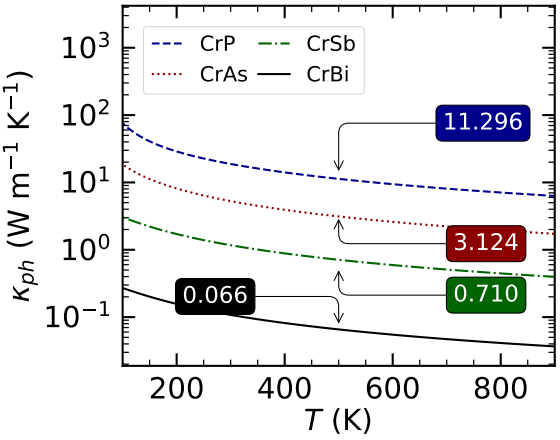


FIG. 4. Phonon thermal conductivity κ_{ph} as a function of temperature for different CrX species. Indicated by boxes are κ_{ph} values at 500 K.

als [41]. The total figure of merit $ZT^{(0)}$, given by

$$ZT^{(0)} = \lim_{\sigma_\uparrow \gg \sigma_\downarrow} \frac{(\sigma_\uparrow S_\uparrow + \sigma_\downarrow S_\downarrow)^2 T}{(\sigma_\uparrow + \sigma_\downarrow)\kappa} = \frac{\sigma_\uparrow S_\uparrow^2 T}{\kappa} \qquad (6)$$

is also dominated by the spin-up states with a value of about 10^{-3} at small μ and reaching maximum value of ~ 0.1 at a large hole doping [see Figs. 5(e–h) gray area]. The figure of merit $ZT^{(0)}$ behaves similarly with the PF trend, in which CrP possesses the largest one. The figure of merit also decreases as the atomic weight increases.

So far, we have seen CrX as ordinary metals with all TE properties are dominated by the majority carrier (spin-up states). The spin-down states, on the other hand, are gapped, and they possess a high Seebeck coefficient. It is possible to incorporate the spin-down contribution in this system to enhance the ZT values using a special configuration [29, 42]. By inserting a nonmagnetic metal spacer between two ferromagnetic materials and shifting their magnetization orientation by θ, voltage generation can increase due to finite spin accumulation [29, 43]

$$\frac{S(\theta)}{S} = \frac{1 + (1 - P'P)\zeta(\theta)}{1 + (1 - P^2)\zeta(\theta)}, \qquad (7)$$

where $P = (\sigma_\uparrow - \sigma_\downarrow)/(\sigma_\uparrow + \sigma_\downarrow)$ is the spin polarization of the conductivity, $P' = (\sigma_\uparrow S_\uparrow - \sigma_\downarrow S_\downarrow)/(\sigma_\uparrow S_\uparrow + \sigma_\downarrow S_\downarrow)$ is the spin polarization of the Seebeck current and

$$\zeta(\theta) \propto \frac{V_s(\theta)}{J_s(\theta)} \propto \frac{1 - \cos\theta}{1 + \cos\theta} = \tan^2\frac{\theta}{2} \qquad (8)$$

that depends on the ratio of spin accumulation $V_s(\theta)$ and spin current $J_s(\theta)$ at the spacer. Note that since CrX are half metals, their value of P is around 1 across the half-metallic gap while P' can be large when the sign of $S_\uparrow$ and $S_\downarrow$ are opposite to each other. This P' value can be large when $S_\uparrow$ oscillates around zero as shown in

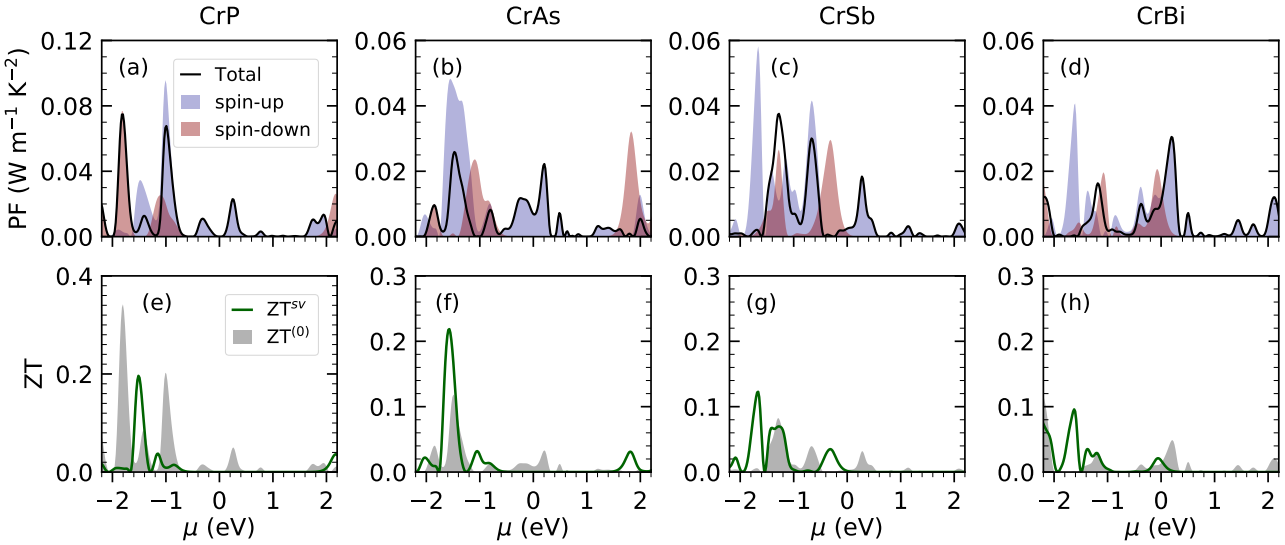


FIG. 5. (a-d) Power factors and (e-f) figures of merit of CrP, CrAs, CrSb, and CrBi, respectively, as a function of chemical potential. In the PF plots, we show the contribution of spin-up states, spin-down states, and their total contribution to the PF values. In the ZT plots, with $T = 500$ K, we show comparison of total $ZT^{(0)}$ [Eq. (6)] and $ZT^{\rm sv}$ that includes the spin-valve effect.

Fig. 3(d). However, the large value of P' also means that the total Seebeck coefficient is small [see Eq. (4)].

Cahaya et al. introduced antiparallel spin configuration ($\theta = \pi$) as shown in Fig. 1(b) that maximizes voltage and temperature gradients [29]. This configuration utilizes a p-n junction (a junction with the opposite value of Seebeck coefficient at two ends) and maximizes spin accumulation at its spacer. A nonmagnetic metal that connects p- and n-types CrX materials acts as a spin accumulator that ensures spin current is minimized. Using the antiparallel configuration, we show spin-valve effect on the figure of merit $ZT^{\rm sv}$ by using $S(\pi)$ in Eq. (7) to Eq. (6). Solid green lines in Figs. 5(e–h) show that $ZT^{(0)}$ can be enhanced by a factor of two with this configuration.

We summarize the maximum ZT ($ZT_{\rm max}$) values along with their optimum chemical potential for all the CrX monolayers in Fig. 6. At the optimized chemical potential $\mu_{\rm opt}$ and operating temperature of $T = 500$ K, the $ZT_{\rm max}$ values (≈ 0.22, 0.12, and 0.09) with the antiparallel spin-valve setup in CrAs, CrSb, and CrBi improve up to almost twice the original values ($ZT^{(0)} \approx 0.12$, 0.08, and 0.05) without the spin-valve configuration. Only in CrP, which is the lightest species and less spin-polarized among CrX, the $ZT_{\rm max}$ value (≈ 0.34) without the spin-valve configuration is larger than that (≈ 0.19) with the spin-valve one. Optimized μ occurs at large hole doping around -1 eV to -2 eV with only exception for CrBi, whose $ZT^{(0)}_{\rm max}$ occurs near $\mu = 0$. Note that both $ZT^{(0)}$ and $ZT^{\rm sv}$ have weak temperature dependence because of strong resemblance to the Wiedemann-Franz law.

One may question that the requirement of large doping to obtain the ZT value (< 0.4 for the CrX monolayers) in this work is still disappointing for practical interest

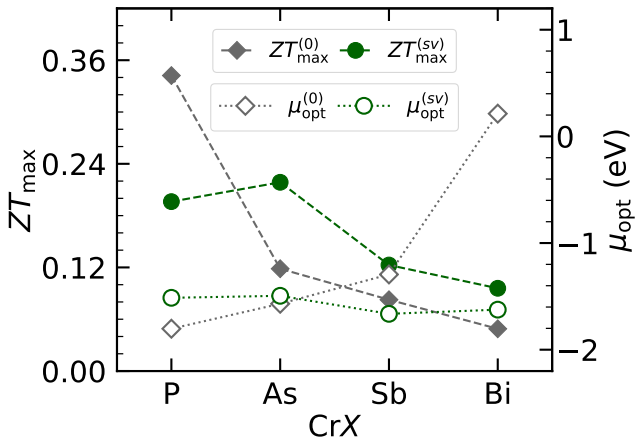


FIG. 6. Maximum $ZT^{(0)}$ and $ZT^{\rm sv}$ (left axis) and the corresponding optimal chemical potential $\mu_{\rm opt}$ (right axis) for each CrX species with $T = 500$ K.

of using CrX in real TE devices. Nevertheless, we have shown that, by using first-principles calculations with almost the best level of approximation in thermoelectrics theory, the enhancement of ZT due to the half metallicity and spin polarization is truly possible. As for the practical interest, in addition to ZT, we can also talk about the PF, which is useful when the heat input (source) is abundant. For example, the PF value of CrBi in this work can reach 0.03 W/m.K^2, which is an excellent value for a 2D material, at chemical potential near zero, thus it does not require large doping. Further design of the metallic 2D magnets to obtain larger ZT at low chemical potential shall be an interesting problem of further studies.

IV. CONCLUSIONS

Using monolayer CrX as a prototype, we have proven that the TE performance of half-metallic 2D ferromagnets can improve due to the spin-dependent TE transport coefficients. The synergistic effects of different spin degrees of freedom are possible through the antiparallel spin-valve configuration, which leads to the ZT enhancement up to almost twice the original ZT values. The origin of the ZT enhancement is that the majority carriers with spin-up states contribute to high electrical conductivity. On the other hand, the minority carriers with spin-down states contribute to a high Seebeck coefficient. The same principle also leads to the exceptional PF in monolayer CrX within 0.02–0.08 W/m.K^2. This work paves the way toward selecting suitable 2D ferromagnets for TE applications.

ACKNOWLEDGMENTS

M.S.M. acknowledges financial support from the research and community service center, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia. E.H.H. acknowledges financial support by Fonds National de la Recherche Luxembourg, Core 14764976 and 15752388. E.S., S.A.W., A.R.T.N, and E.H.H. performed numerical calculations with Mahameru High-Performance Computing (HPC) facilities provided by BRIN and HPC facilities of the University of Luxembourg (see http://hpc.uni.lu). This work was supported by e-ASIA JRP.

[1] H. J. Goldsmid, *Introduction to Thermoelectricity* (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010).
[2] W. Liu, H. S. Kim, Q. Jie, and Z. Ren, Scripta Mater. **111**, 3 (2016).
[3] A. J. Minnich, M. S. Dresselhaus, Z. F. Ren, and G. Chen, Energy Environ. Sci. **2**, 466 (2009).
[4] M. Zebarjadi, K. Esfarjani, M. S. Dresselhaus, Z. F. Ren, and G. Chen, Energy Environ. Sci. **5**, 5147 (2012).
[5] J. P. Heremans, M. S. Dresselhaus, L. E. Bell, and D. T. Morelli, Nat. Nanotechnol. **8**, 471 (2013).
[6] R. Franz and G. Wiedemann, Ann. Phys. **165**, 497 (1853).
[7] A. Shakouri, Annu. Rev. Mater. Res. **41**, 399 (2011).
[8] M. Dresselhaus, G. Chen, M. Tang, R. Yang, H. Lee, D. Wang, Z. Ren, J.-P. Fleurial, and P. Gogna, Adv. Mater. **19**, 1043 (2007).
[9] M. Markov, X. Hu, H.-C. Liu, N. Liu, S. J. Poon, K. Esfarjani, and M. Zebarjadi, Sci. Rep. **8**, 1 (2018).
[10] M. Markov and M. Zebarjadi, Nanoscale Microscale Thermophys. Eng. **23**, 117 (2019).
[11] K. Kanahashi, J. Pu, and T. Takenobu, Adv. Energy Mater. **10**, 1902842 (2020).
[12] D. Li, Y. Gong, Y. Chen, J. Lin, Q. Khan, Y. Zhang, Y. Li, H. Zhang, and H. Xie, Nano-Micro Lett. **12**, 1 (2020).
[13] R. Fei, A. Faghaninia, R. Soklaski, J.-A. Yan, C. Lo, and L. Yang, Nano Lett. **14**, 6393 (2014).
[14] B. Liao, J. Zhou, B. Qiu, M. S. Dresselhaus, and G. Chen, Phys. Rev. B **91**, 235419 (2015).
[15] Y. Saito, T. Iizuka, T. Koretsune, R. Arita, S. Shimizu, and Y. Iwasa, Nano Lett. **16**, 4819 (2016).
[16] Z. Jin, Q. Liao, H. Fang, Z. Liu, W. Liu, Z. Ding, T. Luo, and N. Yang, Sci. Rep. **5**, 1 (2015).
[17] M. Yoshida, T. Iizuka, Y. Saito, M. Onga, R. Suzuki, Y. Zhang, Y. Iwasa, and S. Shimizu, Nano Lett. **16**, 2061 (2016).
[18] D. Wickramaratne, F. Zahid, and R. K. Lake, J. Appl. Phys. **118**, 075101 (2015).
[19] J. Zeng, X. He, S.-J. Liang, E. Liu, Y. Sun, C. Pan, Y. Wang, T. Cao, X. Liu, C. Wang, L. Zhang, S. Yan, G. Su, Z. Wang, K. Watanabe, T. Taniguchi, D. J. Singh, L. Zhang, and F. Miao, Nano Lett. **18**, 7538 (2018).
[20] L. D. Hicks and M. S. Dresselhaus, Phys. Rev. B **47**, 12727 (1993).
[21] L. D. Hicks, T. C. Harman, X. Sun, and M. S. Dresselhaus, Phys. Rev. B **53**, R10493 (1996).
[22] N. T. Hung, E. H. Hasdeo, A. R. T. Nugraha, M. S. Dresselhaus, and R. Saito, Phys. Rev. Lett. **117**, 036602 (2016).
[23] N. D. Mermin and H. Wagner, Phys. Rev. Lett. **17**, 1133 (1966).
[24] C. Gong, L. Li, Z. Li, H. Ji, A. Stern, Y. Xia, T. Cao, W. Bao, C. Wang, Y. Wang, *et al.*, Nature **546**, 265 (2017).
[25] B. Huang, G. Clark, E. Navarro-Moratalla, D. R. Klein, R. Cheng, K. L. Seyler, D. Zhong, E. Schmidgall, M. A. McGuire, D. H. Cobden, *et al.*, Nature **546**, 270 (2017).
[26] B. Gao, T. Zhou, A.-J. Hong, F. Liang, G. Song, Q.-Q. Xu, J. Zhang, G.-N. Li, Y. Wang, and C. Dang, Appl. Phys. Express **13**, 045001 (2020).
[27] H. Sheng, Y. Zhu, D. Bai, X. Wu, and J. Wang, Nanotechnology **31**, 315713 (2020).
[28] N. T. Hung, R. T. Nugraha, A, and R. Saito, App. Phys. Lett. **111**, 092107 (2017).
[29] A. B. Cahaya, O. A. Tretiakov, and G. E. W. Bauer, IEEE Trans. Magn. **51**, 1 (2015).
[1] P. Giannozzi, O. Andreussi, T. Brumme, O. Bunau, M. B. Nardelli, M. Calandra, R. Car, C. Cavazzoni, D. Ceresoli, M. Cococcioni, N. Colonna, I. Carnimeo, A. D. Corso, S. de Gironcoli, P. Delugas, R. A. DiStasio, A. Ferretti, A. Floris, G. Fratesi, G. Fugallo, R. Gebauer, U. Gerstmann, F. Giustino, T. Gorni, J. Jia, M. Kawamura, H.-Y. Ko, A. Kokalj, E. Küçükbenli, M. Lazzeri, M. Marsili, N. Marzari, F. Mauri, N. L. Nguyen, H.-V. Nguyen, A. O. de-la Roza, L. Paulatto, S. Poncé, D. Rocca, R. Sabatini, B. Santra, M. Schlipf, A. P. Seitsonen, A. Smogunov, I. Timrov, T. Thonhauser, P. Umari, N. Vast, X. Wu, and S. Baroni, J. Phys. Condens. Matter **29**, 465901 (2017).
[2] D. R. Hamann, Phys. Rev. B **88**, 085117 (2013).
[3] M. Schlipf and F. Gygi, Comput. Phys. Commun. **196**, 36 (2015).
[4] J. P. Perdew, K. Burke, and M. Ernzerhof, Phys. Rev. Lett. **77**, 3865 (1996).

[34] A. Mogulkoc, M. Modarresi, and A. N. Rudenko, Phys. Rev. B **102**, 024441 (2020).
[35] A. Mogulkoc, M. Modarresi, and A. Rudenko, Phys. Rev. Applied **15**, 064053 (2021).
[36] See supplementary material at "URL". We give additional data for, (1) electronic band structures of all CrX without spin polarization, (2) phonon dispersion relations of all CrX, (3) relaxation time model, and (4) thermoelectric transport coefficients of CrAs, CrSb, and CrBi.
[6] G. K. Madsen, J. Carrete, and M. J. Verstraete, Comput. Phys. Commun. **231**, 140 (2018).
[5] S. Poncé, E. Margine, C. Verdi, and F. Giustino, Comput. Phys. Commun. **209**, 116 (2016).
[39] A. Togo, L. Chaput, and I. Tanaka, Phys. Rev. B **91**, 094306 (2015).
[40] K. Mizokami, A. Togo, and I. Tanaka, Phys. Rev. B **97**, 224306 (2018).
[41] J. Mao, H. Zhu, Z. Ding, Z. Liu, G. A. Gamage, G. Chen, and Z. Ren, Science **365**, 495 (2019).
[42] M. Hatami, G. E. W. Bauer, Q. Zhang, and P. J. Kelly, Phys. Rev. Lett. **99**, 066603 (2007).
[43] M. Hatami, G. E. W. Bauer, Q. Zhang, and P. J. Kelly, Phys. Rev. B **79**, 174426 (2009).

Supplementary Material for: Spin-tunable thermoelectric performance in monolayer chromium pnictides

Melania S. Muntini,[1,*] Edi Suprayoga,[2,†] Sasfan A. Wella,[2] Iim Fatimah,[1] Lila Yuwana,[1] Tosawat Seetawan,[3,4] Adam B. Cahaya,[5] Ahmad R. T. Nugraha,[2] Eddwi H. Hasdeo[2,6,‡]

[1] *Department of Physics, Faculty of Science and Data Analytics, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia*

[2] *Research Center for Physics, National Research and Innovation Agency (BRIN), South Tangerang, 15314, Indonesia*

[3] *Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000, Thailand*

[4] *Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000, Thailand*

[5] *Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia*

[6] *Department of Physics and Materials Science, University of Luxembourg, Luxembourg 1511, Luxembourg*

[*] Electronic address: melania@physics.its.ac.id

[†] Electronic address: edis008@brin.go.id

[‡] Electronic address: eddw001@brin.go.id

(Dated: June 20, 2022)

S1. ELECTRONIC BAND STRUCTURE WITHOUT SPIN POLARIZATION

In Figs. S1(a)–(d), we show the electronic band structure for non-spin polarized CrX, calculated by the Quantum ESPRESSO package [S1] with the following DFT details. We set a vacuum layer to 30 Å to avoid the interlayer interactions due to the lattice periodicity. We employ the optimized norm-conserving Vanderbilt (ONCV) pseudopotentials [S2, S3] to describe the interaction between electrons and ions. The Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) functional [S4] under generalized gradient approximation (GGA) is used to describe exchange-correlation energy and potential. We sample the Brillouin zone using a dense $32 \times 32 \times 1$ Monkhorst-Pack grid for scf calculation. The plane-wave basis set is used to expand wave functions with cutoff energy of ∼820 eV.

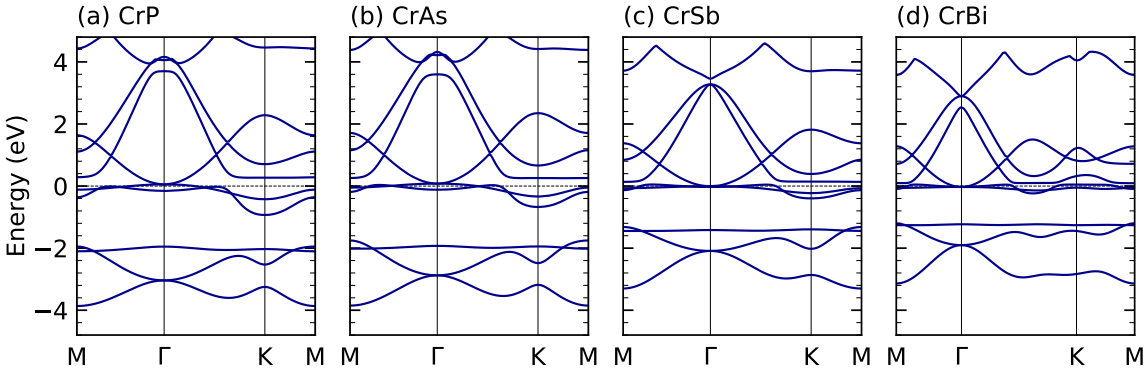


FIG. S1. Electronic band structure for spin-unpolarized CrX: (a) CrP, (b) CrAs, (c) CrSb, and (d) CrBi.

S2. PHONON DISPERSION

In Figs. S2(a)–(d), we show the phonon dispersion relations for CrX from the `ph.x` calculations in the QUANTUM ESPRESSO package with the dynamical matrix integral of $4 \times 4 \times 1$ mesh of **q**-points. We found no negative and no imaginary frequency of phonons for all species of CrX, thus indicating the dynamical stability of the calculated structures. Unlike their electronic structures, phonon band structures of chromium pnictides resemble that of graphene. There are six phonon modes comes from two atoms in a unit cell with three polarization directions. Heterogeneous atoms in a unit cell splits the in-plane optical modes located at the top branches i.e., longitudinal optic and in-plane tangential optic modes. These two modes are degenerate in graphene at Γ point. The highest optical branch is, interestingly, flat in CrAs, CrSb, and CrBi. As atomic number increases from CrP to CrBi, phonon bandwidth and sound velocity decrease as expected from harmonic oscillator model. This feature will play roles in controlling thermal conductivity of chromium pnictides.

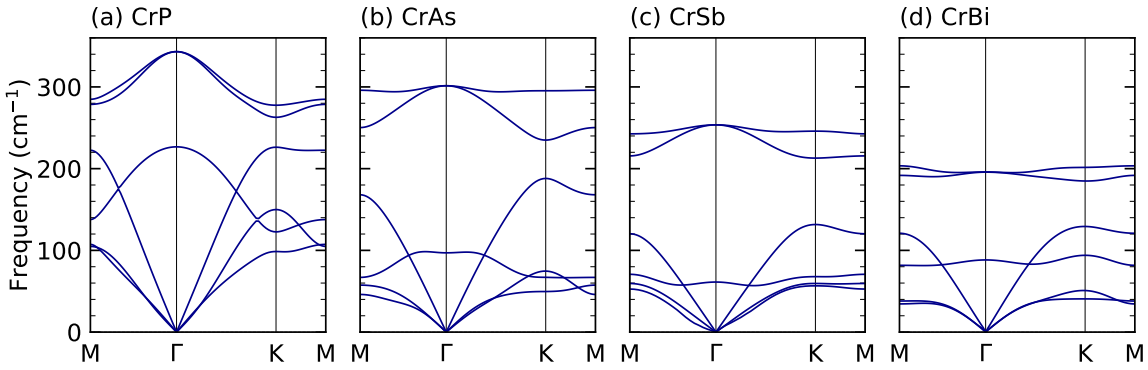


FIG. S2. Phonon dispersion relations of spin-polarized CrX: (a) CrP, (b) CrAs, (c) CrSb), and (d) CrBi.

S3. RELAXATION TIME MODEL

We include the electron-phonon scattering rate in the relaxation time, that can be defined as $\tau_{n,\mathbf{k}} = \hbar/(2\ \mathrm{Im} \sum_{n,\mathbf{k}})$, where $\hbar$ is the reduced Planck constant and $\mathrm{Im} \sum_{n,\mathbf{k}}$ is the imaginary part of the electronic self-energy, as implemented in the EPW code [S5]. We compute the electron energy (and the phonon dispersion) on a relatively coarse $16 \times 16 \times 1$ ($8 \times 8 \times 1$) **k**-point (**q**-point) grid. To obtain a finer result, we fit $1/\tau_{n,\mathbf{k}}$ from EPW with an energy-dependent relaxation time: $1/\tau(\varepsilon) = \mathcal{C} \cdot \mathrm{DOS}(\varepsilon) + 1/\tau_0$, where $\mathcal{C}$ is a DOS-dependent fitting parameter and τ_0 is the relaxation time constant that is chosen to overcome the absence of DOS in the band gap area in the spin-down band. For all CrX monolayers, the fitting parameter is set to $\mathcal{C} = 10^{12}$ eV/s and $\tau_0 = 10^{-13}$ s. The inverse relaxation time as a function of energy for CrX are shown in Figs. S3(a)–(d).

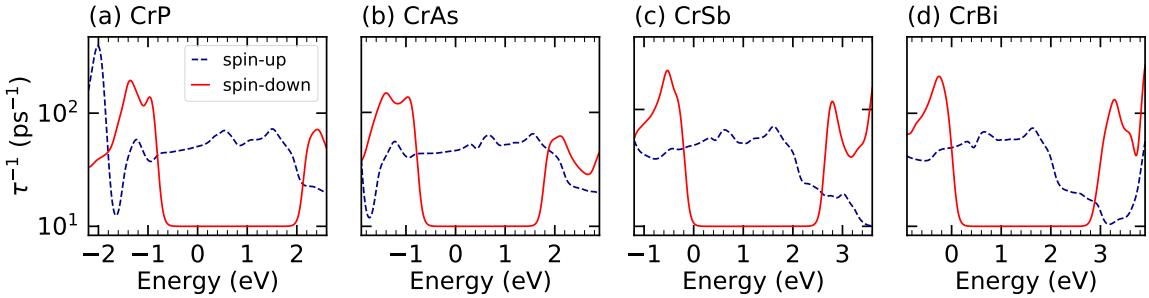


FIG. S3. Inverse relaxation time or scattering rate model as a function of energy for each CrX: (a) CrP, (b) CrAs, (c) CrSb, and (d) CrBi.

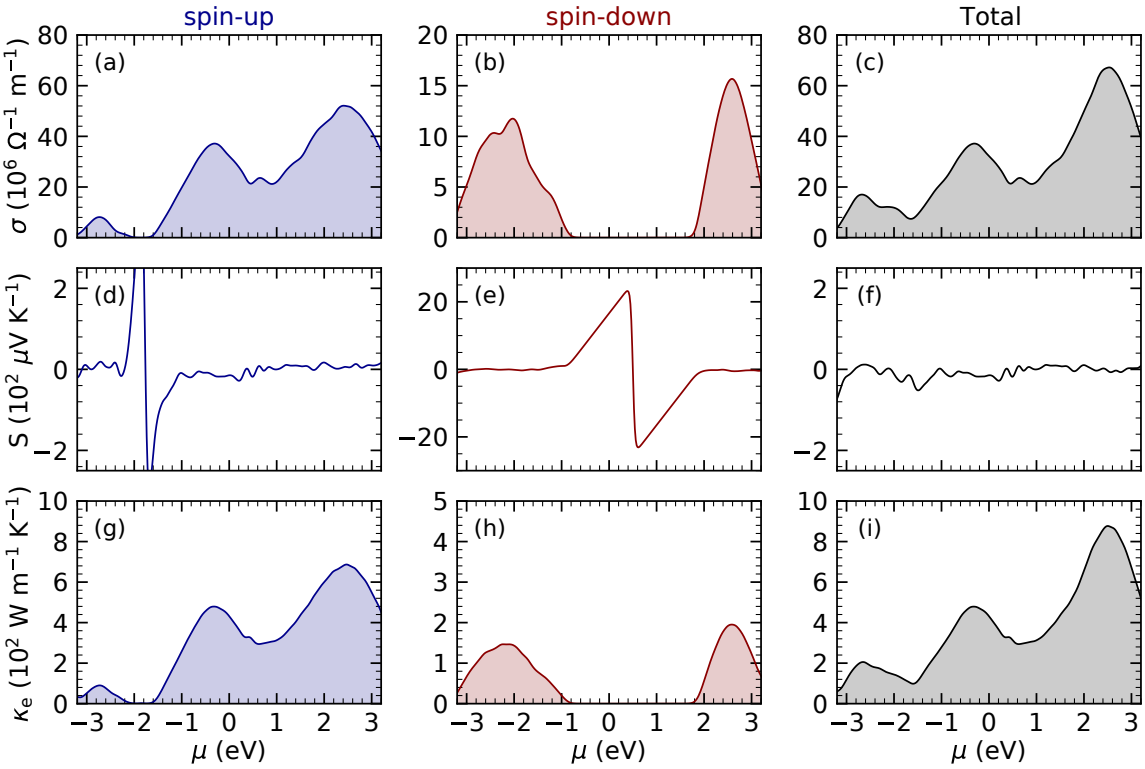


FIG. S4. Thermoelectric transport coefficients of CrAs.

S4. THERMOELECTRIC TRANSPORT COEFFICIENTS

In Fig. S4–S6, we plot the thermoelectric transport coefficients as a function of chemical potential of CrAs, CrSb, and CrBi at $T = 500$ K. The thermoelectric properties are calculated using BoltzTraP2 code [S6] within Boltzmann transport equation under the energy-dependent relaxation time approximation.

[S1] P. Giannozzi, O. Andreussi, T. Brumme, O. Bunau, M. B. Nardelli, M. Calandra, R. Car, C. Cavazzoni, D. Ceresoli, M. Cococcioni, N. Colonna, I. Carnimeo, A. D. Corso, S. de Gironcoli, P. Delugas, R. A. DiStasio, A. Ferretti, A. Floris, G. Fratesi, G. Fugallo, R. Gebauer, U. Gerstmann, F. Giustino, T. Gorni, J. Jia, M. Kawamura, H.-Y. Ko, A. Kokalj, E. Küçükbenli, M. Lazzeri, M. Marsili, N. Marzari, F. Mauri, N. L. Nguyen, H.-V. Nguyen, A. O. de-la Roza, L. Paulatto, S. Poncé, D. Rocca, R. Sabatini, B. Santra, M. Schlipf, A. P. Seitsonen, A. Smogunov, I. Timrov, T. Thonhauser, P. Umari, N. Vast, X. Wu, and S. Baroni, J. Phys. Condens. Matter **29**, 465901 (2017).

[S2] D. R. Hamann, Optimized norm-conserving Vanderbilt pseudopotentials, Phys. Rev. B **88**, 085117 (2013).

[S3] M. Schlipf and F. Gygi, Optimization algorithm for the generation of ONCV pseudopotentials, Comput. Phys. Commun. **196**, 36 (2015).

[S4] J. P. Perdew, K. Burke, and M. Ernzerhof, Generalized gradient approximation made simple, Phys. Rev. Lett. **77**, 3865 (1996).

[S5] S. Poncé, E. Margine, C. Verdi, and F. Giustino, EPW: Electron–phonon coupling, transport and superconducting properties using maximally localized wannier functions, Comput. Phys. Commun. **209**, 116 (2016).

[S6] G. K. Madsen, J. Carrete, and M. J. Verstraete, BoltzTraP2, a program for interpolating band structures and calculating semi-classical transport coefficients, Comput. Phys. Commun. **231**, 140 (2018).

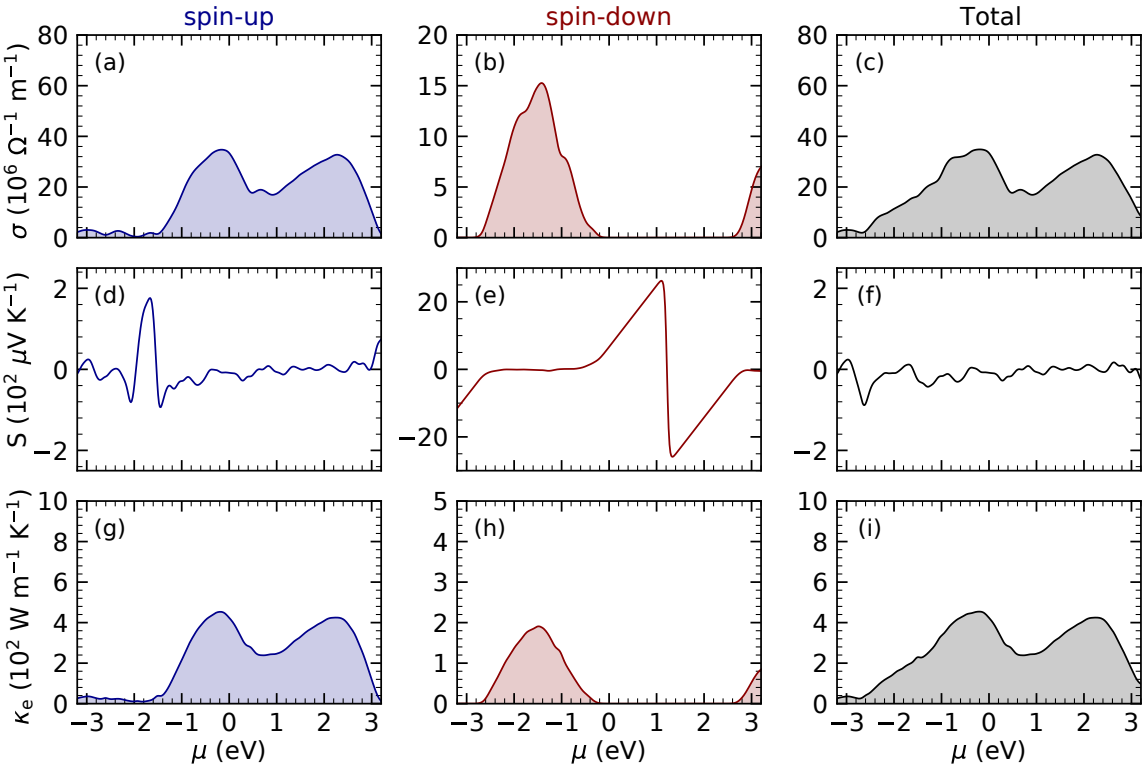


FIG. S5. Thermoelectric transport coefficients of CrSb.

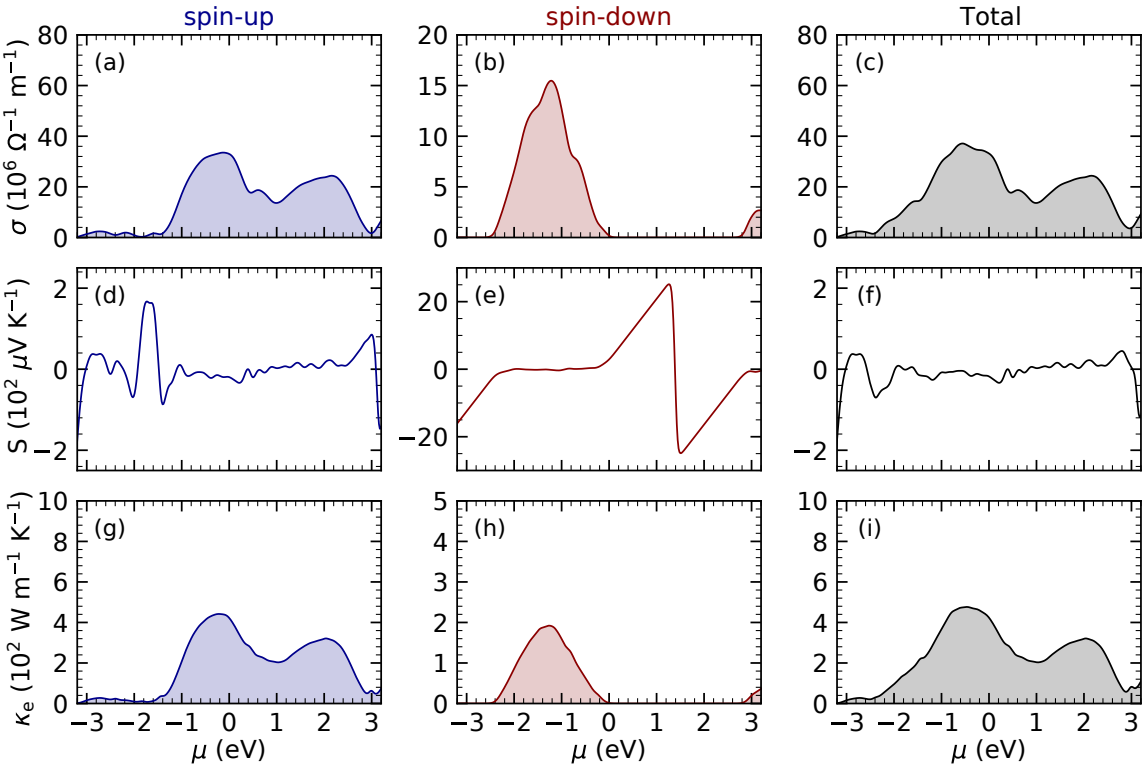


FIG. S6. Thermoelectric transport coefficients of CrBi.

Integrated Ferroelectrics
An International Journal

ISSN: (Print) (Online) Journal homepage: https://www.tandfonline.com/loi/ginf20

Effect of CuO on Electrical Property, Seebeck Coefficient and Power Factor of $CuGd_2O_4$

P. Yamchumporn, K. Boonin, K. Singsoog, T. Seetawan & J. Kaewkhao

To cite this article: P. Yamchumporn, K. Boonin, K. Singsoog, T. Seetawan & J. Kaewkhao (2022) Effect of CuO on Electrical Property, Seebeck Coefficient and Power Factor of $CuGd_2O_4$, Integrated Ferroelectrics, 224:1, 84-89, DOI: 10.1080/10584587.2022.2035598

To link to this article: https://doi.org/10.1080/10584587.2022.2035598

Published online: 01 Apr 2022.

Submit your article to this journal

Article views: 3

View related articles

View Crossmark data

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=ginf20

INTEGRATED FERROELECTRICS
2022, VOL. 224, 84–89
https://doi.org/10.1080/10584587.2022.2035598

Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

Check for updates

Effect of CuO on Electrical Property, Seebeck Coefficient and Power Factor of $CuGd_2O_4$

P. Yamchumporn[a,b], K. Boonin[a,b], K. Singsoog[c], T. Seetawan[c], and J. Kaewkhao[a,b]

[a]Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, Thailand; [b]Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, Thailand; [c]Thermoelectric Research Laboratory, Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakon, Thailand

ABSTRACT

The effect of increasing molar ratio for the concentration of CuO in the compound $xCuO{:}1Gd_2O_3$ ($x = 2.0$, 2.5, 3.0 and 3.5 mol) produced by solid state reaction method was investigated in this study. Thermoelectric properties such as Seebeck coefficient, the electrical resistivity and power factor were investigated in the temperature range of 400 – 800 K using the instrument, ZEM-3 Series under helium gas atmosphere. Through the inspection, the following results were reported: the electrical resistivity drops as the temperature increases, indicating the semiconductor's characteristic behavior. Seebeck coefficient shows a negative value throughout the temperature range used in the investigation. The power factor can be calculated from the relation of $P = S^2/\rho$ (where S is Seebeck coefficient and ρ is electrical resistivity) with the highest value of 4.65 $\mu W^{-1}m^{-1}K^{-2}$ at 570 K.

ARTICLE HISTORY
Received 5 July 2021
Accepted 15 August 2021

KEYWORDS
Solid-state reaction; $CuGd_2O_4$; seebeck coefficient

Introduction

Thermoelectric materials have ability to directly convert thermal energy to electrical energy and vice versa. Pollution caused by traditional industries can be reduced after transferring to thermoelectric materials were replaced. Therefore, comply with environmental-friendly processes and energy-conversion efficiency thermoelectric materials are a great option [1].

Many researchers looked with using the Seebeck effect to enhance the efficiency of transferring thermal energy to electrical energy. The performance of thermoelectric materials can be identified using the parameter called the figure of merit, $Z = \sigma S^2/\kappa$, where σ, S, and κ are the electrical conductivity, Seebeck coefficient, and thermal conductivity, respectively. The electrical properties were determined by the power factor (P) defined here as [2]: $P = \sigma S^2$. It is important for thermoelectric materials to have high power factor and low thermal conductivity in order for them to be highly efficient. To enhance this, many materials were examined. Thermoelectric materials such as, PbTe [3,4], skutterudites [5], SnSe [6,7], Half-Heusler compounds [8,9] and Bi-Te are well known [10,11], whereas CuO compound is used as a component in high temperature

CONTACT K. Boonin kbcegm@gmail.com
© 2022 Taylor & Francis Group, LLC

superconductors. The compound has high electrical and thermal conductivity leading to a poor thermoelectric performance [12,13]. Also, metallic thermoelectric materials such as Cu_2Se has high values of dimensionless figure of merit (ZT). Metal based thermoelectric materials have a low electrical conductivity operating at a high temperature [14–17]. In a unit cell, the compounds have one or more two-dimensional (2-D) CuO planes, which effects superconductivity at high temperatures. Furthermore, the electrical conductivity on the c axis was higher than in the ab plane due to the layered structure [18]. The compounds were suggested to have possibilities as thermoelectric materials due to their anisotropic electrical characteristics. The 2-1-4 types layered rare earth copper oxides, RE_2CuO_4 where RE is gadolinium, were selected and the thermophysical and electric properties were studied. RE_2CuO_4 was identified to have a high Seebeck coefficient and thermal conductivity, but low electrical conductivity. In order to practically utilize RE_2CuO_4 in thermoelectric modules, optimization of the electrical properties and reduction of the thermal conductivity are required.

From the reasons mentioned above, this research was conducted by fabricating thermoelectric material samples from $CuGd_2O_4$ with varied molar ratios of CuO. The thermoelectric properties of the samples: electrical resistivity, Seebeck coefficient and power factor were investigated. This research is expected to provide a guiding information for producing a thermoelectric module with CuO base materials.

Experimental Details

The thermoelectric material in this research was obtained by using solid-state reaction method. Powder CuO (purity: 99.9%) and powder Gd_2O_3 (purity: 99.9%) were used to synthesize the compound of $CuGd_2O_4$ in the proportion of $xCuO:Gd_2O_3$, and the molar ratios of CuO were varied as $x = 2$, 2.5, 3, and 3.5 mol. The prepared powder was calcined at 673 K for 1 h. After the calcined powders were ball-milled by plenary ball-mill at 400 rpm for 3 h in the stainless jar with stainless balls. The prepared powder was pressed into pellets, each with the diameter of 20.00 mm by the hydraulic press at 10 tons. The resulting pellets were sintered at 1,173 K under normal atmosphere for 12 h.

The crystal structure of the samples was examined with using the X-ray diffractometer (XRD;Shimazdu XRD-6100) with CuKα radiation of 10-80 degree. The electrical resistivity, Seebeck coefficient and power factor were measured (ZEM-3; Ulvac, Inc.) in the temperature range of 400-800 K.

Results and Discussion

Figure 1 shows X-ray diffraction patterns of compound $CuGd_2O_4$ in the proportion of $xCuO:Gd_2O_3$, and the molar ratios of CuO were varied as $x = 2$, 2.5, 3, and 3.5 mol. The patterns indicated a single phase Tetragonal structure (a,$b = 3.889$ Å and $c = 11.861$ Å) belonging to the space group I4/mmm (139) corresponding to the reported data (JCPDS No.00-024-0422).

The thermoelectric properties: Seebeck coefficient, electrical resistivity and power factor of the compound CuGd2O4 in the proportion of $xCuO:Gd_2O_3$, where $x = 2$, 2.5, 3, and 3.5 mol. The ZEM-3 (Ulvac, Inc.) device was utilized, and the samples were investigated at

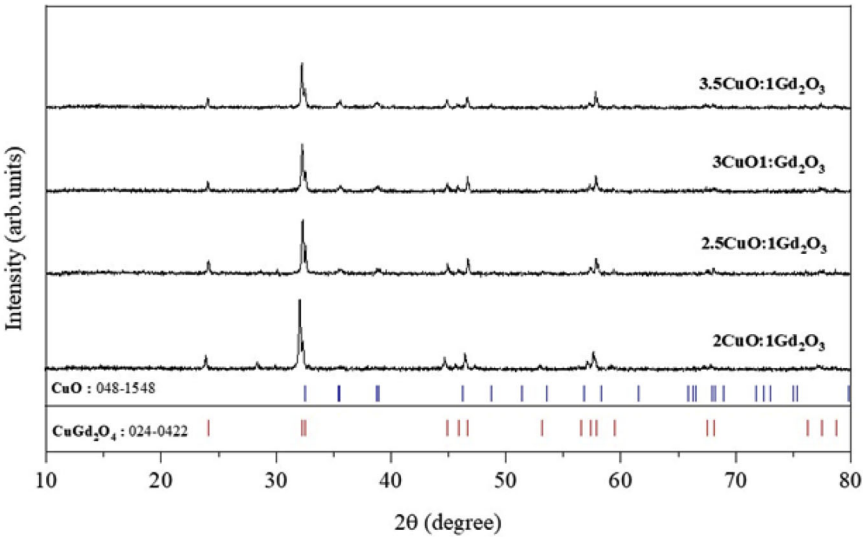


Figure 1. X-ray diffraction patterns of $CuGd_2O_4$ with increasing molar ratio of CuO.

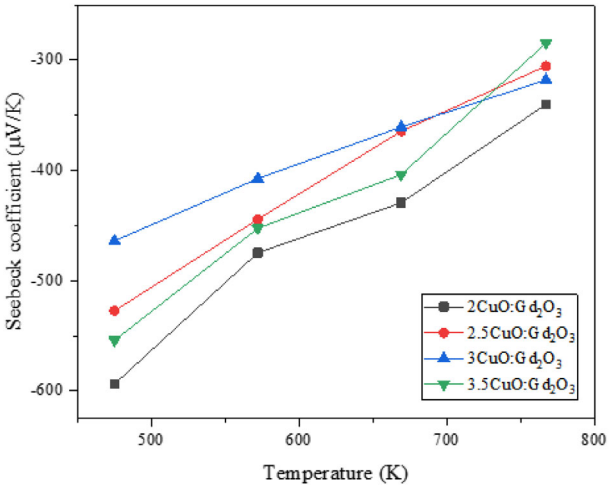


Figure 2. Temperature dependence of seebeck coefficient with varied amount of CuO.

temperatures ranging from 400 to 700 K as show in Figure 2. Because their Seebeck coefficients are negative, all samples will be classified as N-type thermoelectric materials. And it was shown across the whole investigation that Seebeck coefficient increased as the temperature increases. For a measurement temperature of 770 K, the maximum measured Seebeck coefficient was −290 μV/K at a molar ratio of CuO of 3.5 mol. In addition, Seebeck coefficient value increased as the measurement temperature increased. Mott's relation, as explained in the equation, has demonstrated this [16, 19].

$$S(T) = \frac{\pi^2 k_B^2 T}{3e}\left[\frac{N(E)}{n} + \left(\frac{\partial \ln \mu(E)}{\partial E}\right)_{E=E_F}\right] \tag{1}$$

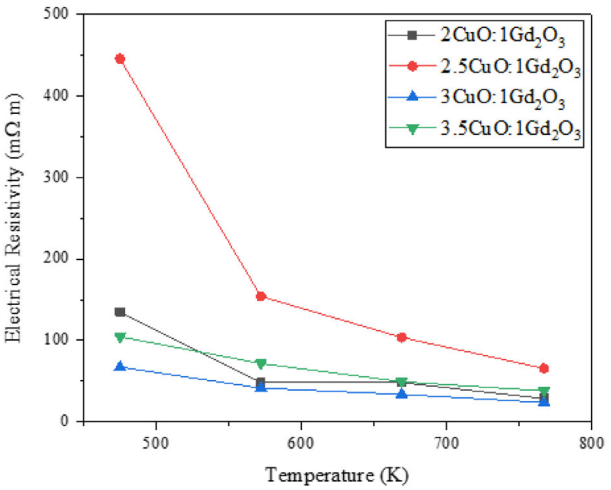


Figure 3. Temperature dependence of electrical resistivity with varied amount of CuO.

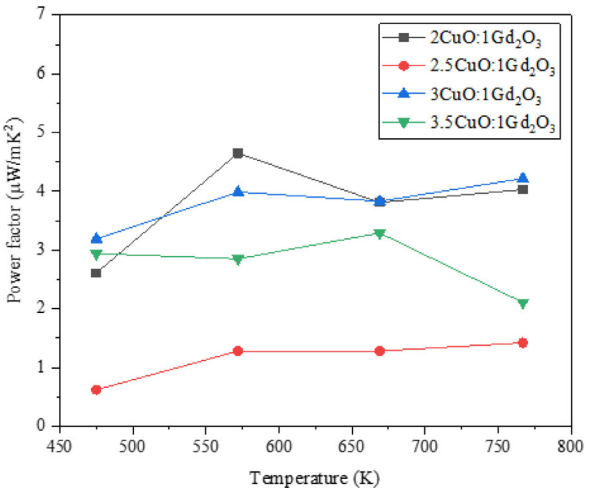


Figure 4. Temperature dependence of power factor with varied amount of CuO.

Where $S,k_B,n,N(E)$ are Seebeck coefficient, the Boltzmann constant, carrier concentration, and density of state, respectively. It is clear from the above equation that S increases as the measurement temperature (T) is increased, whereas it increases with the carrier concentration decrease in the first term of the Mott relation. Figure 3 shows the electrical resistivity of the compound of $CuGd_2O_4$ in the proportion of $xCuO:Gd_2O_3$, and the molar ratios of CuO were varied as $x = 2$, 2.5, 3, and 3.5 mol. When the electrical resistivity was measured, it was discovered that the value dropped as the temperature raised over the whole temperature range. Figure 4 The power factor of $2CuO:Gd_2O_3$, $2.5CuO:Gd_2O_3$, and $3CuO:Gd_2O_3$ increased with the measurement temperature in the range of 450 K to 580 K, according to a power factor analysis. The power factor of $3CuO:Gd_2O_3$ and $2.5CuO:Gd_2O_3$ increased after the temperature was increased from 600 K to 660 K, while the power factor of the other samples dropped.

Conclusion

Solid state reaction method was used to prepare thermoelectric material of the compound of $CuGd_2O_4$ in the proportion of $xCuO:Gd_2O_3$, and the molar ratios of CuO were varied as $x = 2$, 2.5, 3, and 3.5 mol. At temperatures ranging from 400 to 800 K, the Seebeck coefficient, the electrical resistivity, and power factor were measured. The behavior of n-type thermoelectric materials were confirmed by the negative Seebeck coefficient. At 770 K, the highest value of Seebeck coefficient is −290 μV/K, rising with the increasing temperature. The electrical resistivity decreased as the temperature increased. The power factor values for 2CuO: Gd_2O_3, 2.5CuO: Gd_2O_3, and 3CuO: Gd_2O3 increased as the temperature was increased from the room temperature to 580 K. Meanwhile the temperature was increased from 600 K to 660 K, the values for $3.5CuO:Gd_2O_3$ and $2.5CuO:Gd_2O_3$ increased, while that of the other samples decreased. However, for the temperature over 660 K, only the value for $3.5CuO:Gd_2O_3$ decreased. The highest value of power factor is 4.6 $\mu Wm^{-1}K^{-2}$ at 570 K for 2CuO: Gd_2O_3.

Acknowledgments

The authors would like to thanks Thermoelectric Research Laboratory, Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University for thermoelectric properties measurements, Thanks are also due to Research and Development Institute, NPRU for facilities. K. Boonin and J. Kaewkhao would like to thanks National Research Council of Thailand (NRCT) and Thailand Science Research and Innovation (TSRI) for supporting this research.

References

1. S. Chen *et al.*, A high-performance ag alloyed nano-scale n-type Bi2Te3 based thermoelectric material, *Mater. Today* **2** (2), 610 (2015). DOI: 10.1016/j.matpr.2015.05.083.
2. D. M. Rowe, *CRC Handbook of Thermoelectrics* (CRC, Boca Raton, NY, 1995), p. 21.
3. T. Fu *et al.*, Enhanced thermoelectric performance of PbTe bulk materials with figure of merit ZT >2 by multi-functional alloying, *J. Materiomics* **2**, 610–619 (2016). DOI: 10.1016/j.jmat.2016.05.005.
4. J. P. Heremans *et al.*, Enhancement of thermoelectric efficiency in PbTe by distortion of the electronic density of states, *Science* **321** (5888), 554 (2008). DOI: 10.1126/science.115925
5. M. Benyahia *et al.*, High thermoelectric figure of merit in mesostructured In0.25Co4Sb12 n-type skutterudite, *J. Alloys Compd.* **735**, 1096–1104 (2018). DOI: 10.1016/j.jallcom.2017.11.195.
6. L. D. Zhao *et al.*, Ultrahigh power factor and thermoelectric performance in hole-doped single-crystal SnSe, *Science* **351** (6269), 141 (2016). DOI: 10.1126/science.aad3749.
7. A. T. Duong *et al.*, Achieving ZT = 2.2 with Bi-doped n-type SnSe single crystals, *Nat. Commun.* **7**, 1–6 (2016). DOI: 10.1038/ncomms13713.
8. G. Joshi *et al.*, Enhancement in thermoelectric figure-of-merit of an N-type half-Heusler compound by the nanocomposite approach, *Adv. Energy Mater.* **1**, 643–647 (2011). DOI: 10.1002/aenm.201100126.
9. X. Yan *et al.*, Thermoelectric property study of nanostructured p-type half-heuslers (Hf, Zr, Ti)CoSb0.8Sn0.2, *Adv. Energy Mater.* **3**, 1195–1200 (2013). DOI: 10.1002/aenm.201200973.
10. B. Poudel *et al.*, High-thermoelectric performance of nanostructured bismuth antimony telluride bulk alloys, *Science* **320** (5876), 634 (2008). DOI: 10.1126/science.1156446.

11. W. Xie *et al.*, Unique nanostructures and enhanced thermoelectric performance of melt-spun BiSbTe alloys, *Appl. Phys. Lett.* **94** (10), 102111 (2009). DOI: 10.1063/1.3097026.
12. Y. Tokura, H. Takagi, and S. Uchida, A superconducting copper oxide compound with electrons as the charge carriers, *Nature* **337** (6205), 345 (1989). DOI: 10.1038/337a0.
13. H. Takagi, S. Uchida, and Y. Tokura, Superconductivity Produced by Electron Doping in CuO2-Layered Compounds, *Phys. Rev. Lett.* **62** (10), 1197 (1989). DOI: 10.1103/PhysRevLett.62.1197.
14. H. Kim *et al.*, Ultralow thermal conductivity of β-Cu2Se by atomic fluidity and structure distortion, *Acta Mater.* **86**, 247–253 (2015). DOI: 10.1016/j.actamat.2014.12.008.
15. B. Yu *et al.*, Thermoelectric properties of copper selenide with ordered selenium layer and disordered copper layer, *Nano Energy* **1** (3), 472 (2012). DOI: 10.1016/j.nanoen.2012.02.010.
16. H. Liu *et al.*, Copper ion liquid-like thermoelectrics, *Nat. Mater.* **11**, 422–425 (2012). DOI: 10.1038/nmat3273.
17. P. Qiu, X. Shi, and L. Chen, Cu-based thermoelectric materials, *Energy Storage Mater.* **3**, 85–97 (2016). DOI: 10.1016/j.ensm.2016.01.009.
18. M. Sera, S. Shamoto, and M. Sato, Anisotropic thermoelectric powers of YBa2Cu3O7 $-\delta$ and (La1 $-$ x)2CuO4 single crystals, *Solid State Commun.* **68**, 649–654 (1988). DOI: 10.1016/0038-1098(88)90156-1.

Japanese Journal of Applied Physics

The Japan Society of Applied Physics

REGULAR PAPER

Enhanced dimensionless figure-of-merit of $Ca_3Co_4O_9$ by nano-sized precursor

To cite this article: Wanatchaporn Namhongsa and Tosawat Seetawan 2022 *Jpn. J. Appl. Phys.* **61** 035501

View the article online for updates and enhancements.

You may also like

- Preparation and Physical Properties of Segmented Thermoelectric $YBa_2Cu_3O_{7-x}$-$Ca_3Co_4O_9$ Ceramics
P Wannasut, N Keawprak, P Jaiban et al.
- Low temperature sintering and microwave dielectric properties of $BaZn_2Ti_4O_{11}$ ceramics with Li_2O-B_2O_3-SiO_2 glass
S X Duan, E Z Li, Y W Chen et al.
- Study of $Ca_{3-x}Bi_xCo_4O_{9+\delta}$ ($0 < x \leq 0.5$) as Novel Cathodes for IT-SOFCs
Jing Zou, Jungdeok Park, Heechul Yoon et al.

This content was downloaded from IP address 130.54.110.23 on 24/02/2022 at 05:58

Japanese Journal of Applied Physics **61**, 035501 (2022) **REGULAR PAPER**
https://doi.org/**10.35848/1347-4065/ac43cf**

Enhanced dimensionless figure-of-merit of $Ca_3Co_4O_9$ by nano-sized precursor

Wanatchaporn Namhongsa[1,2] and Tosawat Seetawan[1,2*]

[1]*Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000, Thailand*
[2]*Thermoelectric Research Laboratory, Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000, Thailand*

[*]E-mail: t_seetawan@snru.ac.th

Received June 14, 2021; revised December 11, 2021; accepted December 16, 2021; published online February 18, 2022

$Ca_3Co_4O_9$ sample synthesized from nanometer of $CaCO_3$ and Co_2O_3 sized precursor has been prepared by solid-state reaction and fast sintering by hot press method. The fast-sintering time can maintain the particle size of the nanometer. Their thermoelectric properties at high temperatures have been studied at 300–1000 K. The usage of a nano-sized precursor leads to decreased electrical resistivity, increased power factor, and would lead to huge dimensionless figure-of-merit (ZT) growth, respectively. The main effect is observed on thermal conductivity that is lower than the sample synthesized with micrometer precursors powder from 0.67 W mK^{-1} which became 0.36 W mK^{-1} at 973 K. The best ZT value of $Ca_3Co_4O_9$ reaches 0.51 at 973 K. © 2022 The Japan Society of Applied Physics

1. Introduction

Thermoelectric materials harvest energy by converting waste heat into electricity through different temperatures between the thermoelectric devices; this method is an attractive method to reduce greenhouse gas emissions.[1–3)] This performance of thermoelectric materials can be predicted via considering the dimensionless figure-of-merit (ZT) by $ZT = S^2T/\rho\kappa$, where S is the Seebeck coefficient (V/K), T is the absolute temperature, ρ is the electrical resistivity (Ω m) and κ is the thermal conductivity (W m^{-1} K). The relationships of S, ρ and κ are the most important factors leading to high or low ZT values of thermoelectric materials with a drastic dependence on carrier concentration, the electrical and thermal conductivity increase, while the Seebeck coefficient decreases with increasing carrier concentration.[4,5)]

Several years ago, researchers have proposed a process to enhance the ZT value and reduce the bulk thermal conductivity by decreasing the grain sizes when the grain diameter is less than 500 nm to the dimensionality of materials to 1D nanostructures, which would lead to a large ZT increase.[6)] Many efforts have been made to improve the ZT value of $Ca_3Co_4O_9$ by improving the grain alignment in the materials or by chemical substitutions.

The electrical resistivity of $Ca_3Co_4O_9$ was reduced by improving grain alignment, increasing grain size, and enhancing bulk density, and the improved power factor reached 0.8 mW m K^{-2} at 1073 K. However, the thermal conductivity was increased caused by the increase of the grain size and the enhancement of the degree of grain alignment is much smaller than the improvement of the power factor.[7)] Furthermore, the researcher demonstrated the enhancement of the thermoelectric performance of $Ca_3Co_4O_9$ via decreasing the grain size to nanoscale texturing and engineered interfaces. This strategy modified the crystal structure of $Ca_3Co_4O_9$ and induced phonon scattering by point defects, leading to lower thermal conductivity. Nanoscale texturing along the c-axis provided the advantage of higher electrical conductivity and reduce thermal conductivity in hot-pressing or spark plasma sintering samples, enhancing the thermoelectric properties response (enhanced ZT).[8)]

Herein, we focus on oxide-based, which is a potential candidate for thermoelectric application due to its good stability at high temperatures, less toxic, less expensive, and environmentally friendly.[9)] The $Ca_3Co_4O_9$ thermoelectric materials are cobaltite ceramics including the misfit-layered structure as $[Ca_2CoO_3][CoO_2]_{b1/b2}$, where b_1 and b_2 refer to b-axis length of rock-salt type $[Ca_2CoO_3]$ sublattice and CdI_2-type $[CoO_2]$ sublattice, respectively. Which, these sublattices are stacked alternatively along the c-axis and the interaction of these two subsystems via displacive Ca-O bonds leads to anisotropic transport in the $Ca_3Co_4O_9$ system.[10)] Although $Ca_3Co_4O_9$ exhibits a large ZT value at elevated temperatures, at lower temperatures the ZT value is much smaller because the thermal conductivity is dependent on the microstructure of bulk material and grain size effect on the thermoelectric properties of $Ca_3Co_4O_9$ bulk samples. The $Ca_3Co_4O_9$ bulk was synthesized by the hot-pressed method at 1173 K for 1 h and annealed by a furnace at 1173 K for 12 h. The electrical resistivity of the sample is 24.2 mΩ cm at 373 K, Seebeck coefficient 205 μV K^{-1}, and power factor 0.17 mW m^{-1} K^{-2} at 873 K, respectively.[11)] F. Delorme et al. have shown the effect of micrometer, nanometer and mixing sizes of precursors powder, which were prepared by a solid-state reaction and spark plasma sintering. The $Ca_3Co_4O_9$ sample was synthesized from nanosized CaO – micro-sized Co_3O_4 precursors lead to slightly higher electrical conductivity and higher power factor, meanwhile the thermal conductivity values are lower around 1.65 W m^{-1} K^{-1} at 1000 K more than micro-sized CaO – micro-sized Co_3O_4 sized precursors sample. The best ZT value was reached 0.18 at 973 K for the sample synthesized from nano-sized CaO and micrometer-sized Co_3O_4.[12)] The $Ca_3Co_4O_9$ was prepared by powder synthesis with the solid-state reaction and conventional sintering. The $Ca_3Co_4O_9$ microstructure has a strong texture of the $Ca_3Co_4O_9$ platelets within lamination. The electrical conductivity of conventional sintering is 56 S cm^{-1} at 373 K. The thermal conductivity of the $Ca_3Co_4O_9$ sample is 1.3 W/(mK) at 373 K. ZT of the $Ca_3Co_4O_9$ sample increases with temperature and reaches about 0.11 at 873 K.[13)] Gunes et al. analyzed the effect of grain size and porosity on thermal conductivity of $Ca_3Co_4O_9$ ceramics with various grain sizes; for nano-sized samples exhibit higher ZT values, they report a thermal conductivity 0.32 W/(mK) at 300 K, decreasing with particle sizes. The ZT value reached 0.29 at 1273 K. The increase in

 © 2022 The Japan Society of Applied Physics

ZT at high temperatures is due to several factors. First, the thermal conductivity is already low and remains constant. Second, the Seebeck coefficient increases with temperature; however, the electrical transport behavior changes, and resistivity decreases near 420 K, which substantially contributes to the enhancement of *ZT* at high temperature. The synthesized nano-sized samples exhibited higher electrical resistivity due to the quantity of pores, which increased the carrier scattering at boundaries, and the lower thermal conductivity due to phonon boundary scattering at the increased number of interfaces. *ZT* was enhanced due to the substantial decrease in the thermal conductivity despite the great increase in resistivity. The total thermal conductivity reduction was experimentally observed to be larger for smaller grain sizes and higher porosities. Because the size and morphology of materials strongly affect *ZT* values.[14)]

However, no detailed reports are available on the $Ca_3Co_4O_9$ oxide concerning the combined nanostructure and enhanced the *ZT* values. In this work, the effect of nano-sized precursors on the enhancement of the *ZT* value of $Ca_3Co_4O_9$ sample is reported by decreasing the total thermal conductivity without significantly degrading the Seebeck coefficient.

2. Materials and methods

The $Ca_3Co_4O_9$ sample was synthesized from mixing nano precursor powders $CaCO_3$ (US Research Nanomaterials, Inc., purity 98%) and Co_2O_3 (US Research Nanomaterials, Inc., purity 99.7%) with a planetary ball mill (PBM) (Retsch™ PM 400 Model Planetary Ball Mill). The ratio of the ball with powder was 10:5, with a diameter of 10 mm, and performed at 350 rpm. To control the grain size, the ball-milling time was set to 8 h. Mixed nanopowder precursors were calcined at 1173 K for 10 h and then fast sintered by hot-pressed in a graphite die using hot-press systems (HP, TMAX-PressFurnace1 Model) using a pressure of 20 MPa under Ar atmosphere at 1173 K for 0.5 h by control heating rate up 5 °C min^{-1}.

The resulting bulk samples were precisely analyzed and the crystal structure of the samples were characterized using powder X-ray diffraction (XRD) in the 2θ range 10°–70° and a continuous scan mode of 2°/min receiving slit = 0.15000 mm would calculate it as 3251 steps, using CuKα radiation ($\lambda = 1.5406$ Å) with a voltage of 40 kV and current of 30 mA, (LabX XRD-6100, SHIMADZU, Japan) at room temperature.

The crystallite size of all samples was involuted from the modified Scherrer's formula as follows:

$$D = K\lambda/\beta_{hkl}\cos\theta \tag{1}$$

where D is the crystalline size in nanometers, K is a constant whose value depends on particle shape and usually varies from 0.62 to 2.08.[15,16)] The constant of proportionality, K, is 0.94 and depends on how the width is determined, the shape of the crystal, and the size distribution (assumes for an FWHM of spherical crystals with cubic symmetry), and λ is 1.5406 Å wavelength of Cu-Kα radiation, β_{hkl} is the FWHM and θ is the Bragg's angle (in radians).

The microstructure of the sample was examined using field emission scanning electron microscopy (FESEM JSM-7610F, JEOL, Japan) to obtain SEM images. Insulating samples have been sputter-coated with a thin layer of about 10 nanometers (nm) of a conductive material such as platinum or gold prior to observation by Auto Fine Coater (JEOL JEC-3000FC).

Thermoelectric properties of the sintered samples were cut along the radial direction into bars with a dimension of $3 \times 3 \times 15$ mm^3 measured by a standard four-probe method using the Seebeck coefficient/electrical resistance measuring system (ZEM-3, ULVAC-RIKO, Japan) at a temperature range 300–973 K in a He atmosphere.

The thermal conductivity can be calculated using the relationship of thermal diffusivity (α), heat capacity C_p, and density of bulk (d) as the following:

$$\kappa = \alpha(T)C_p(T)d(T) \tag{2}$$

The thermal diffusivity values (α) were measured by flash diffusivity apparatus (Netzsch LFA-467, Germany) from room temperature to 973 K in an argon atmosphere. The heat capacity C_p can be calculated using the following equation:

$$C_p = \frac{1}{m}\frac{dQ}{dT} = \frac{Q}{m\Delta T} \tag{3}$$

where C_p is the specific heat capacity at a constant pressure ($J{\cdot}Kg^{-1}{\cdot}K^{-1}$), m is the mass (kg), Q is the heat energy (J) and T is the temperature (K). From this, the specific heat of $Ca_3Co_4O_9$ material was calculated as 399.12(8) J kg^{-1} K^{-1}. The experimental relative density (d) of the ceramic was calculated based on the sample size and weight measured by density kit (MS-DNY-54, METTLER TOLEDO, Switzerland) with the Archimedes method as follows:

$$d = \frac{A}{A-B}(d_0 - d_L) + d_L \tag{4}$$

where d is the density determination of solids, A is the weight of the sample in air, B is the weight of sample in an auxiliary liquid, d_0 is the density of auxiliary liquid followed by differential room temperature and d_L is the density of air (0.0012 g cm^{-3}). To ensure the accuracy of the results, all characterization tests were performed using the same sample. By using experimentally measured thermal diffusivity, specific heat, and density the thermal conductivity of the samples was determined.

3. Results and discussion

XRD patterns for the nano precursors, ball-milled powder, calcined powder, and sintered powder are shown in Figs. 1(a)–1(e). The peaks in the XRD patterns indicated that (a) the $CaCO_3$ and (b) Co_2O_3 phase. The $CaCO_3$ phases were shown as broad peaks because the crystallite size is exceedingly small more than the Co_2O_3 phases corresponding with Table I. (c) The mixing treatment (8 h at 350 rpm in an agate ball mill) does not lead to the $Ca_3Co_4O_9$ phase because they are composed of the combination inherent in both the $CaCO_3$ and Co_2O_3 peaks corresponding with N. Puri et al.[17)] and indicates that the ball-milled process facilitates the formation of a uniformly distributed mixture containing both the precursors. However, when we expanded image peaks in the range $2\theta = 29$–32°, shown in Fig. 2, the broad peaks of the mixed nano precursor powders after being ball-milled for 8 h causing the crystallite size of mixed nano precursor

© 2022 The Japan Society of Applied Physics

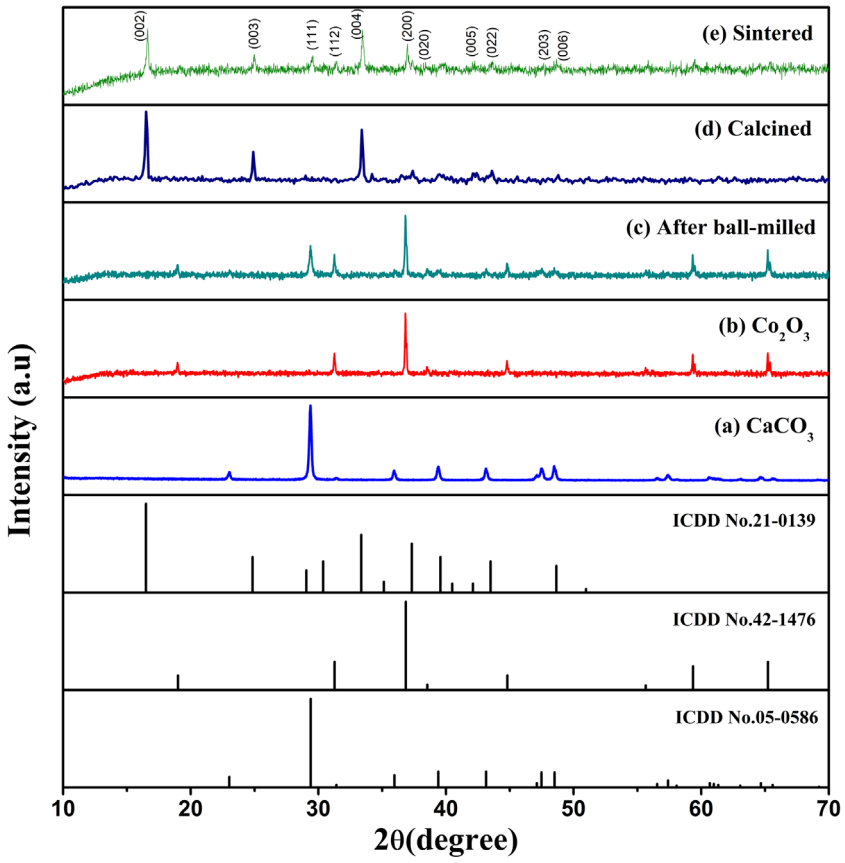


Fig. 1. (Color online) XRD patterns of the (a) precursors; $CaCO_3$ nanoparticles, (b) Co_3O_4 nanoparticles, (c) after ball-milled, (d) $Ca_3Co_4O_9$ powders prepared by calcination and (e) $Ca_3Co_4O_9$ powders prepared fast sintering by the hot-press method, respectively. The vertical lines at the bottom axis represent various planes of Co_2O_3, $CaCO_3$, and $Ca_3Co_4O_9$ mentioned in ICDD No. 05-0586, 42-1476 and 21-0139, respectively.

Table I. The average crystallite size (D) determined by XRD of nano precursors powder, ball-milled, calcined samples, and grain size (d) from SEM for the sintered $Ca_3Co_4O_9$ sample.

Samples	2θ (deg.)	FWHM (deg.)	D (nm)	d (nm)
$CaCO_3$	29.38	0.53	19.45(6)	—
Co_2O_3	36.82	0.34	36.56(1)	—
After ball-milled	36.82	1.32	6.90(2)	—
Calcined	16.5	0.55	18.14(1)	—
Sintered	16.5	0.55	51.50(1)	>100

powders to become decreased with increasing ball mill time and influenced by the initial size of the precursors within the mixture corresponding to N. Prasoetsopha et al.[18] Figure 1(d) shows the phase-composition analysis of the calcined samples showed a strong influence of the particle size of the $CaCO_3$ and the Co_2O_3 in the starting-powder mixtures on the formation of the $Ca_3Co_4O_9$ phase. The calcined powder showed a major crystal phase of the $Ca_3Co_4O_9$ matched with the ICDD No. 21-0139, the XRD patterns with the dominant (002) plane, and the expected ratio of the two highest-intensity peaks for (002) and (004) planes (at 16.5° and 33.6°, respectively). While for the peak at 42.4 we found the minor diffraction peaks correspond to the presence of $Ca_3Co_2O_6$ (ICDD No. 23-0111) as an intermediate phase. Minor deviations in the stoichiometry and homogeneity of the sample were expected to facilitate the formation of secondary phases. This has been attributed to long hold durations during calcination or temperatures 1173 K, favoring the decomposition of the $Ca_3Co_4O_9$ phase into the aforementioned phases. The diffraction signals of the calcined powders gradually narrowed and strengthened with increasing calcination temperatures, demonstrating the increase in crystallinity and crystallite size and Fig. 1(e) from the data represented the single $Ca_3Co_4O_9$ phase can be observed at 1173 K produced with the signature (002) plane at 16.5° indicated that the major diffraction peaks assigned for $Ca_3Co_4O_9$ based phase of the monoclinic structure and other planes at peak positions in accordance with ICDD No. 21-0139, consistent with the alternate stacking sub-systems with a two-dimensional triangular lattice of rock-salt-type $[Ca_2CoO_3]$ layers sandwiched between two hexagonal $[CoO_2]$ layers along the c-axis corresponding to Masset, A. C., et al.[19] The quality of the starting powders has a significant impact on the synthesis of the $Ca_3Co_4O_9$ phase, and the smoothness observed in the $Ca_3Co_4O_9$ phase formation reactions was most probably due to the fine-grained starting powders.

For particle size analysis, the particle size will change with changing molarity. The particle size of the ball-milled, calcined, and sintered are about 8.68(1) μm, 7.64(2) μm, and 5.92(1) μm, respectively, seen as a tail in the size distribution diagram given in Fig. 3. The molarity was decreased with decreasing particle size. The ball-milled powder has an agglomerate making the reduction of the size of the spheres after ball-milling, which tends to come together and form large aggregates. Calcined powder was the highest volume density because particle size was increased with increasing calcination temperatures. This could be due

© 2022 The Japan Society of Applied Physics

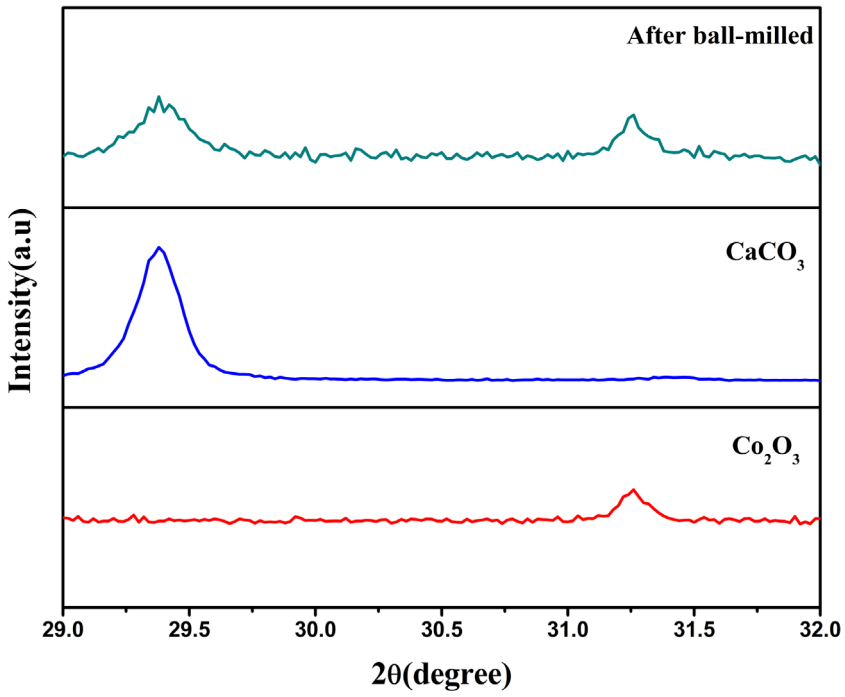


Fig. 2. (Color online) XRD patterns expanded image peaks in range $2\theta = 29$–$32°$, the broad peaks of the mixed nano precursor powders after ball milling.

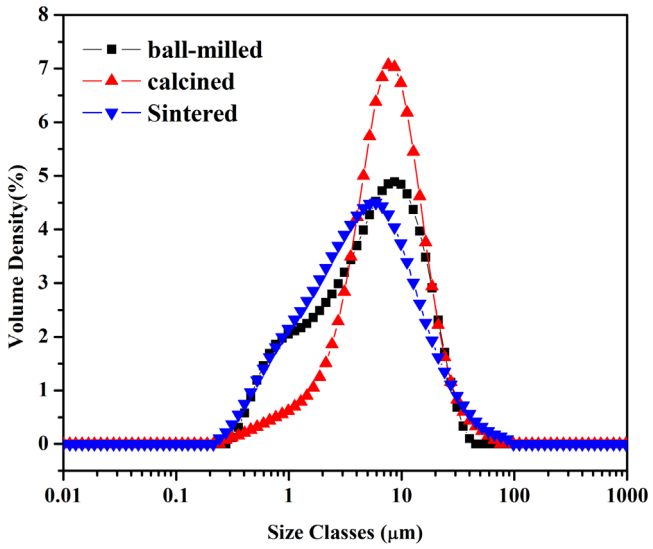


Fig. 3. (Color online) Particle size distribution of $Ca_3Co_4O_9$.

to the high surface energy of $Ca_3Co_4O_9$ particles. At higher calcination temperatures, the surface energy of the particles tended to increase, resulting in increased aggregation. This consequently produced the larger particles, while the sintered sample was the lowest particle size due to the decreased amount of time to short sintering time (0.5 h). As evident from this figure, decreasing the sintering time reduces the particle size and volume density of the sample.

The average crystallite size (L) is calculated for the powder samples using the Scherrer's formula.[15,16] The estimated values for the average crystallite size of nano precursor powder, after ball-milling, calcined powder as shown in Table I. For $CaCO_3$ and Co_2O_3 the crystallite sizes obtained from XRD for the ball-milled sample are well below 6.90 nm, as observed clearly in the SEM images where the grain sizes are several nanometers as shown in Fig. 4(c). This observed decrease in crystallite size with increasing ball-milling time is attributed to the initial sizes of the precursor mixture experiencing calcination.

The nano precursors powder, after ball-milling and calcination, had its particle sizes confirmed by SEM, as shown in Fig. 4, which shows representative micrographs of the two possible precursors: the $CaCO_3$ precursor is composed of particles size 89 nm rhombohedral crystal [Fig. 4(a)], Co_2O_3 is composed of particles 393 nm octahedral crystals [Fig. 4(b)]. Figure 4(c), shows an image of after ball-milling with irregular features average sizes of two populations $CaCO_3$ and Co_2O_3 which the reduction in feature sizes is monitored for the sample prepared with increasing ball-milled time and Fig. 4(d) observations confirm that the calcined powder contained the same plate as faceted rectangular shaped crystal grains. The size of the particle increases as calcination temperature increases. This resembles the inherent properties of lowering down the dimension using ball-milled and the formation of larger features during calcination. For calcination temperatures of 1173 K for 10 h, the grain size is relatively large, and the size distribution is uniform. The average grain size of calcined powder has two populations of $Ca_3Co_4O_9$ particles which seem to coexist: large particles, near 650 nm, and exceedingly small particles, near 100 nm.

The morphology of the sintered samples is shown in Fig. 5. After fast sintering, the grain size of $Ca_3Co_4O_9$ is observed to grow larger after sintering and exhibited a dense microstructure of lamellar grains in size and a strong texture perpendicular to the direction of the applied pressure level. The lamellar grains of $Ca_3Co_4O_9$ have appeared to be a large area, and such texture would be advantageous for thermoelectric performance since the thermoelectric properties of layered $Ca_3Co_4O_9$ are highly anisotropic to cause a high Seebeck coefficient. The small grain around the lamellar grains was induced by phonon scattering by point defects,

© 2022 The Japan Society of Applied Physics

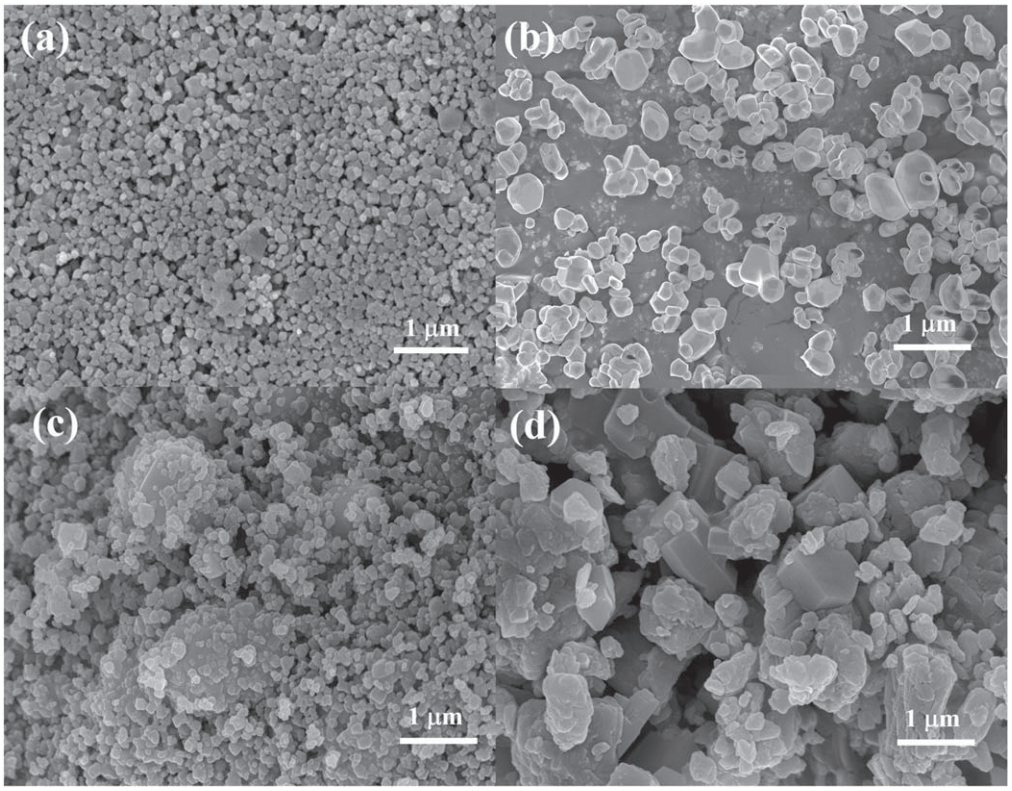


Fig. 4. SEM micrographs of the precursors, (a) $CaCO_3$ nanoparticles, (b) Co_2O_3 nanoparticles, and (c) ball-milled the mixed nano precursors powder after ball milling showing aggregates of nanoparticles (d) calcined powder.

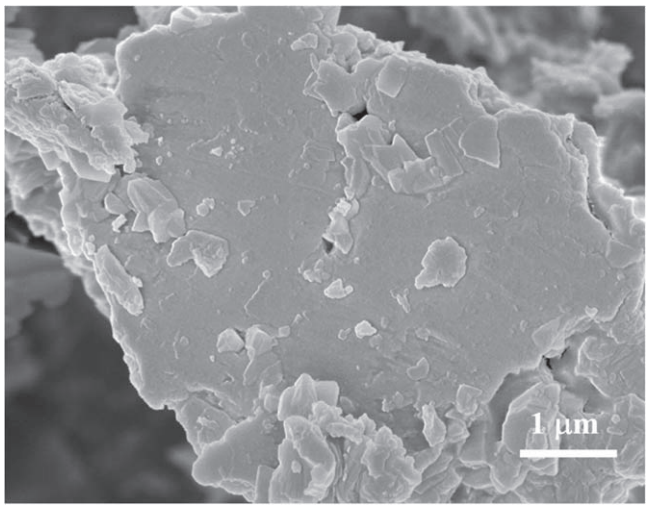


Fig. 5. SEM micrographs of the $Ca_3Co_4O_9$ fast-sintering sample.

leading to lower thermal conductivity. These authors have explained that this behavior should be related to the reduction in the number of grain boundaries due to the improvement of grain alignment and the increase in bulk density corresponding to this work shows the high-density value of the bulk $Ca_3Co_4O_9$ sample.

Moreover, the diffraction patterns of the $Ca_3Co_4O_9$ calcined and sintered sample helped to calculate the lattice parameter (a, b, c) the density, and relative density, which are given in Table II. The lattice parameter is determined by XRD results. It has been reported that the lattice parameter increases or decreases as a function of the crystallite size in the structure and it can make a change in the properties of these materials.[20,21] Subsequently, the sintered sample

Table II. The density, relative density, and the lattice parameter (a, b, and c) of $Ca_3Co_4O_9$ samples.

Samples	Density (g cm^{-3})	Relative Density %	Lattice Parameters (Å)		
			a	b	c
Calcined	—	—	4.88(5)	4.57(7)	10.90(1)
Sintered	4.443 4.68[22]	94.87	4.87(1)	4.58(4)	10.87(8)

presents a high bulk density with an apparent density value larger than 94.87% of the relative density.

Temperature dependence of the Seebeck coefficient (S) of $Ca_3Co_4O_9$ sample compared with the literature data[12,23,24] is shown in Fig. 6. The Seebeck coefficient of all samples shows a positive value over the measured temperature range, indicating p-type conduction and that the charge transport is dominated by defect electrons corresponding with the results of samples HP[12], SSR.[23,24] The S value of the $Ca_3Co_4O_9$ sample showed that it increased with increasing temperature from 160.15 $\mu V\ K^{-1}$ at 400 K, to 185 $\mu V\ K^{-1}$ at 973 K approximately. However, the S shows a slight decrease of $\sim$156.87 $\mu V\ K^{-1}$ at 380 K. After calcination and fast sintering by the hot-pressed method, the XRD pattern shows the single phase and the grain size is still nanometers, and the two populations particles seem to coexist with lamellar grains and small grains that occur around observed from SEM images. The small grains that occur around the lamellar grains have high mobility and low phonon transport properties giving a high Seebeck coefficient. While for the $Ca_3Co_4O_9$ sample sintered by the solid-state reaction method[24] the values have shown a slightly different behavior, they possess lower S values from room temperature to

© 2022 The Japan Society of Applied Physics

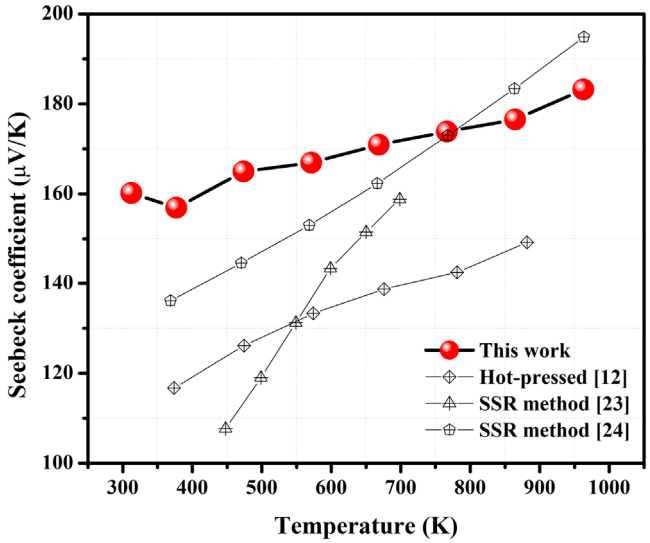


Fig. 6. (Color online) Dependence of the S value on the temperature of the $Ca_3Co_4O_9$ sample was synthesized by fast sintering with a hot-pressed method.

~673 K and higher values at higher temperatures. In addition, the $Ca_3Co_4O_9$ sample sintered by the hot-pressing[12] and solid-state reaction method[23] had lower S values in comparison to the other samples because this method has the capability to compact the powder into a dense bulk within long times owing to the self-heating effect being well densified with micrometers of grain size, increasing the influence on the S values of the scattering effect which will be decreased. Therefore, when the length of grains is larger, the influence of temperature on the S values becomes more significant. These values are extremely high and agree with the high thermal conductivity values.

In Fig. 7 the ρ curves of the $Ca_3Co_4O_9$ samples had similar behavior corresponding to the metal to semiconducting transition in the range 273–973 K. The ρ of the samples was decreased with increasing temperature 31.51 mΩ cm at 300 K to 17.39 mΩ cm at 973 K when corresponding with literature data. The monoclinic structure of $Ca_3Co_4O_9$ is comprised of two misfit layered subsystems: a distorted rock salt-type Ca_2CoO_3 layer sandwiched between two CdI_2-type CoO_2 layers along the c-axis. CoO_2 nanosheets possessing a strongly correlated electron system serve as electronic transport layers (i.e., high electrical conductivity) and Ca_2CoO_3 misfit layers serve as phonon scattering regions resulting in low thermal conductivity.

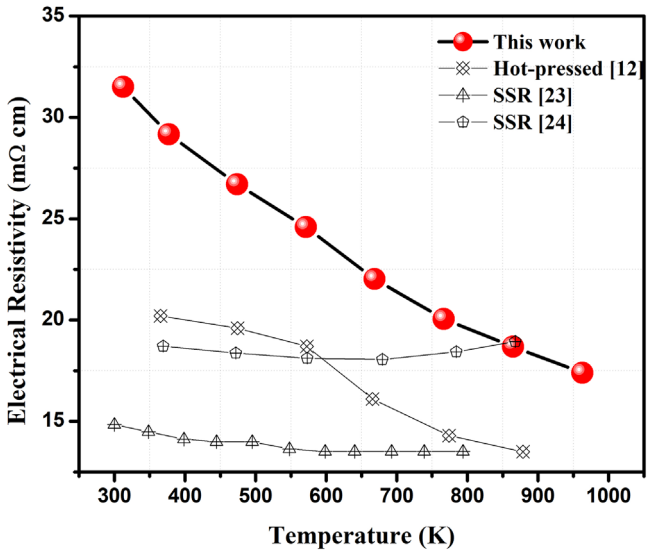


Fig. 7. (Color online) Dependence of the ρ on the temperature of the $Ca_3Co_4O_9$ sample was synthesized by fast sintering with a hot-pressed method.

The temperature dependence on the power factor ($PF = S^2/\rho$) of the $Ca_3Co_4O_9$ sample is shown in Fig. 8. The PF value characteristics with the values increased with increasing temperature corresponding with the literature.[12,23,24] The calculated PF value of the $Ca_3Co_4O_9$ sample is 0.08 mW mK^{-2} at 300 K, and it reached 0.19 mW mK^{-2} at 973 K. When compared with the literature from Sotelo et al.,[24] they have synthesized a nanometric grain size from the classical solid-state route. The result shows similarity with the values in this work.

Since thermal conductivity is a function of thermal diffusivity, specific heat capacity at constant pressure and density, the relationship between thermal conductivity and temperature can be obtained by measuring thermal diffusivity, specific heat capacity at constant pressure, and density. Figure 9 shows that the thermal conductivity decreases with the increase of temperature. The thermal conductivity sample exhibited lower thermal conductivities over the whole temperature range from 0.67 W m K^{-1} at temperature 298 K was which became 0.36 W m K^{-1} at 973 K. The κ values of $Ca_3Co_4O_9$ samples were also lower when compared with other well-known oxide ceramics.[11,23] It is evident that the lower thermal conductivity values were caused by the $Ca_3Co_4O_9$ sample that was synthesized from nano powder precursors and the fast sintering with the hot-pressed was highly densified, the influence of porosity on thermal transport properties can be neglected[25] and nanoscale have interfaces, which could create additional phonon scattering. Therefore, it is evident that the lower κ values were caused by the enhancement of phonon scattering due to the fine microstructure. The thermal conductivity is dominated by phonon vibrations when the semiconductor material has a low carrier concentration. However, it is dominated by the

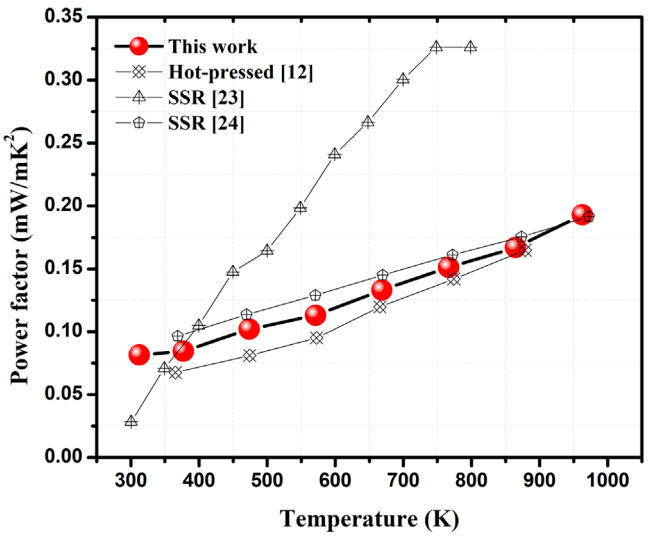


Fig. 8. (Color online) Temperature dependence of the power factor of the $Ca_3Co_4O_9$ sample.

© 2022 The Japan Society of Applied Physics

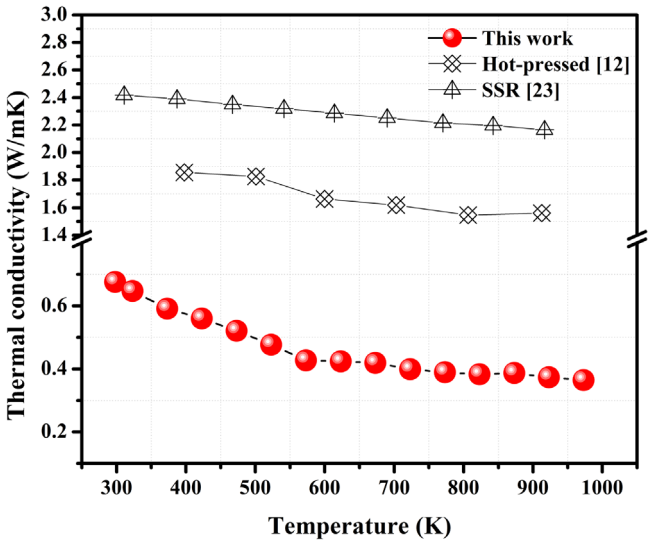


Fig. 9. (Color online) Dependence of the κ on the temperature of the $Ca_3Co_4O_9$ sample was synthesized by fast sintering with a hot-pressed method.

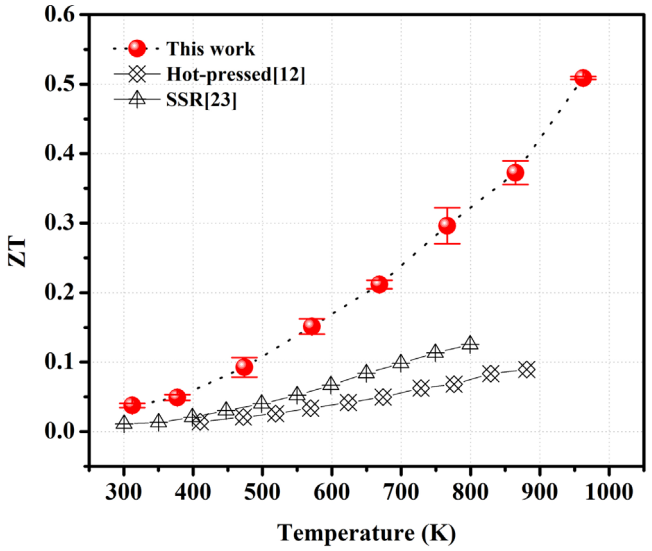


Fig. 10. (Color online) Dimensionless figure of merit (ZT) of the $Ca_3Co_4O_9$ sample.

concentration of the carriers when the carrier concentration increases. Therefore, the decrease in thermal conductivity observed for samples synthesized from nano-sized precursors must be related to the decrease of the lattice component of the thermal conductivity k_l. This decrease must be attributed to an increase in the phonon scattering. This scattering could be related to the smaller size of the $Ca_3Co_4O_9$ particles and the average particle size of the samples synthesized from nano-sized precursors.

The dimensionless figure of merit ZT was calculated, as shown in Fig. 10. The maximum ZT value of $Ca_3Co_4O_9$ sample was observed at 923 K around 0.51 when compared with other methods from the literature data, which is an exceptionally large value among oxide materials for un-doping materials. The thermoelectric efficiency of this system is effectively improved by nano structuring, as results show the enhanced ZT was increased with increasing temperature due to the lower electrical resistivity and significantly lower thermal conductivity in our sample due to the method for synthesizing nanoscale powders and sintering the nano powder, with the short durations times for significantly decreased grain growth. Further optimization of the synthesis process such as a shorter period at high temperature should lead to even smaller $Ca_3Co_4O_9$ particles which would, in turn, decrease thermal conductivity and thus lead to better ZT values.

4. Conclusions

We discussed the effect of nano-size precursor powders by optimizing the process parameters for ball-milled, calcination and attempted to control the grain size by fast sintering times that influence the thermoelectric properties of $Ca_3Co_4O_9$. The $Ca_3Co_4O_9$ sample has an improved characteristic of the material due to the small grain size, revealed as disk-like microstructures and grains randomly throughout the material. The density values of nano samples are higher due to the formation of small grain size during sintering, which could have helped the densification process. In addition, the lowest thermal conductivity of $Ca_3Co_4O_9$ due to the nano precursor powder has a strategy that modified the crystal structure and induced phonon scattering leading to lower thermal conductivity when compared with synthesis by micro precursor powder. The best ZT value of $Ca_3Co_4O_9$ reaches 0.51 at 973 K.

Acknowledgments

The authors would like to express their gratitude to the research facility support from the Center of Excellence on Alternative Energy, Sakon Nakhon Rajabhat University, and the thermal diffusivity measurements were supported by Dr. Sora-at Tanusilp and Prof. Ken Kurosaki at Kyoto University, Japan.

Funding

This work is financially supported by The Royal Golden Jubilee PhD Programme (RGJ-PhD.) (Grant No. PhD/0065/2560), Thailand Research Fund (TRF) Research Career Development Grant, (RSA6180070).

ORCID iDs

Tosawat Seetawan https://orcid.org/0000-0003-4297-3452

1) J. W. Fergus, Eur. Ceram. Soc. **32**, 525 (2012).
2) S. M. Choi, K. H. Lee, C. H. Lim, and W. S. Seo, Energy Convers. Manag. **52**, 335 (2011).
3) R. Funahashi, I. Matsubara, H. Ikuta, T. Takeuchi, U. Mizutani, and S. Sodeoka, Jpn. J. Appl. Phys. **39**, L1127 (2000).
4) M. Kumagai, K. Kurosaki, Y. Ohishi, H. Muta, and S. Yamanaka, Mater. Trans., 1215–1228 (2014).
5) A. Minnich, M. S. Dresselhaus, Z. F. Ren, and G. Chen, Energy Environ. Sci. **2**, 466 (2009).
6) X. J. Zheng, L. Zhu, Y. H. Zhou, and Q. Zhang, Appl. Phys. Lett. **87**, 242101 (2005).
7) M. Mikami, E. Guilmeau, R. Funahashi, K. Chong, and D. Chateigner, J. Mater. Res. **20**, 2491 (2005).
8) M. E. Song, H. Lee, M. G. Kang, W. Li, D. Maurya, B. Poudel, and S. Priya, ACS omega **3**, 10798 (2018).
9) F. Delorme, D. O. Ovono, P. Marudhachalam, c. f. Martin, and O. Fraboulet, Mater. Res. Bull. **47**, 1169 (2012).
10) Y. Wang, Y. Sui, J. Cheng, X. Wang, and W. Su, J. Alloys Compd. **477**, 817 (2009).
11) A. Angnanon, J. Mater. Sci. **9**, 469 (2020).
12) M. Presečnik, J. De Boor, and S. Bernik, Ceram. Int. **42**, 7315 (2016).

© 2022 The Japan Society of Applied Physics

13) T. Schulz, T. Reimann, A. Bochmann, A. Vogel, B. Capraro, B. Mieller, and J. Töpfer, J. Eur. Ceram. **38**, 1600 (2018).
14) M. Gunes and M. Ozenbas, J. Alloys Compd. **626**, 360 (2015).
15) E. Purushotham and N. G. Krishna, Bull. Mater. Sci. **36**, 973 (2013).
16) J. I. Langford and A. J. C. Wilson, J. Appl. Crystallogr. **11**, 102 (1978).
17) N. Puri, R. P. Tandon, and A. K. Mahapatro, Ceram. Int. **44**, 6337 (2018).
18) N. Prasoetsopha, S. Pinitsoontorn, T. Kamwanna, K. Kurosaki, and S. Yamanaka, CMUJ NS Special Issue on Physics. **13**, 635 (2014).
19) A. C. Masset, C. Michel, A. Maignan, M. Hervieu, O. Toulemonde, F. Studer, and J. Hejtmanek, Phys. Rev. B **62**, 166 (2000).
20) M. Dittrich and G. Schumacher, Mater. Sci. Eng. C **604**, 27 (2014).
21) W. H. Qi and M. P. Wang, J. Nanoparticle Res. **7**, 51 (2005).
22) M. A. Madre, F. M. Costa, N. M. Ferreira, A. Sotelo, M. A. Torres, G. Constantinescu, and J. C. Diez, J. Eur. Ceram. Soc. **33**, 1747 (2013).
23) S. Saini, H. S. Yaddanapudi, K. Tian, Y. Yin, D. Magginetti, and A. Tiwari, Sci. Rep. **7**, 44621 (2017).
24) A. Sotelo, S. Rasekh, M. A. Torres, P. Bosque, M. A. Madre, and J. C. Diez, J. Solid State Chem. **221**, 247 (2015).
25) E. Combe, R. Funahashi, T. Barbier, F. Azough, and R. Freer, Mater. Res. **31**, 1296 (2016).

© 2022 The Japan Society of Applied Physics

Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

Integrated Ferroelectrics
An International Journal

ISSN: (Print) (Online) Journal homepage: https://www.tandfonline.com/loi/ginf20

Role of Al Substitution in the Enhancement of High-Temperature Thermoelectric Properties of ZnO Compound

Panida Pilasuta, Supasit Paengson, Kunchit Singsoog & Tosawat Seetawan

To cite this article: Panida Pilasuta, Supasit Paengson, Kunchit Singsoog & Tosawat Seetawan (2022) Role of Al Substitution in the Enhancement of High-Temperature Thermoelectric Properties of ZnO Compound, Integrated Ferroelectrics, 222:1, 28-37, DOI: 10.1080/10584587.2021.1961513

To link to this article: https://doi.org/10.1080/10584587.2021.1961513

Published online: 27 Dec 2021.

Submit your article to this journal

Article views: 2

View related articles

View Crossmark data

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=ginf20

INTEGRATED FERROELECTRICS
2022, VOL. 222, 28–37
https://doi.org/10.1080/10584587.2021.1961513

Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

Check for updates

Role of Al Substitution in the Enhancement of High-Temperature Thermoelectric Properties of ZnO Compound

Panida Pilasuta[a], Supasit Paengson[a], Kunchit Singsoog[b], and Tosawat Seetawan[a]

[a]Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, Thailand; [b]Thermoelectric Research Laboratory, Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institute, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, Thailand

ABSTRACT

ZnO thermoelectric material has shown a high Seebeck coefficient and low thermal conductivity. Nevertheless, the dimensionless figure of merit (ZT) value is quite low because of its high resistivity. We proposed a way to reduce electrical resistivity by substituting Al into ZnO. The Al-substituted ZnO samples were synthesized by solid-state reaction method and pressed into pellets by hot-pressing (HP) method. The Seebeck coefficient, electrical resistivity, and thermal conductivity (κ) are investigated. We have found that the electrical resistivity and the thermal conductivity significantly decreased with increasing Al content into the increases ZT = 0.28 (Al = 0.02) at 1073 K. The ZT values were higher than four times when compared with the unsubstituted sample.

ARTICLE HISTORY
Received 14 December 2020
Accepted 25 March 2021

KEYWORDS
Oxide thermoelectric materials; thermoelectric properties; Al substitution; reducing electrical resistivity; hot-pressing method

1. Introduction

Thermoelectric (TE) material is an important material that can convert waste heat into electrical energy and vice versa. Thus, it has the potential to be utilized for unused heat energy recovery and energy harvesting technologies. Since thermoelectricity can exploit waste heat and it does not generate deleterious by-products. Therefore, it is necessary to develop new industrial technologies. These new technologies have a critical role in many kinds of fields to satisfy the needs of future sustainable energy needs. The challenge facing oxidized materials is to find a method to increase their performance due to their TE performances are not high, but they are less toxic, less expensive, and generally more abundant [1]. The efficiency of TE energy conversion is determined by the dimensionless figure of merit:

$$ZT = \frac{S^2 T}{\rho\kappa} \tag{1}$$

where S is Seebeck coefficient, ρ is electrical resistivity, T is absolute temperature, and κ is thermal conductivity. In order to increase ZT, it is necessary to decreasing κ and increasing S and reducing κ at the same time. Among semiconducting oxides, ZnO is

CONTACT Tosawat Seetawan t_seetawan@snru.ac.th
© 2021 Taylor & Francis Group, LLC

an attractive material for this work because unique physical properties which can be functional at middle temperature to high temperatures for concentrated sources, especially suitable for solid-state conversion with a potential application in optical, electrical, and TE devices [2–4].

ZnO system is shown n-type and p-type depends on added material dopants such as aluminum, indium, and gallium for n-type [5–7]. While material doping for the p-type ZnO includes copper, lithium, and co-doping between magnesium with nitrogen [8, 9], in which there are three types of ZnO crystal structures namely cubic rock salt, cubic zinc blende, and hexagonal wurtzite [10].

ZnO-based oxide TE material shows a high electrical performance that can be sufficiently competitive to conventional materials such as PbTe and BiTe [11]. However, the overall performance of the oxide has been only about 30% of the practical requirement [12].

In this work, we investigated the crystal structure, morphology and TE properties of Al-substituted ZnO for increasing ZT value.

2. Experimental Details

The $Zn_{1-x}Al_xO$ samples with x = (0, 0.01, 0.02, 0.03) were prepared by SSR method and press into pelleted by hot-pressing (HP) method. The raw materials ZnO (99.5%, QRëC^{TM}) and Al_2O_3 (95%, Ajax Finechem Pty Ltd.) were used as starting materials. The raw powders were weighed in proper stoichiometric amounts and then mixed by the planetary ball mill using agate balls and vial in ethanol for 24 h at 350 rpm and dried at 353 K for 24 h. The mixed powder was calcined at 773 K for 5 h in air. The calcined powder was pressed into pellets by HP method (OTF-1200x-VHP-4). The calcined powder was pressed into pellets by the HP method (OTF-1200x-VHP-4) in the cylindrical graphite die with 20 mm inner-diameters and under pressed 60 MPa at 1173 K with a heating rate of 4 °C/min for 1 h in Ar atmosphere. The pellets were annealed by furnace at 1423 K for 5 h in air for remove carbon. The crystal structure was analyzed by X-ray diffraction from 20° to 80° (2θ) with CuKα ($\lambda = 1.5418$ Å) radiation at 40 kV and 30 mA radiation utilizing a Shimadzu diffractometer XRD-6100 at room temperature. The microstructure was observed by scanning electron microscopy (JSM-6301F; JEOL). The bulk samples were cut with size $3 \times 3 \times 15\,mm^3$ by low-speed saw (IsoMet Low Speed Saw and MetaServ 3000, Buehler Ltd., USA). The S and ρ were measured by ZEM-3(M10) and then calculated power factor (P). The α was measured by the laser flash method (Netzsch LFA-457) using samples size diameter 9.5 mm and thickness 1 mm then calculated the κ by

$$\kappa = \alpha d C_p \tag{2}$$

where κ is thermal conductivity, α is thermal diffusivity, d is density, and C_p is specific heat capacity.

3. Results and Discussion

X-ray diffraction patterns of $Zn_{1-x}Al_xO$ ($x = 0$, 0.01, 0.02, 0.03) powder samples HP 1173 K for 1 h are shown in Figure 1. The XRD reference corresponded phases of file

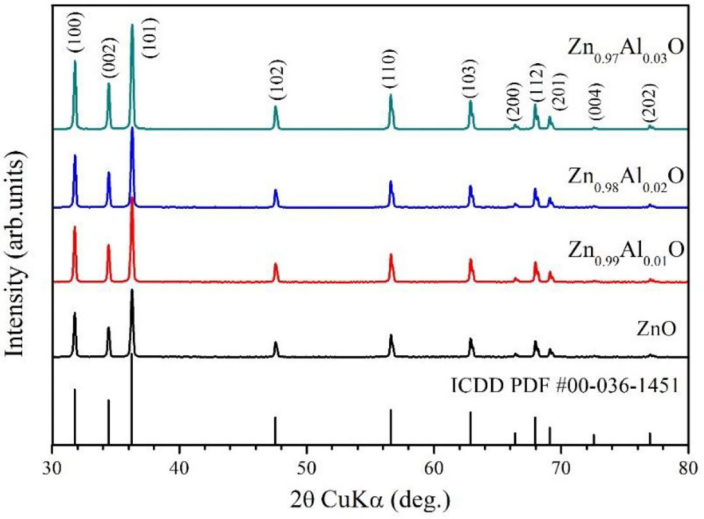


Figure 1. The XRD patterns of $Zn_{1-x}Al_xO$ with x = (0, 0.01, 0.02, 0.03) sample powders from the HP at 1173 K for 1 h in Ar.

Table 1. Particle size, crystallite size, lattice parameter, c/a lattice ratio, unit cell volume and density of $Zn_{1-x}Al_xO$ with x = (0, 0.01, 0.02, 0.03) samples.

Materials	Particle size (nm)	Crystallite size (nm)	Lattice parameter (Å)		Unit cell volume (Å^3)	c/a lattice ratio	Density (g/cm^3)	Relative density (%)
			a	c				
ZnO	104.72 ± 9.1	35.7955	3.2483	5.2075	47.5940	1.6031	5.427	91.4
$Zn_{0.99}Al_{0.01}O$	74.82 ± 8.4	43.8100	3.2489	5.2066	47.5945	1.6025	5.337	92.2
$Zn_{0.98}Al_{0.02}O$	65.42 ± 8.6	51.8512	3.2490	5.2064	47.5956	1.6024	5.411	94.5
$Zn_{0.97}Al_{0.03}O$	58.78 ± 8.5	54.8953	3.2493	5.2063	47.6035	1.6022	5.433	95.2

ICDD PDF#00-036-1451 of for all samples showed that most of the observed XRD peaks are assigned to those of pure ZnO phase for the ZnO phase as a wurtzite structure space group of $P6_3mc$ (186).

The lattice parameters were calculated by Bragg's Law using 2θ and planes as shown in Table 1. Crystallite size of $Zn_{1-x}Al_xO$ ($x = 0$, 0.01, 0.02, 0.03) samples was calculated by the Debye-Scherrer equation:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos(\theta)} \tag{3}$$

where D is the mean particle size, K is a Scherrer constant (0.9), λ = is the wavelength (1.5406 Å) of the used radiation Cu(Kα). β is the full width at the half maximum (FWHM) and θ is the Bragg diffraction angle [13]. The particle size and the unit cell volume of the samples as shown in Table 1. The particle sizes of samples were decreased with increasing Al contents. However, the crystallite sizes were increases with increasing Al [14]. The unit cell volume of hexagonal (wurtzite) structure calculated from the equation:

$$V = a^2 c \sin(60^\circ) \tag{4}$$

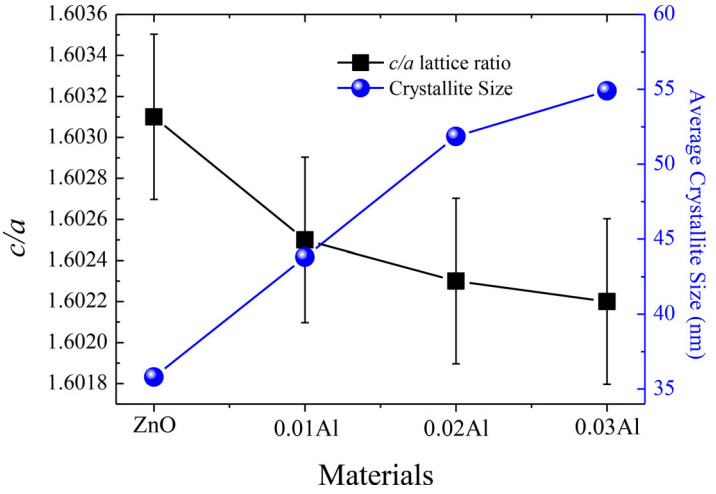


Figure 2. Variations of *c/a* lattice ratio and average crystallite size of $Zn_{1-x}Al_xO$ with x = (0, 0.01, 0.02, 0.03) samples.

The ratio of c/a lattice parameter was decreased with increasing Al as shown in Figure 2 [15, 16]. The ratio of c=a lattice parameter was decreased with increasing Al as shown in Figure 2 [15, 16] because the ionic radius of Al is smaller than that of Zn using first-principles density functional calculations [17, 18].

Generally, the lattice parameter tends to increase and *c* decreases as the Al additive concentration rise. Figure 2 shows the lattice ratio distortion of the ZnO. This is clear that as the Al additive amount increases the ZnO lattice is compressed along the *c*-axis up to the limit value of $c/a = 1.6022$. It is assumed that the Al additive increases the strain in the ZnO lattice also increases because the ionic radius of Al is smaller than that of Zn. using first-principle density functional calculations [14, 19]. The variation of average crystallite size with various Al-doped ZnO is also shown in Figure 2. The variation of average crystallite size with various Al-doped ZnO is also shown in Figure 2 the obtained values that are comparable to R. Wahl et al [15], It is noticed that the average crystallite size decreases by Al doping. Probably because the ionic Al radius is smaller than the ionic zinc radius, and the Al-O covalent bond is shorter than the Zn-O bond [16].

The microstructure of $Zn_{1-x}Al_xO$ samples with x = (0, 0.01, 0.02, 0.03) bulk samples is shown in Figure 3. The grain size of all samples was obtained random orientation grains size and increasing Al content the morphological to spherical shape [20].

3.1. Thermoelectric Properties

The temperature dependence of the Seebeck coefficient (*S*) of all samples is shown in Figure 4. The negative values of all samples indicating that show n-type TE materials. The samples $x = 0.01$ and 0.02 were increased with increasing of Al content due to mainly affect from the carrier concentration, but in $x = 0.03$ become dropped lower than $x = 0.01$ and 0.02 because of mainly affect from carrier mobility increased [21–25].

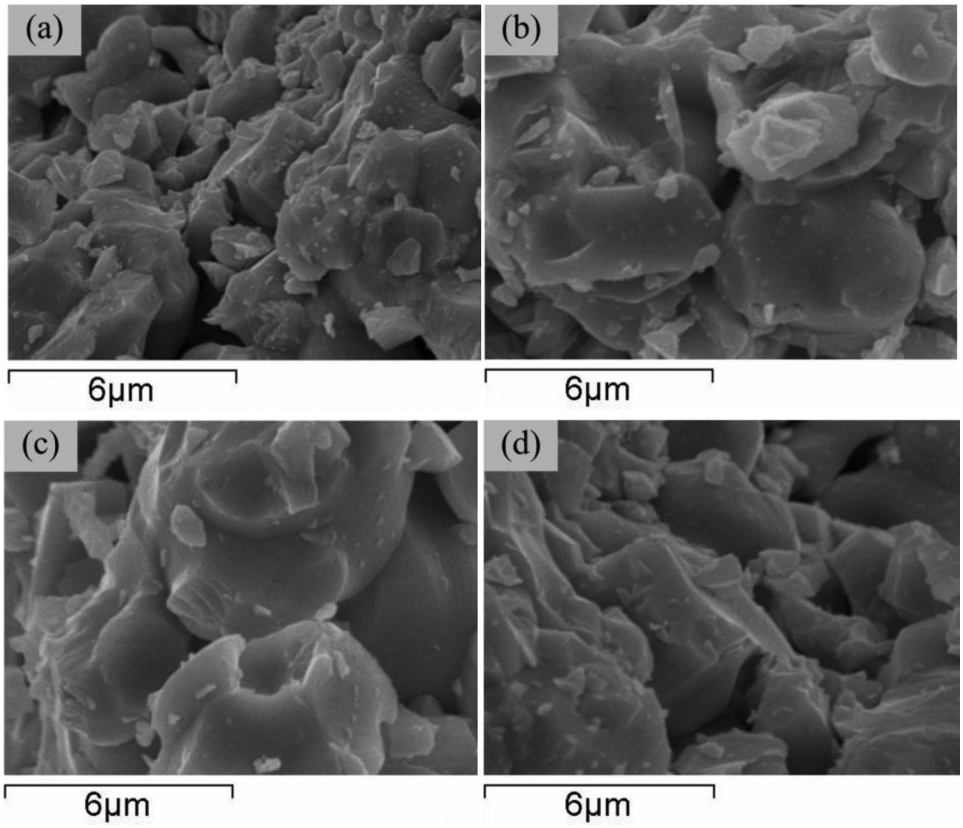


Figure 3. SEM images of the HP bulk samples (a) ZnO, (b) $Zn_{0.99}Al_{0.01}O$, (c) $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$, and (d) $Zn_{0.97}Al_{0.03}O$.

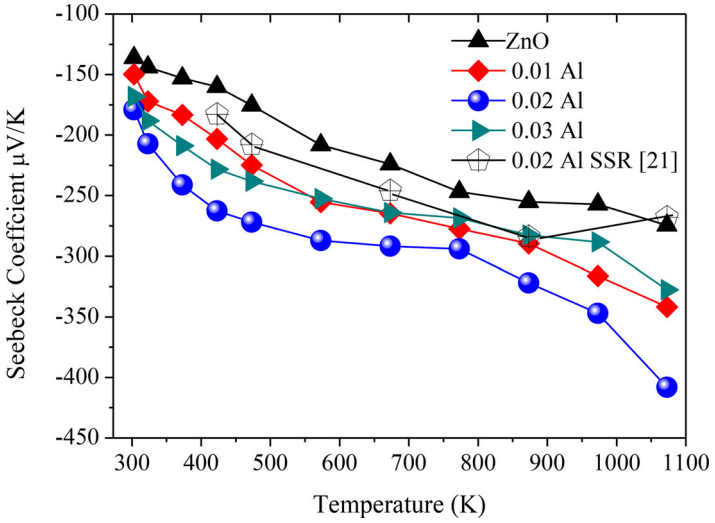


Figure 4. The dependence of the Seebeck coefficient on the temperature of $Zn_{1-x}Al_xO$ with x = (0, 0.01, 0.02, 0.03) samples.

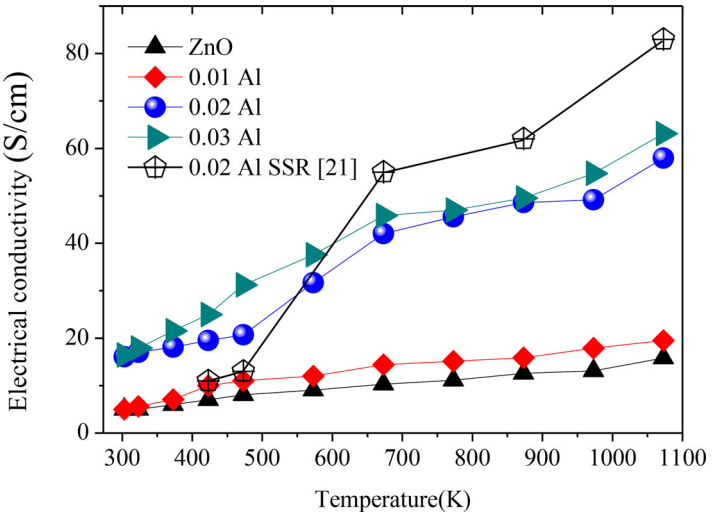


Figure 5. The dependence of the electrical conductivity on the temperature of $Zn_{1-x}Al_xO$ with x = (0, 0.01, 0.02, 0.03) samples.

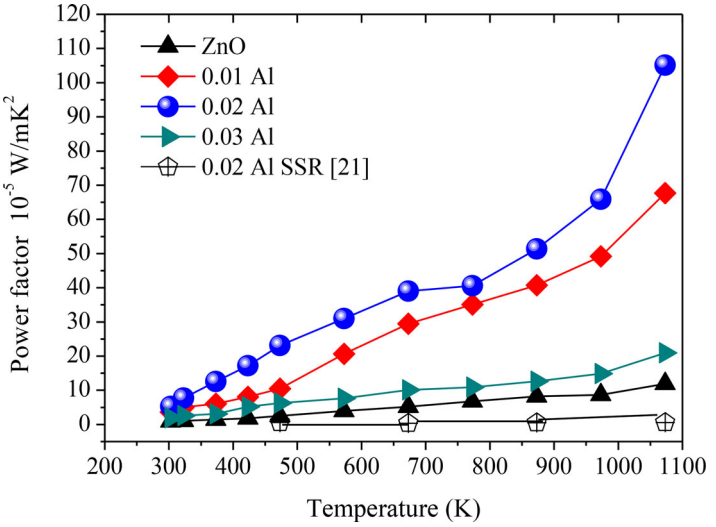


Figure 6. The dependence of the power factor on the temperature of $Zn_{1-x}Al_xO$ with x = (0, 0.01, 0.02, 0.03) samples.

The relationship between temperature and the electrical conductivity (σ) of ZnO, $Zn_{0.99}Al_{0.01}O$, $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$, and $Zn_{0.97}Al_{0.03}O$ samples is shown in Figure 5. The σ was calculated by the following equation:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \tag{4}$$

The σ values were increased with increasing Al because the carrier concentration was increased because of the Al^{3+} cations substituted for the Zn^{2+} sites causing increasing electron concentration of the system [21]. The maximum value of σ in

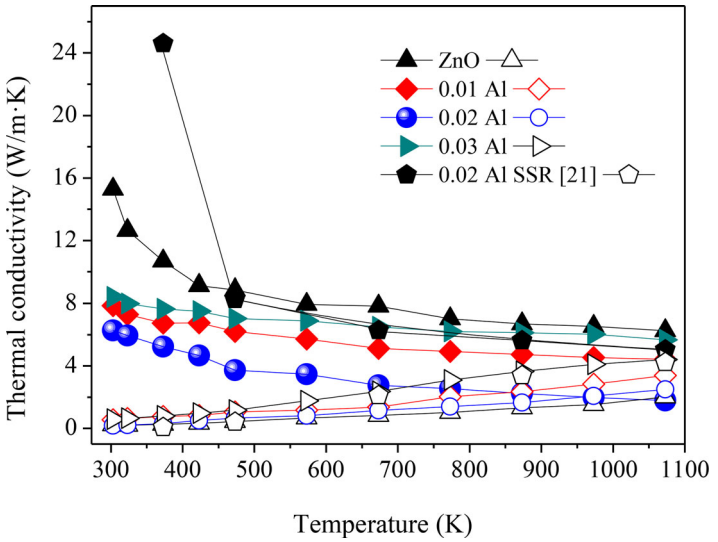


Figure 7. The dependence of the total thermal conductivity (closed symbols) and electronic thermal conductivity (open symbols) on the temperature of $Zn_{1-x}Al_xO$ with x = (0, 0.01, 0.02, 0.03) samples.

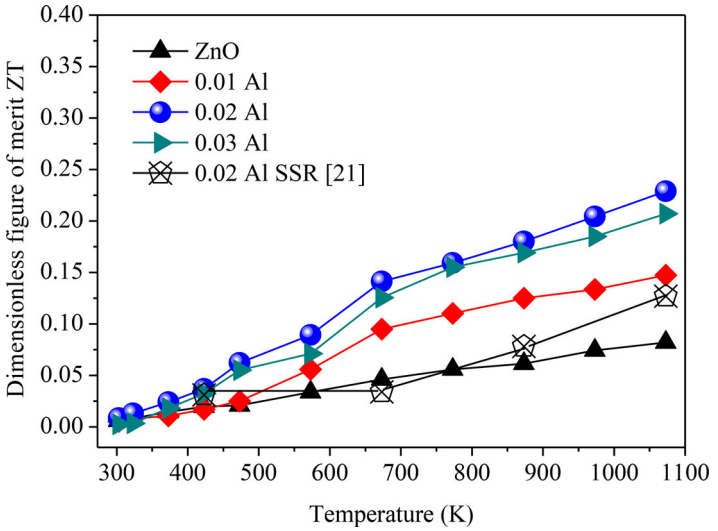


Figure 8. The dependence of the dimensionless figure of merit on the temperature of $Zn_{1-x}Al_xO$ with x = (0, 0.01, 0.02, 0.03) sample.

content $x = 0.03$ is 63.08 S/cm at 1073 K which increasing from 16.44 S/cm at room temperature. The maximum value of r in content x = 0.03 is 63.08 S/cm at 1073 K which increasing from 16.44 S/cm at room temperature while σ of ZnO is 15.79 S/cm at the same temperature corresponding with Paolo et al. [22].

The power factor of all samples is shown in Figure 6 and can be calculated from the equation:

$$PF = S^2\sigma \tag{5}$$

The maximum power factor is 105.08×10^{-5} W/(m·K^2) at 1073 K, and this value is higher than 11.91×10^{-5} W/(m·K^2) of unsubstituted ZnO by about 9-fold when compared with literature from Paolo et al. [22].

The dependence of the total thermal conductivity (κ) on the temperature $Zn_{1-x}Al_xO$ with x = (0, 0.01, 0.02, 0.03) samples is shown in Figure 7, 86.25, 4.42, 1.79, and 5.67 W/m·K^2, respectively. The lowest total κ in substituted Al = 0.02 sample, κ constitutes contribution from both electrons and lattice phonons. When considering all doping samples in electrical conductivity was increased indicating to raise in the electron thermal conductivity (κ_e) so the Al doping affected decreasing lattice thermal conductivity (κ_{latt}). In addition, the reduction in Al doping samples was expected from the random disorder and boundary phonon scattering influencing to created porosity on κ_{latt} thermal transport properties [23,24].

Figure 8 shows the calculation ZT value of Zn1-xAlxO with x = (0, 0.01, 0.02, 0.03). The ZT values of all substitution samples were increased with increasing temperature due to the high electrical conductivity and low thermal conductivity. The maximum ZT value of $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ is 0.28 at 1073 K when compared with other methods from literature data. Because of the HP method can be increased electrical conductivity and reduced thermal conductivity.

4. Concussion

The $Zn_{1-x}Al_xO$ samples with x = (0, 0.01, 0.02, 0.03) were prepared by the HP method at 1173 K for 1 h in Ar atmosphere. The XRD analysis confirmed the wurtzite hexagonal structure with the peak height is 36.28 2θ correspond to the (101) plane. SEM images reveal that there is no significant change in the grain size as well Al-substituted ZnO which presents randomly oriented grains and increasing Al content the morphological spherical shape with a homogeneous distribution of the particles. The TE properties of ZnO are improved by increasing the amount of Al-substituted. The electrical conductivity of Al-substituted ZnO was increased with increasing the amount of Al contents. The Seebeck coefficient was shown to be negative and increases with increasing temperature. Thermal conductivity is extremely decreasing clearly show with Al added and decreases with increasing temperature. The maximum ZT value of $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ is 0.28 at 1073 K which the HP method can be increased electrical conductivity and reduced thermal conductivity.

Funding

This work has been funded by the Thailand Research Fund (TRF) Project researchers and research to industry (RRi) PHD59I0003 and the TRF Research Career Development Grant (RSA6180070). The thermal diffusivity was measured by the laser flash method using a Netzsch LFA-457 apparatus Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University, Osaka, Japan.

References

1. S. Hébert *et al.*, Searching for new thermoelectric materials: some examples among oxides, sulfides and selenides, *J. Phys. Condens. Matter.* **28** (1), 013001 (2016). DOI: 10.1088/0953-8984/28/1/013001.

2. B. Weintraub *et al.*, Solution synthesis of one-dimensional ZnO nanomaterials and their applications, *Nanoscale* **2** (9), 1573 (2010). DOI: 10.1039/c0nr00047g. .
3. T. Mori, Perspectives of high temperature thermoelectric applications and p and n-type aluminoborides, *JOM* **68** (10), 2673 (2016). DOI: 10.1007/s11837-016-2069-9. .
4. T. Ichiro, O. Ryuji, and O. Hiromichi, Search for non-equilibrium thermoelectrics, *Scr. Mater.* **111**, 23 (2016). DOI: 10.1016/j.scriptamat.2015.04.033.
5. L. Chundong, L. Jinpeng, and L. Zhiqiang, Effects of Al doping on the optical and electrical properties of pre-synthesized ZnO powders by solid state method, *J. Mater. Sci.* **23**, 1673 (2012). DOI: 10.1007/s10854-012-0645-5.
6. S.-M. Choi *et al.*, Oxide-based thermoelectric power generation module using p-type $Ca_3Co_4O_9$ and n-type $(ZnO)_7In_2O_3$ legs, *Energy Convers. Manag.* **52** (1), 335 (2011). DOI: 10.1016/j.enconman.2010.07.005.
7. M. Yuichi *et al.*, Synthesis and thermoelectric properties of composite oxides in the pseudo-binary system ZnO-Ga_2O_3, *Solid State Sci.* **65**, 29 (2017). DOI: 10.1016/j.solidstatesciences.2016.12.020.
8. A. Janotti and C. G. Van de Walle, Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor, *Rep. Prog. Phys.* **72** (12), 126501 (2009). DOI: 10.1088/0034-4885/72/12/126501.
9. K. Kobayashi *et al.*, Preparation of p-type ZnO films by alternate deposition of ZnO and Mg_3N_2 films, *Procedia Eng.* **36**, 427 (2012). DOI: 10.1016/j.proeng.2012.03.062.
10. P. J. P. Espitia *et al.*, Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antimicrobial activity and food packaging applications, *Food Bioprocess Technol.* **5** (5), 1447 (2012). DOI: 10.1007/s11947-012-0797-6.
11. M. Ohtaki *et al.*, High-temperature thermoelectric properties of $(Zn_{1-x}Al_x)O$, *J. Appl. Phys.* **79** (3), 1816 (1996). DOI: 10.1063/1.360976.
12. M. Ohtaki and K. Araki, Thermoelectric properties and thermopower enhancement of Al-doped ZnO with nanosized pore structure, *J. Ceram. Soc. Japan* **119** (1395), 813 (2011). DOI: 10.2109/jcersj2.119.813.
13. H. Cheng *et al.*, Characterization of Al substituted ZnO thermoelectric materials prepared by RF plasma powder processing and hot press sintering, *Ceram. Int.* **35** (8), 3067 (2009). DOI: 10.1016/j.ceramint.2009.04.010.
14. W. Guan *et al.*, Theoretical and experimental investigations of the thermoelectric properties of Al-, Bi- and Sn-doped ZnO, *Synth. Met.* **228**, 25 (2017). DOI: 10.1016/j.synthmet.2017.03.017.
15. R. Wahl *et al.*, Stabilization mechanism for the polar ZnO($000\bar{1}$) O surface, *Phys. Rev. B.* **87** (8), 0853131 (2013). DOI: 10.1103/PhysRevB.87.085313.
16. A. D. Pogrebnjak *et al.*, Size control of cobalt-doped ZnO nanoparticles obtained in microwave solvothermal synthesis, *Cryst. Als.* **8** (4), 179 (2018). DOI: 10.3390/cryst8040179.
17. A. Zeyad and F. Huaxiang, Polar semiconductor ZnO under inplane tensile strain, *Phys. Rev. B* **77**, 045213 (2008). DOI: 10.1103/PhysRevB.77.045213.
18. J. P. Wiff *et al.*, Correlations between thermoelectric properties and effective mass caused by lattice distortion in Al-doped ZnO ceramics, *J. Eur. Ceram. Soc.* **29** (8), 1413 (2009). DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2008.09.014.
19. A. Narjis *et al.*, Controlling the structural properties of pure and aluminum substituted zinc oxide nanoparticles by annealing, *J. King Saud Univ. Sci.* **32** (1), 1074 (2020). DOI: 10.1016/j.jksus.2019.10.004.
20. J. H. Lim *et al.*, Optimization parameter for thermoelectric properties of ZnO using response surface methodology, *Malaysian J. Anal. Sci.* **20** (5), 1001 (2016). DOI: 10.17576/mjas-2016-2005-04.
21. C. Dreßler *et al.*, Effect of carbon nanotubes on thermoelectric properties in $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$, *J. Elec. Mater.* **45** (3), 1459 (2016). DOI: 10.1007/s11664-015-4070-4.
22. M. Paolo *et al.*, Development of thermoelectric module based on dense $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ legs, *Met. Mater. Int.* **20** (2), 389 (2014). DOI: 10.1007/s12540-014-2024-7.

23. S. Jantrasee, P. Moontragoon, and S. Pinitsoontorn, Thermoelectric properties of Al-doped ZnO: experiment and simulation, *J. Semicond.* **37** (9), 092002 (2016). DOI: 10.1088/1674-4926/37/9/092002.
24. Z. Zhang and J. Mu, Hydrothermal synthesis of ZnO nanobundles controlled by PEO-PPO-PEO blocks, *J. Colloid Interface Sci.* **307** (1), 79 (2007). DOI: 10.1016/j.jcis.2006.10.035.
25. D. B. Zhang *et al.*, Hybrid-structured ZnO thermoelectric materials with high carrier mobility and reduced thermal conductivity, *RSC Adv.* **7** (18), 10855 (2017). DOI: 10.1039/C6RA28854E.

INTEGRATED FERROELECTRICS
2022, VOL. 222, NO. 1, 38-43
https://doi.org/10.1080/10584587.2021.1961514

Study Ratio Between the CuO and Eu_2O_3 Concentrations on Electrical Resistivity, Seebeck Coefficient and Power Factor of $CuEu_2O_4$

P. Yamchumporn[a,b], K. Boonin[a,b], K. Singsoog[c], T. Seetawan[c], and J. Kaewkho[a,b]

[a] Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, Thailand [b] Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, Thailand [c] Thermoelectric Research Laboratory, Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakon Province, Thailand

ABSTRACT

This work, to study ratio between the CuO and Eu_2O_3 concentations better than to study the effect of CuO content, xCuO: $1Eu_2O_3$ ($x = 2$, 2.5, 3, 3.5). All of samples were prepared by conventional solid-state reaction method. The electrical resistivity, Seebeck coefficient and power factor were measured by ZEM-3 series under helium gas atmosphere at temperature ranges of 400 − 800 K. They were found that, the electrical resistivity of all samples were decrease with increasing of measurement temperature. Seebeck coefficient are negative in whole temperature range. The power factor was calculated by $P = S^2/\rho$ (where S is Seebeck coefficient and ρ is electrical resistivity) and exhibited highest value about 20 $W^{-1}m^{-1}K^{-2}$ at 775 K.

ARTICLE HISTORY
Received 14 December 2020
Accepted 19 March 2021

KEYWORDS
Solid-state reaction, $CuEu_2O_4$, seebeck coefficient

CONTACT P. Yamchumporn peerapong_bk11@hotmail.com; K. Boonin kbcegm@gmail.com

© 2021 Taylor & Francis Group, LLC

Introduction

Properties of the thermoelectric materials have been studied for 200 years. One of their incredible properties is converting heat to electricity contributed to Seebeck phenomenon [1, 2].

Several researches investigated a way to increase their efficiency in converting thermal energy to electricity. The performance of thermoelectric materials can be identified using a parameter called the figure of merit, $Z = \sigma\alpha^2/\kappa$, where σ, α, and κ are the electrical conductivity, Seebeck coefficient, and thermal conductivity, respectively [3]. In a development of high-performance thermoelectric materials, the Seebeck coefficient is expected to be high, while the electrical resistivity and thermal conductivity should be low.

To enhance the performance, many materials were examined. Thermoelectric materials such as, SnSe [4, 5], Half-Heusler compounds [6, 7], PbTe [8, 9], skutterudites [10] and Bi-Te are well-known [11, 12], while a copper compound, especially Copper selenide is one of the most popular materials with high figure of merit (ZT) value and low thermal conductivity [13–16]. Whilst copper oxides (cuprates) are the interesting one with their standing-out superconductor property, high T_c values, 135 K. They can be empowered the property via inserting a rare earth layer [17, 18]. The compounds of one- or two-dimensional oxides in unit cells are contributed to high-temperature property, while the layered structures provide extraordinarily strong anisotropy of conduction which can be explained via the lower conductivity in the ab plane compared to that in the c-axis [19].

From the reasons mentioned above, this research was conducted by fabricating thermoelectric material samples from $CuEu_2O_4$ with varied molar ratios of CuO. The thermoelectric properties of the samples: electrical resistivity and Seebeck coefficient were investigated. This research is expected to provide a guiding information for producing a thermoelectric module with $CuEu_2O_4$ materials.

Experimental Details

This research was devoted to the study on the chemical compounds of $CuEu_2O_4$ while the molar ratio of CuO was weighed sequentially with a molar ratio of CuO:Eu_2O_3 = (2, 2.5, 3, 3.5):1. Which sintered all samples under the atmosphere of the air by solid state reaction. Batch chemical using 99.9% purity of CuO and 99.99% of Eu_2O_3 powder. The green material has been calcined in the electrical furnace at 673 K for 1 hr then powders were put in stainless jar with stainless balls as the grinding media and mix it together by plenary ball-milled at a speed of 400 rpm for 1 hr. The mixed powder was put in a cylindrical stainless steel mold with a diameter of 10 mm and a hydraulic pump was used to press the sample with a pressure of 300 MPa. After that, the pellet was sintered under oxidation condition in the electrical furnace at 1173 K for 12 hrs.

To assert the phase composition of all samples were investigated by X-ray diffraction (XRD;Shimazdu XRD-6100) with CuKá radiation accelerated in a 2θ range of 10-80 degree. Density measurement by densitometer (A&D HR-200) of all samples were tested by Archimedes' method using water as a soaking liquid. The electrical resistivity, Seebeck coefficient and power factor were measured (ZEM-3;Ulvac, Inc.) in the temperature rang 400-800 K.

Results and Discussion

All of X-ray diffraction patterns of $CuEu_2O_4$ samples follow the molar ratio of CuO from 2-3.5 were shown Figure 1. From this results, the main phase were presented in Tetragonal structure (a,b = 3.903 Å and c = 11.907 Å) and belonged to the space group I4/mmm (139) agreement well with the reported data (JCPDS No. 00-052-1719).

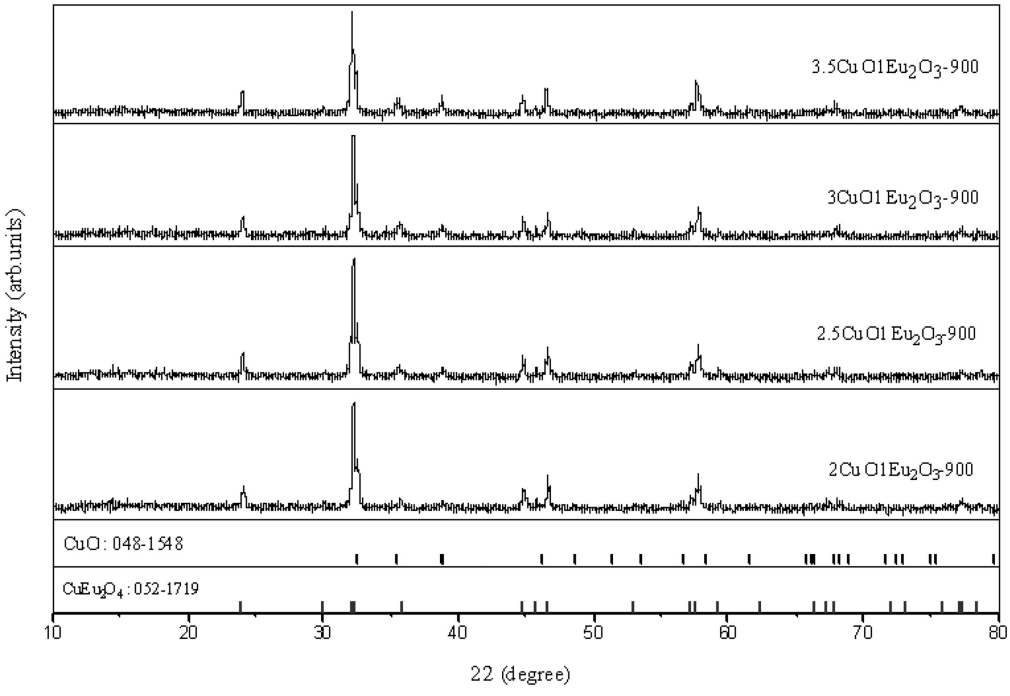


Figure 1. X-ray diffraction patterns of $CuEu_2O_4$ when increases molar ratio of CuO.

Total sample density test with increased CuO molar ratio was shown on Figure 2. The highest density was shown on 6.75 g/cm^3 in 2.5 molar ratio of CuO.

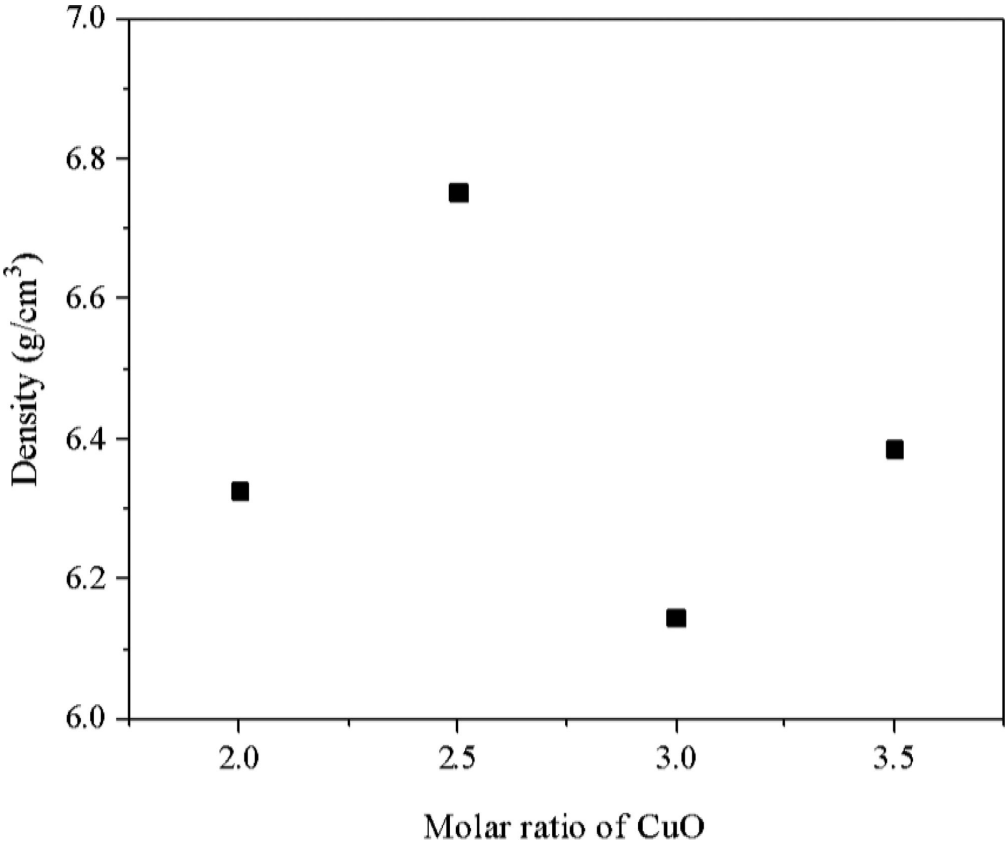


Figure 2. Density of $CuEu_2O_4$ when increases molar ratio of CuO.

Overall, the thermoelectric properties of all samples, such as resistance, Seebeck coefficient and power factor, were verified as the molar ratio of the CuO sample was increased in temperature measurements from 400 to 800 K by ZEM-3 device. Figure 3 shows the Seebeck coefficient of all samples signed as negative values. Based on the results of this study, the excess electrons were recognized on the valence shell. Tends on Seebeck coefficient values of all samples were increased with increasing whole temperature measurement. −260 μV/K on 2.5 molar ratio of CuO at temperature 670 K, was shown on the highest values during Seebeck coefficient value was increased with increasing temperature. As the tendency of the Seebeck coefficient increases, this can be explained by Mott relation [15],

$$S(T) = \frac{\pi^2 k_B^2 T}{3e}\left[\frac{N(E)}{n} + \left(\frac{\partial \ln \mu(E)}{\partial E}\right)_{E=E_F}\right] \quad (1)$$

where $S, k_B, n, N(E)$ are Seebeck coefficient, the Boltzmann constant, carrier concentration, and density of state, respectively. It is clear from the above equation that *S* increases as the measurement temperature (*T*) is increased, whereas it increases with the carrier concentration (n) decrease in the first term of the Mott relation. Figure 4 shows the electrical resistivity of $CuEu_2O_4$ when increases molar ratio of CuO samples were decrease with increasing temperature in the whole temperature range. The power factor of $CuEu_2O_4$ when increases molar ratio of CuO were mostly increase with increasing temperature measurement, the highest value of power factor 20 μW m^{-1} K^{-2} on 2 molar ratio of CuO at 775 K as show in Figure 5.

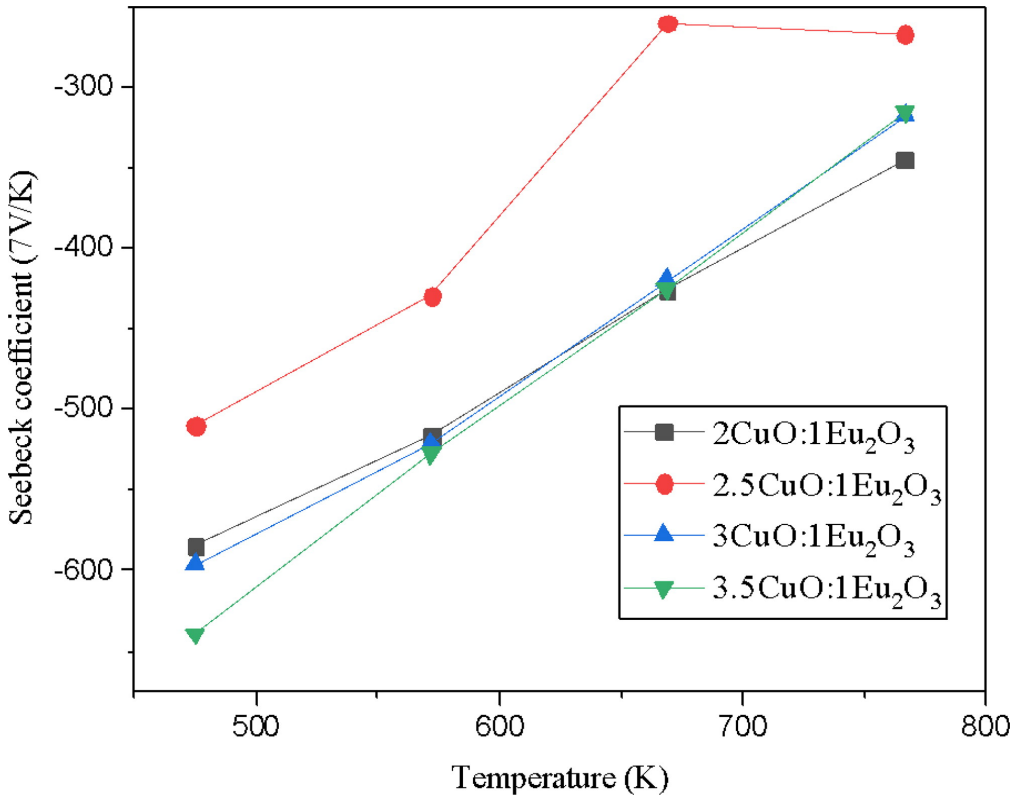


Figure 3. Temperature dependence on seebeck coefficient of $CuEu_2O_4$ when increases molar ratio of CuO.

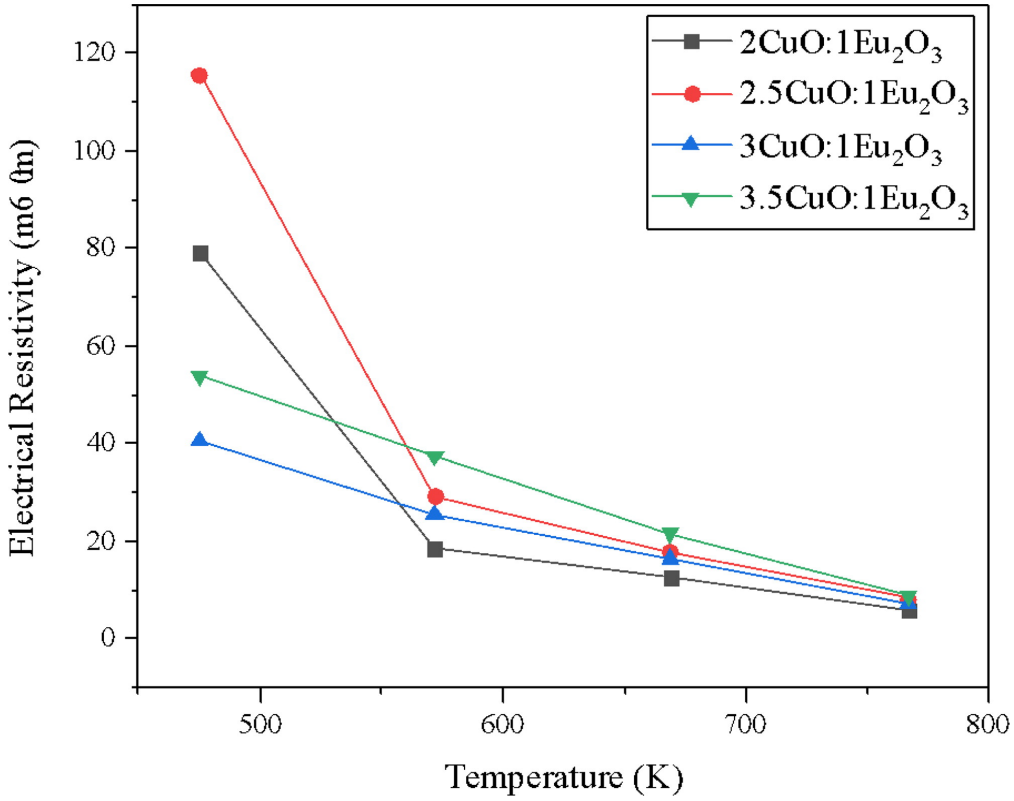


Figure 4. Temperature dependence on electrical resistivity of $CuEu_2O_4$ when increases molar ratio of CuO.

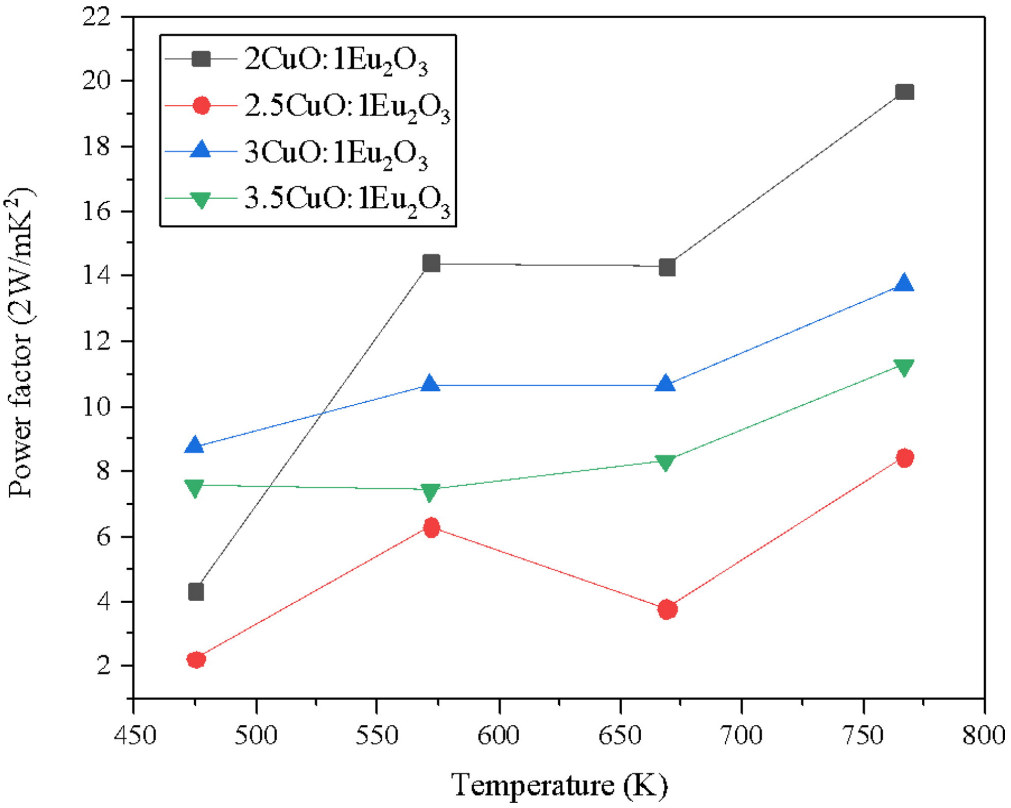


Figure 5. Temperature dependence on power factor of $CuEu_2O_4$ when increases molar ratio of CuO.

Conclusion

To summarize, thermoelectric properties of $CuEu_2O_4$ when increases molar ratio of CuO compound at high temperature in preparing by solid state reaction method. In X-ray diffraction patterns of all samples were presented in Tetragonal structure. The highest density was shown on 6.75 g/cm^3 in 2.5 molar ratio of CuO. The Seebeck coefficient, electrical resistivity and power factor were measured at temperatures ranging from 400 to 800 K. The Seebeck coefficient shows negative sign confirming n-type conductor behavior. The highest value Seebeck coefficient is −260 μV/K at 670 K and increase with increasing temperature, the electrical resistivity were decreased with increasing temperature, the power factor were mostly increased with increasing temperature the highest value of power factor 20 μW m^{-1} K^{-2} at 775 K.

Acknowledgments

The authors would like to thanks Thermoelectric Research Laboratory, Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University for thermoelectric properties measurements, Thanks are also due to Research and Development Institute, NPRU for facilities. K. Boonin and J. Kaewkhao would like to thanks National Research Council of Thailand (NRCT) and Thailand Science Research and Innovation (TSRI) for supporting this research.

References

[1] Y. Zhang et al., On-chip high speed localized coolingusing superlattice microrefrigerators, *IEEE Trans. Compon. Packag. Technol*. **29** (2), 395–401 (2006). .

[2] I. Chowdhury et al., On-chip cooling by superlattice-based thin-film thermoelectrics, *Nat. Nanotech.* **4** (4), 235–238 (2009). .

[3] D. M. Rowe, *CRC Handbook of Thermoelectrics* (CRC Press, Boca Raton, FL, 1995) p. 21.

[4] L. D. Zhao et al., Ultrahigh power factor and thermoelectric performance in hole-doped single-crystal SnSe, *Science* **351** (6269), 141–144 (2016). .

[5] A. T. Duong et al., Achieving ZT = 2.2 with Bi-doped n-type SnSe single crystals, *Nat. Commun*. **7**, 1–6 (2016). .

[6] G. Joshi et al., Enhancement in thermoelectric figure-of-merit of an N-type half-Heusler compound by the nanocomposite approach, *Adv. Energy Mater.* **1** (4), 643–647 (2011). .

[7] X. Yan et al., Thermoelectric property study of nanostructured p-type half-heuslers (Hf, Zr, Ti)$CoSb_{0.8}Sn_{0.2}$, *Adv. Energy Mater.* **3** (9), 1195–1200 (2013). .

[8] T. Fu et al., Enhanced thermoelectric performance of PbTe bulk materials with figure of merit zT >2 by multi-functional alloying, *J. Materiomics* **2** (2), 141–149 (2016). .

[9] J. P. Heremans et al., Enhancement of thermoelectric efficiency in PbTe by distortion of the electronic density of states, *Science* **321** (5888), 554–557 (2008). .

[10] M. Benyahia et al., High thermoelectric figure of merit in mesostructured $In_{0.25}Co_4Sb_{12}$ n-type skutterudite, *J. Alloys Compounds* **735**, 1096–1104 (2018). .

[11] B. Poudel et al., High-thermoelectric performance of nanostructured bismuth antimony telluride bulk alloys, *Science* **320** (5876), 634–638 (2008). .

[12] W. Xie et al., Unique nanostructures and enhanced thermoelectric performance of melt-spun BiSbTe alloys, *Appl. Phys. Lett*. **94** (10), 102111 (2009). .

[13] H. Kim et al., Ultralow thermal conductivity of β-Cu2Se by atomic fluidity and structure distortion, *Acta Mater.* **86**, 247–253 (2015). .

[14] B. Yu et al., Thermoelectric properties of copper selenide with ordered selenium layer and disordered copper layer, *Nano Energy* **1** (3), 472–478 (2012). .

[15] H. Liu et al., Copper ion liquid-like thermoelectrics, *Nat. Mater*. **11** (5), 422–425 (2012). .

[16] P. Qiu, X. Shi, and L. Chen, Cu-based thermoelectric materials, *Energy Storage Mater.* **3**, 85–87 (2016). .

[17] Y. Tokura, H. Takagi, and S. Uchida, A superconducting copper oxide compound with electrons as the charge carriers, *Nature* **337**, 345–347 (1989). .

[18] H. Takagi, S. Uchida, and Y. Tokura, Superconductivity produced by electron doping in CuO_2-layered compounds, *Phys. Rev. Lett*. **62** (10), 1197–1200 (1989). .

[19] M. Sera, S. Shamoto, and M. Sato, Anisotropic thermoelectric powers of $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ and $(La_{1-x})_2CuO_4$ single crystals, *Solid State Commun.* **68** (7), 649–654 (1988). .

Check for updates

Solar RRL
www.solar-rrl.com

Improved Efficiency of Perovskite Solar Cells with Low-Temperature-Processed Carbon by Introduction of a Doping-Free Polymeric Hole Conductor

Soe Ko Ko Aung, Anuja Vijayan, Tosawat Seetawan, and Gerrit Boschloo**

Low-temperature-processed carbon-based perovskite solar cells (C-PSCs) are promising photovoltaic devices, because of their good stability, low cost, and simple preparation methods, which allow for scalable processing. Herein, C-PSCs with the n−i−p structure are prepared, using a SnO_2 nanoparticles film as the electron-selective contact, $MAPbI_3$ perovskite as the intrinsic absorber layer (MA = methylammonium), and a carbon layer as the hole-selective layer and conductor. Carbon is, however, not an ideal hole-selective layer and it is found that improved solar cell performance can be obtained by introducing a polymeric hole conductor between the perovskite and the carbon layer. Specifically, undoped poly(3-hexylthiophene) (P3HT) is used for this purpose, as it is stable and highly hydrophobic. For ITO/SnO_2/$MAPbI_3$/carbon devices, a solar cell efficiency of up to 12.8% is obtained, increasing up to 15.7% with the inclusion of a P3HT layer, which increases open-circuit potential, photocurrent, and fill factor (FF). In comparison, ITO/SnO_2/$MAPbI_3$/P3HT/Au devices performed rather poorly (up to 11.7%). Encouraging stability is obtained for unencapsulated C-PSC devices: P3HT/carbon devices do not show any degradation in solar cell performance upon storage for 1 month in low humidity, while they maintain 70% of their initial efficiency after 900 h at 82 °C in air.

1. Introduction

Perovskite solar cells (PSCs) have increased tremendously in power conversion efficiencies (PCEs) during the short period of their existence, from 3.8% in 2009 to 25.5% currently.[1,2] PSCs are based on lead halide perovskite semiconductors, which have attracted much attention due to their outstanding optoelectronic properties, such as high absorption coefficient with a direct bandgap, which is tunable by modification of their composition,[3] long carrier diffusion length,[4] high carrier mobility,[5] and their versatile fabrication methods, including simple solution processes.[6,7] PSCs can rival with commercial monocrystalline silicon solar cells. Despite the high efficiency of PSCs, the use of hazardous solvents in preparation and the presence of the toxic element lead increase environmental concerns. To minimized adverse effects, green solvent processing[8,9] and encapsulation techniques to avoid lead leakage[10] should be applied. However, long-term stability issues still remain, limiting so far the practical commercialization of PSC technology.[11]

In the conventional n−i−p device structure of PSCs, the metal back contact, Au (gold) or Ag (silver), give limited stability due to chemical migration of the metals and reaction with the perovskite.[12–14] Furthermore, these metals are expensive and need a high-vacuum deposition technique, which makes it costly and energy intensive. As an alternative, a variety of carbon materials, such as carbon black, graphite, graphene, and carbon nanotubes, are suited as contact materials in PSCs.[15,16] These carbon materials possess a work function of about 5.0 eV and allow for PSC fabrication at low temperature (<120 °C).[17] In addition, carbon electrodes (CEs) offer advantages such as low cost and vacuum-free preparation, as well as giving superior stability, by acting as a moisture barrier and by suppressing ion migration.[18–20]

There are two types of C-PSCs. Type I C-PSCs have a mesoscopic n–i–p architecture and are typically prepared by screen printing porous layers of TiO_2, insulator (ZrO_2, Al_2O_3), and carbon, which are heated at a high temperature (≈450 °C) and subsequently infiltrated with a perovskite precursor solution. Initial reports from 2013 yielded devices with a PCEs of 6.6%,[21] which improved to 17.0-17.5% in recent years.[22,23] In type II C-PSCs, the CE is deposited on the top of the perovskite layer.

S. K. K. Aung, T. Seetawan
Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Optic Research Laboratory, Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institute
Sakon Nakhon Rajabhat University
47000 Sakon Nakhon, Thailand
E-mail: t_seetawan@snru.ac.th

S. K. K. Aung, A. Vijayan, G. Boschloo
Department of Chemistry—Ångström-Laboratory, Physical Chemistry
Uppsala University
Box 523, SE-751 20 Uppsala, Sweden
E-mail: gerrit.boschloo@kemi.uu.se

The ORCID identification number(s) for the author(s) of this article can be found under https://doi.org/10.1002/solr.202100773.

© 2021 The Authors. Solar RRL published by Wiley-VCH GmbH. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

DOI: 10.1002/solr.202100773

This deposition can be done by inkjet printing, screen printing or doctor blading,[24,25] or by hot pressing of a free-standing CE film[26,27] at low temperature (<120 °C). Type II C-PSCs were first reported in 2014, yielding a device performance of 9% and over 2000 h storage stability.[28]

Addition of a hole-selective layer between perovskite and CE improves the performance of type II C-PSCs.[19] Copper phthalocyanine (CuPc) was successfully applied as hole transport material (HTM) in C-PSCs, yielding up to 17.8% efficiency.[29] Similarly, copper (I) thiocyanate (CuSCN) was recently used as HTM in C-PSCs, giving PCEs up to 15.5%.[24,30,31] By application of a press transfer carbon film onto a 2,2′,7,7′–tetrakis-(*N*,*N*-di-p-methoxyphenylamine)9,9′-spirobifluorene (spiro-OMeTAD)-coated perovskite, the PCE values of up to 19.4% were achieved[32–35] and 15.4% for a flexible device.[33] Spiro-OMeTAD requires, however, additional doping with bis(trifluoro-methane)sulfonimide lithium salt (LiTFSI), 4-*tert*-butylpyridine (tBP), and cobalt complexes, which is harmful to long-term stability.[36] Dopant-free HTMs are preferred because of their greater stability.[37,38] The choices of conductive substrates, back contact, and hole transport layers are further strategies to improve the performance of large-scale manufactured PSCs.[39]

Polymeric hole conductors, such as (poly[bis(4-phenyl)(2,4,6-trimethylphenyl)amine) PTAA[40] and poly(3-hexylthiophene) (P3HT),[41,42] are promising candidates for HTMs in PSCs: both can achieve high efficiency and high stability. The main disadvantage of PTAA is its cost, about double than that of spiro-OMeTAD.[43] On the contrary, poly(3-hexylthiophene) (P3HT) is rather low in cost,[42] displays high mobility ($0.1\ cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$),[44] strong hydrophobicity,[45] and has good temperature tolerance (100 and –80 °C).[46] Its highest occupied molecular orbital (HOMO) level is around –5.1 eV and the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) level is about –3.0 eV.[47] Thus, the HOMO level of P3HT is well matched with valence band maximum (VBM) of perovskite, $MAPbI_3$ (−5.43 eV), and is lower than the Fermi level of CEs (−5.0 eV).

In a few studies, P3HT was used in combination with CEs. Chu et al. combined P3HT and graphene as a composite hole conductor and obtained up to 18.1% from 11.1% efficiency (pristine P3HT).[48] Jin et al. investigated the influence of P3HT thickness on the C-PSC devices with ZnO as electron selective contact, reaching efficiencies up to 16% for 40 nm P3HT.[47] In a large number of studies, P3HT is used in PSCS in combination with metal electrodes. Zhou et al. obtained an efficiency of 14.30% for devices with doping-free P3HT in combination with Au electrode, which improved to 17.55% for Li-salt/4-*tert* butylpyridine (tBP)-doped P3HT.[45] However, devices with Li-doped P3HT degraded severely after storage for 160 days at room temperature (25% relative humidity (RH)), while pristine P3HT preserved 80% of its initial efficiency for a year. Similarly, Nia et al. investigated doping of P3HT with Li-TFSI, TBP, and Co (III)-TFSI, achieving a PCE of 19.25%, while devices retained 80% of initial performance in air stability for 1500 h.[49] Bis(pentafluorophenyl) zinc ($Zn(C_6F_5)_2$) as an alternative dopant for P3HT led to an increase from 12.4% (pristine P3HT) to 17.49%. due to increased hole conductivity and mobility and improved energy-level matching to perovskite.[50]

Recently, P3HT with four difference molecular weights (M_{Ws}) and regioregularities (RRs) synthesis (19 kDa/95%, 194 kDa/100%, 223 kDa/79%, and 338 kDa/76%, respectively) were investigated as HTMs in PSCs. Polymers with the highest M_W and lowest RR polymer increased the PCE to 17.6%, maintaining over 85% of its original efficiency at 85 °C (RH: ≈70%) for over 1000 h.[51] To date, the highest efficiency obtained in PSCs with P3HT as HTMs of 24.6% was achieved by incorporation of gallium(III) acetylacetonate $Ga(acac)_3$ into P3HT as HTMs, leading to effective interfacial passivation and superior stability for 2000 h at room temperature (RH ≈85%).[41]

In this work, we report on the use of a suitable carbon paste in PSCs, deposited either directly on the $MAPbI_3$ perovskite film or on an intermediate undoped P3HT layer. The doctor-bladed carbon films were annealed at low temperature in ambient air. $MAPbI_3$/P3HT/carbon devices yielded efficiencies exceeding 15% and displayed excellent stability under dry storage and maintained 70% of its performance after 900 h at 82 °C in air.

2. Results and Discussion

Three different n−i−p solar cell device structures were used in this study, schematically depicted in **Figure 1**a: carbon-contact PSCs with and without P3HT polymer hole conductor and PSCs with P3HT and a gold contact. Unless stated otherwise, the P3HT was undoped. The perovskite used was $MAPbI_3$, prepared using a standard one-step method with antisolvent treatment. Cross-sectional SEM images of ITO/SnO_2/$MAPbI_3$/P3HT/carbon device are shown in Figure S1a, Supporting Information. The overview image is dominated by the carbon layer with a thickness of about 25 µm. Large graphite flakes are clearly visible. From higher-magnification images, the $MAPbI_3$ absorber layer (thickness 350 nm) and P3HT layer (30 nm) can be clearly discerned, while a very thin SnO_2 layer (<20 nm) can just be seen. A cross section of ITO/SnO_2/$MAPbI_3$/P3HT/Au device is shown in Figure S1b, Supporting Information. The basic characterization of the perovskite films is shown in Figure S2, Supporting Information.

The current–voltage (*J*–*V*) characteristics irradiation of champion devices, recorded under 100 mW cm^{-2} AM1.5 G, are illustrated in Figure 1b, while the corresponding average and maximum solar cell performance values are listed in **Table 1**. When the carbon contact is deposited directly on top of the perovskite film, a decent solar cell performance is obtained, with a PCE of 12.76% for the champion device, an open-circuit voltage (V_{OC}) of 0.86 V, a short-circuit photocurrent density (J_{SC}) of 23.25 mA cm^{-2}, and a FF of 0.64. Addition of a P3HT hole conductor layer in between the perovskite and the carbon layer leads to a significantly improved solar cell performance. The champion device yielded a PCE of 15.74%, a V_{OC} of 0.94 V, a J_{SC} of 23.22 mA cm^{-2}, and a FF of 0.72. The addition of a P3HT layer specifically improved the FF and the V_{oc}, which is ascribed to an improved extraction of the holes from the perovskite film at the perovskite/carbon contact when the intermediate P3HT layer is added. It must be noted that higher V_{OC} values over 1 V are found in state-of-the art devices using $MAPbI_3$. For comparison, also PSC devices using gold contacts on the top of the P3HT were prepared. Interestingly, $MAPbI_3$/P3HT/Au devices attained

© 2021 The Authors. Solar RRL published by Wiley-VCH GmbH

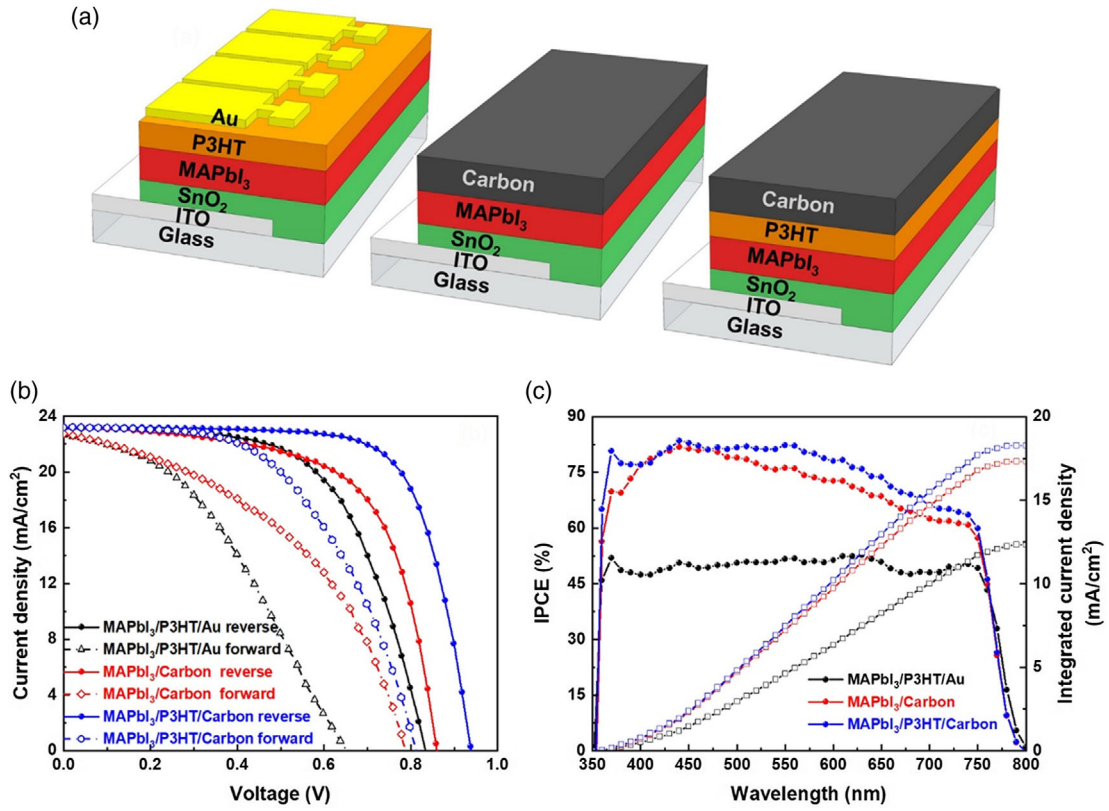


Figure 1. a) Schematic illustration of the device structures of $MAPbI_3$/P3HT/Au, $MAPbI_3$/carbon, and $MAPbI_3$/P3HT/Au. b) Photovoltaic *J–V* characteristics for the best-performing devices with different architecture. c) IPCE spectra of the solar cells.

Table 1. Champion and average photovoltaic performance (16 cells) of perovskite devices with P3HT/Au contacts and carbon-based PSCs with and without P3HT layer.

Devices	**PCE** [%]		V_{OC} [V]		J_{SC} [mA cm^{-2}]		**FF** [%]	
	Champion	Average	Champion	Average	Champion	Average	Champion	Average
$MAPbI_3$/P3HT/Au	11.65	10.84 ± 0.52	0.83	0.82 ± 0.02	23.13	22.59 ± 0.91	60.39	58.4 ± 3.14
$MAPbI_3$/carbon	12.76	12.07 ± 0.41	0.86	0.86 ± 0.02	23.25	22.86 ± 0.24	63.8	61.33 ± 2.13
$MAPbI_3$/P3HT/carbon	15.74	14.81 ± 0.51	0.94	0.91 ± 0.02	23.22	23.05 ± 0.17	72.12	70.28 ± 1.13

lower performance than $MAPbI_3$/P3HT/carbon devices and even $MAPbI_3$/carbon devices, with the best PCE of only 11.65%, V_{OC} of 0.83 V, J_{SC} of 23.13 mA cm^{-2}, and a FF of 0.60.

Incident photon-to-current conversion efficiency (IPCE) spectra of the investigated devices are shown in Figure 1c. Consistent with the results from the *J–V* curve characterization, the $MAPbI_3$/P3HT/carbon device showed the highest IPCE with a broad peak of about 85% in the wavelength range from 450 to 650 nm. While the IPCE spectrum of $MAPbI_3$/carbon device was similar, but slightly lower, the IPCE of $MAPbI_3$/P3HT/Au was much lower and its spectrum flatter. In the red part of the spectrum, 650–800 nm, not all light is absorbed by the perovskite layer in a single pass. Reflection of the light by the Au contact back to the perovskite improves the IPCE in the red region for the $MAPbI_3$/P3HT/Au device. The J_{SC} values obtained from the integration of the IPCE with respect of the solar spectrum are 18.32 mA cm^{-2} ($MAPbI_3$/P3HT/carbon), 17.36 mA cm^{-2} ($MAPbI_3$/carbon), and 12.36 mA cm^{-2} ($MAPbI_3$/P3HT/Au), lower than the values measured in the solar simulator. We ascribe this to the very low monochromatic light intensity used in the IPCE without bias light, yielding photocurrents of only a few microamperes. Under such conditions, shunt current losses through pinholes in the P3HT may occur for the gold-coated devices.

Solar cell statistics of 3×16 devices were assessed by *J–V* measurements under 1 sun AM1.5G illumination and confirmed the trends observed for the champion devices, as shown in **Figure 2** and Table 1. $MAPbI_3$/carbon and $MAPbI_3$/P3HT/Au devices exhibited an average PCE of $12.1 \pm 0.4\%$ and 10.8 ± 0.5, respectively. $MAPbI_3$/P3HT/Au devices display poor average performance with a very broad distribution in J_{SC} and FF. $MAPbI_3$/P3HT/carbon devices are highly reproducible,

© 2021 The Authors. Solar RRL published by Wiley-VCH GmbH

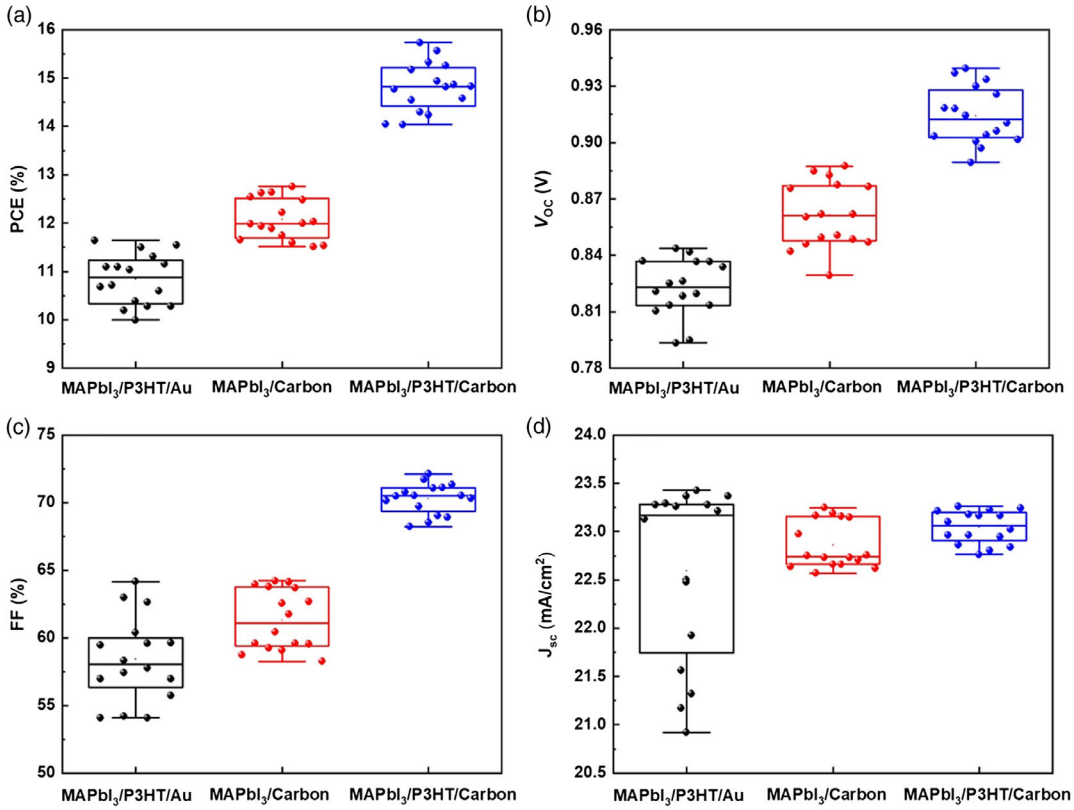


Figure 2. Statistics of the photovoltaic parameters for $MAPbI_3$/P3HT/Au, $MAPbI_3$/carbon, and $MAPbI_3$/P3HT carbon devices, 16 cells each, measured under 100 mW cm^{-2} (AM1.5G) light intensity.

showing a narrower distribution in all solar cell parameters, while PCE, FF, and V_{OC} are dramatically increased in comparison with the other devices, with an average PCE of 14.8 ± 0.5%.

The poor performance of $MAPbI_3$/P3HT/Au devices is due to low V_{OC} and FF, which can have several possible origins: there could be pinholes in the thin P3HT layer that cause additional recombination in case of gold electrodes but not for the CEs that consist of large particles (graphite). Alternatively, the undoped P3HT layer could be too resistive, leading to increased series resistance in the solar cell and low FF. In the case of CEs, the carbon particles could penetrate into the P3HT layer (as the solvents of the carbon paste might partially dissolve the P3HT layer) and can make an intimate contact with the polymer. Evidence for this comes from the strong adherence of the carbon film on P3HT, while the Au film is easily peeled off in an adhesive tape test (see Figure S3, Supporting Information).

We also prepared standard PSC devices with the configuration $MAPbI_3$/doped spiro-OMeTAD /Au. These devices gave a decent PCE (17.0%), V_{OC} (0.97 V), FF (81.9%), and J_{SC} (21.74 mA cm^{-2}). This demonstrates the reasonably good quality of the $MAPbI_3$ films and our device preparation. In contrast, devices where doped spiro-OMeTAD were coated with carbon films gave PCE of only 9.1% at best, with a lower V_{OC} (0.87 V) and FF (49.7%) and similar J_{SC} (20.85 mA cm^{-2}), see Figure S4 and Table S1, Supporting Information. The carbon paste used in this study contains several solvents, namely 2-(2-ethoxyethoxy)ethyl acetate, 2-methylnaphthalene, and pentylbenzene, which may be noncompatible with spiro-OMeTAD films or its dopants.

All investigated devices displayed significant hysteresis effects in $J-V$ curve characterization, as shown Figure 1b or Figure S5 and Table S2–S5, Supporting Information. To qualify the hysteresis effects in $J-V$ curves, hysteresis indices (HI) of perovskite devices with carbon, P3HT/carbon, and P3HT/Au contacts were calculated from the forward and reverse scans for a fixed scan rate of 50 mV s^{-1}, using the following formula.[52]

$$\mathrm{HI} = \frac{\mathrm{PCE}^{-} - \mathrm{PCE}^{+}}{\mathrm{PCE}^{-} + \mathrm{PCE}^{+}} \quad (1)$$

where + and – represent the forward and reverse J–V scans from which PCEs are determined. The highest hysteresis was found for $MAPbI_3$/P3HT/Au devices (HI: 36%), followed by $MAPbI_3$/spiro-OMeTAD/carbon (HI: 28%), $MAPbI_3$/carbon, $MAPbI_3$/P3HT/carbon (HI both 23%), and finally $MAPbI_3$/spiro-OMeTAD/Au (HI: 19%).

© 2021 The Authors. Solar RRL published by Wiley-VCH GmbH

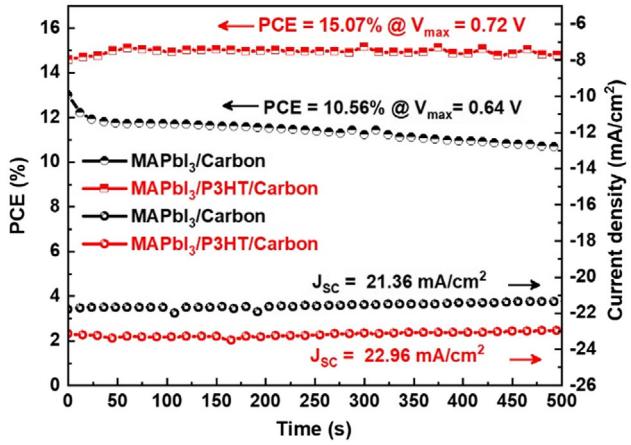


Figure 3. Maximum power point tracking under 1 sun illumination-measured $MAPbI_3$/carbon at V_{max} = 0.64 V and $MAPbI_3$/P3HT/carbon at V_{max} = 0.72 V in ambient air.

In devices that display much hysteresis in *J*–*V* characterization, it is important to check the steady-state power output, by, for example, maximum power point tracking. A steady-state efficiency and current density of the HTM-free device decreased to 10.65% and 21.36 mA cm^{-2} after 500 s at an applied potential (close to the maximum power point potential) of 0.64 V, see **Figure 3**. $MAPbI_3$/P3HT/ carbon device shows a stable PCE of 15.07% and a current density of 23.0 mA cm^{-2} is obtained for 500 s under 1 sun illumination at a V_{max} of 0.72 V, see Figure 3. This steady-state PCE was close to that obtained from the reverse *J*–*V* scan, 15.3%.

To elucidate the dominating recombination mechanism in the perovskite devices, J_{SC} and V_{OC} at difference light intensities from 10 to 100 mW cm^{-2} were measured, see **Figure 4**a,b. J_{SC} scales approximately linearly with light intensity, as it may be expected for good solar cells. The slope of the doubly logarithmic plot is 0.975, 0.976, and 0.977 for $MAPbI_3$/P3HT/Au, $MAPbI_3$/carbon, and $MAPbI_3$/P3HT/carbon devices. From the light intensity dependence of V_{OC}, the ideality factor (n) of the devices is derived using $V_{OC} \propto nk_BT/q \ln(I)$, where T is the temperature, k_B is the Boltzmann's constant, q is elementary charge, and I the light intensity. In a classical approach considering only bulk recombination, radiative recombination (bimolecular recombination) should lead to an ideality factor of 1, while trap-assisted charge recombination (monomolecular recombination) gives a value of 2.[53] For PSCs, the intrepretation is more complex: interfacial recombination and ionic charge accumulation must be considered and can lead to variation in n.[54] For the $MAPbI_3$/P3HT/Au device, an ideality factor of 2.22 is found, which is larger than that of $MAPbI_3$/P3HT/carbon (1.92) and $MAPbI_3$/carbon devices (1.55). As the bulk $MAPbI_3$ is identical in all

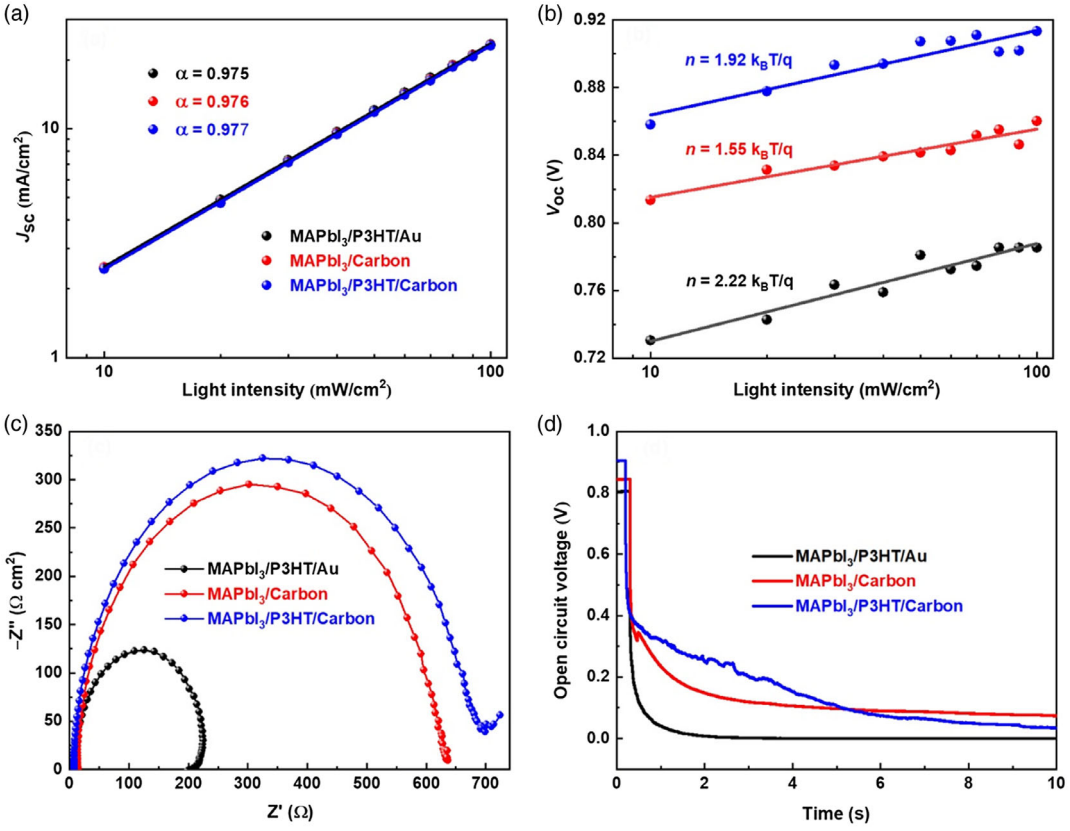


Figure 4. a) Current density (J_{SC}) and b) open-circuit voltage (V_{OC}) dependent as a function of light intensity (I) with and without P3HT/carbon and Au devices on logarithmic scale. c) Nyquist's plots with comparison devices from EIS at an applied bias of 0.8 V in the dark. d) V_{OC} decay of different structures after switching off simulated AM 1.5G (100 mW cm^{-2}) illumination.

© 2021 The Authors. Solar RRL published by Wiley-VCH GmbH

devices, any changes in ideality factors must be attributed to the hole-collecting contact. For carbon-only devices, carrier selectivity will not be perfect and more recombination will take place at the perovskite/carbon interface, leading to lower V_{OC}.

To further investigate the charge transport and recombination mechanisms, electrochemical impedance spectroscopy (EIS) was performed for $MAPbI_3$/P3HT/Au, $MAPbI_3$/carbon, and $MAPbI_3$/P3HT/carbon devices, see Figure 4c. The equivalent circuit used to fit the EIS data is shown in Figure S6, Supporting Information, and the fit parameters are shown in Table S6, Supporting Information. The fitting parameters are the series resistance R_s, which is the intercept at high frequencies, the recombination resistance R_{rec}, and the geometric capacitance C_{geom}. The parallel *RC* circuit of the latter two describes the semicircle in Figure 4c. The carbon-based devices show a larger semicircle radius than the $MAPbI_3$/P3HT/Au device. This is ascribed to a larger recombination resistance (R_{rec}), corresponding to a lower recombination rate and thus improved V_{OC}, FF, and PCE.[55,56] The carrier lifetime (τ) is calculated from the EIS data using the following equation: $\tau = R_{rec} \times C_{geom}$. The higher values of τ for $MAPbI_3$/P3HT/carbon (74 µs) and $MAPbI_3$/carbon (60 µs) compared with the much lower value found for P3HT/Au (7.9 µs) show that recombination is severe in the latter types of devices, leading to low V_{OC}. The most likely origin is pinholes in the P3HT layer, which are detrimental in the case of evaporated gold contacts.

Open-circuit voltage decay transients of the devices display significant differences between C-PSC and the PSC with gold contact (Figure 4d). After a fast initial decay, similar for all devices, a long tail is found for devices with carbon contacts. This tail is related to ionic motion in the perovskite material. As the devices differ in the hole-selective contacts, differences must be caused by ions or ion vacancies near the positive contact. Most likely, the slow part of the V_{OC} decay reflects the return of negatively charged ions or ion vacancies accumulated at carbon contacts under illumination back to the bulk of the material. The difference between C-PSC devices with and without P3HT layer may be attributed to the additional capability of P3HT to store ionic charge.

Long-term stability is one of the most critical factors for the eventual success of PSCs. **Figure 5**a shows the storage stability of unsealed devices under in the dark (relative humidity [RH]: $20 \pm 5\%$; room temperature $20 \pm 5\,^{\circ}C$). All devices showed good stability under these conditions. The $MAPbI_3$/P3HT/carbon device retained 99% of its original PCE over 31 days of testing (PCE: from 14.23% to 14.05%). Similarly, results in PCE of $MAPbI_3$/P3HT/Au and hole conductor-free carbon devices were equivalent of their initial efficiency of 10.28% and 11.89%.

A thermal stress test was performed by exposing nonencapsulated devices to 82 °C in ambient air in the dark, see Figure 5b. The RH not controlled in this test of surrounding air was $50 \pm 10\%$. The thermal stability of PSCs with gold contacts was poor compared with carbon-based PSCs. A clear improvement was found when the doped spiro-OMeTAD was replaced by doping-free P3HT. These devices remained stable for 10 days, significantly better than previously reported ITO/TiO_2/$MAPbI_3$/P3HT/Au devices by Conings et al., which degraded to 30% of their initial performance after 24 h at 85 °C.[57] The carbon-only device remained stable until about 200 h aging. After that, PCE dropped to 62% of its original output at 500 h, due to decrease in current and FF (see Figure S7, Supporting Information). The P3HT/carbon device exhibited a superior thermal stability, keeping 70% of its initial PCE after 900 h storage in the oven. P3HT not only resisted thermal exposure, but it also seems to provide a barrier against moisture due to its hydrophobic properties (see Figure S8, Supporting Information). It should also be noted that bare $MAPbI_3$ perovskite films are not very stable under these conditions, due to loss of MAI and formation of PbI_2.[57]

The observed hysteresis in $J-V$ curves in this study is an unwanted and problematic effect in PSCs. Several factors that possibly could affect hysteresis were therefore investigated. First, we checked the effect of the conducting glass substrates.

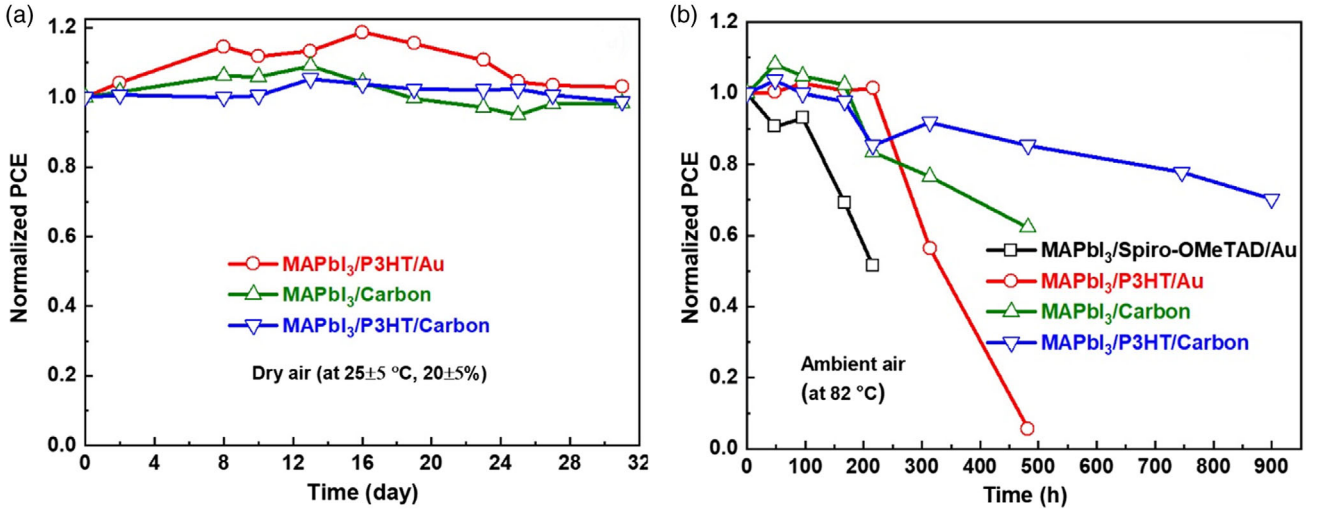


Figure 5. a) Storage stability of unsealed PSCs. b) Solar cell efficiency (at 1 sun condition) of carbon-based $MAPbI_3$ perovskite devices with and without P3HT and of $MAPbI_3$/P3HT/Au upon storage in the dark in a dry box (RH of $20 \pm 5\%$) at room temperature. Thermal stability test of nonencapsulated devices in the dark at 82 °C in ambient air.

© 2021 The Authors. Solar RRL published by Wiley-VCH GmbH

Devices prepared on fluorine-doped tin oxide (FTO, TEC15, Pilkington)-coated glass were found to give slightly lower performance compared with ITO-based devices and had similar reproducibility and hysteresis index, see solar cell statistics in Figure S9, Supporting Information. Due to its lower roughness, ITO films are probably more conformally coated with the very thin electron-selective SnO_2 layer than the rougher FTO substrates. The average PCE was 13.25% for FTO/SnO_2/$MAPbI_3$/P3HT/carbon devices and 14.84% for ITO/SnO_2/$MAPbI_3$/P3HT/carbon devices.

Second, we studied addition of potassium chloride (KCl) to the SnO_2 layer, which has been reported to reduce the defect density of perovskite layer due to the passivation effect of K^+ ions.[58] Indeed, hysteresis was reduced upon KCl addition: HI was reduced from 16.7% to 7.4% (FTO device) and from 19.8% to 9.7% (ITO device), as shown in Figure S10 and S11, Supporting Information.

Third, we investigated the effect of interfacial modifiers such as polyvinylpyrrolidone (PVP)[59] and phenylethyl ammonium iodide (PEAI)[60] on the surface of $MAPbI_3$ films (see Figure S12a,b, Supporting Information), but no significant effects were found. By doping the P3HT layer with Li-FTSI salt, 4-*tert*-butylpyridine (TBP),[45] and poly[bis(4-phenyl)(2,4,6-trimethylphenyl)amine] (PTAA), the hysteresis and performance of C-PSCs were not significantly improved either (see Figure S12b–d, Supporting Information).

The choice of conductive substrate is crucial for PSC device performance and reproducibility. In our study, devices prepared on ITO glass substrates yielded better results than those on FTO, giving about 2% (absolute) higher efficiencies. We attribute this to the higher quality of the SnO_2 layers formed on the flatter surface of the ITO.

The fact that KCl addition to the SnO_2 led to positive effects in the devices investigated here could be both due to the effect on the SnO_2 electron-selective layer but possibly also due to effects that K^+ ions can have on the $MAPbI_3$ grain formation. In a subsequent study, to be published elsewhere, the $MAPbI_3$ film was replaced by a mixed-ion perovskite using a two-step method. As a result, the hysteresis in the *J–V* curves was greatly reduced. Hence, we can draw the conclusion that the SnO_2 electron-selective layer, the P3HT hole-selective layer, and the CE are not main causes of the observed hysteresis in the current study, which must therefore be attributed to the properties of the $MAPbI_3$ film.

3. Conclusion

Low-temperature-processed C-PSCs were fabricated with the n–i–p configuration ITO/SnO_2/$MAPbI_3$/carbon and, with inclusion of a hole-selective layer, ITO/SnO_2/$MAPbI_3$/P3HT/carbon. Insertion of an undoped P3HT layer improved V_{OC}, FF, and PCE and a top efficiency of 15.7% was obtained. Without P3HT, an efficiency up to 12.8% was obtained, comparable with that of $MAPbI_3$/P3HT/Au device (11.7%). Without further encapsulation, devices did not show any degradation upon dry storage for 1 month in the dark and C-PSCs with intermediate P3HT layer maintained 70% of their initial efficiency after 900 h at 82 °C in air.

C-PSCs with P3HT as hole conductor and SnO_2 as electron-selective layer provide stable solar cells without the need for vacuum deposition equipment or a high-temperature process. Even with $MAPbI_3$ perovskite as the absorber, which is known to be relatively unstable, good results were obtained, suggesting that this further improvement can be obtained using more stable and advanced perovskite compositions.

4. Experimental Section

Materials and Solar Cell Preparation: Indium tin oxide (ITO)-coated glass (12–15 Ω sq^{-1}) was purchased from Optical Filters, England. Lead iodide (PbI_2, 99.99%) was purchased from TCI (Japan). Methylammonium iodide (MAI, 99.99%) was purchased from Greatcell Solar (Australia). Tin(IV) oxide (SnO_2, 15% in H_2O colloidal dispersion) was obtained from Alfa Aesar. *N,N*-dimethylformamide (DMF, anhydrous, 99.8%), DMSO (dimethylsulfoxide, 99.8%), chlorobenzene (anhydrous, 99.8%), and poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT, RR, average M_w: 50 000–100 000, prod. no. 445703) were provided by Sigma-Aldrich. Carbon paste (DN-CP01) was purchased from Dyenamo. All the materials and reagents were used as received without any further purification.

The ITO–glass substrates were etched by Zn powder with diluted hydrochloric acid (2 mol L^{-1}) solution. After that, they were sequentially washed with detergent (2% Hellmanex water solution), deionized (DI) water, acetone, and ethanol by sonication for 30 min in each step. Afterward, air stream was treated to dry the films. Finally, all substrates were cleaned by UV–ozone treatment for 30 min before use.

SnO_2 colloidal dispersion was diluted by DI water (1:4 v/v) and sonication for 15 min. After that, electron transport layer was deposited on the ITO (24 mm × 28 mm) glass substrates at 3000 rpm for 30 s followed by annealing at 120 °C for 10 min and 150 °C for 20 min on a hotplate in ambient atmosphere.

The $MAPbI_3$ photoactive layer was deposited in a one-step method with antisolvent dripping in N_2-filled glovebox. The perovskite precursor solution was prepared by dissolving 692 mg PbI_2 and 239 mg MAI in a mixed solvent of 0.107 mL dimethylsulfoxide (DMSO) and 0.953 mL dimethylformamide (DMF).[61] The resulting mixture was stirred overnight at 60 °C in the dark. The transparent yellowish solution was filtered through a 0.45 µm PTFE filter syringe. Before depositing the perovskite films, the SnO_2 substrates were treated by UV–ozone for 20 min to increase the wettability of perovskite solution on the films. Then, obtained films were quickly transferred into the glovebox. One-step spin coating was performed with a rotation speed of 4000 rpm for 20 s. While the spinning rotation was between 7 and 10 s, 0.15 mL of chlorobenzene antisolvent was continuously poured to remove the cosolvents and induced rapid perovskite crystallization. The resultant transparent film was then heated at 100 °C for 30 min on a hotplate to obtain a brilliant specular film.

P3HT (10 mg mL^{-1} in chlorobenzene) solution was shaken for 30 min at room temperature. It was spin coated onto the perovskite layer with a speed of 3000 rpm for 30 s. To improve the hole conductivity, the deposited P3HT layer was annealed at 100 °C for 10 min.[48,62] Carbon paste was coated on the perovskite or P3HT layer by manual doctor blading in ambient air (RH ≈50 ± 10%, temperature ≈20 ± 0.5 °C), followed by heating on a hotplate in air at 100 °C for 20 min.

For devices with gold contacts, 80 nm Au were thermally evaporated on the P3HT layer under high vacuum ≈8.3×10^{-3} Pa through a shadow mask (5 mm × 5 mm). Thickness and evaporation speed were adjusted using a quartz crystal by tuning 0.1 Å s^{-1} until 10 nm first and 0.8 Å s^{-1} to reach 80 nm for the final procedure.

Characterization Methods: *J–V characteristics* were recorded of PSCs in ambient air under 1.5 G illumination with a self-calibrating solar simulator (Wavelabs Sinus-70, class AAA, Germany). The voltage scan rate was fixed at 50 mV s^{-1} with 20 mV steps using a source meter (Ossila X200, UK). Reverse and forward scans were performed from +1.2 to –0.1 V and from –0.1 to +1.2 V, respectively. Solar cells were illuminated through a black metal mask with a circular aperture of 0.125 cm^2 placed on the solar cell,

© 2021 The Authors. Solar RRL published by Wiley-VCH GmbH

under ambient air, at room temperature, and without encapsulation. IPCE measurements were conducted in a system consisting of a xenon lamp and monochromator (Spectral products ASB-XE-175 and CM110) and a Labjack U6 digital acquisition device. The light intensity at each wavelength was calibrated with a certified silicon photodiode (Fraunhofer ISE) prior to characterization. *EIS* was performed using a potentiostat with a frequency analyzer (Autolab PGSTAT100). Measurements were carried out in the dark at an applied potential of 0.80 V. Data in the frequency range from 500 kHz and 1 Hz were fitted using FRA 4.5 software. V_{oc} decay was recorded using a homebuilt system consisting of a white LED (Luxeon Star 1 W) and a digital acquisition board (National Instruments).

UV−vis absorption spectra were recorded on a Varian Cary 5000 spectrophotometer. Photoluminescence emission measurements were performed using a Horiba Jobin Yvon Fluorolog instrument (Model FL3-222). The measurements were performed in backscattering geometry using 30° angle of incidence from the excitation beam with respect to the surface normal. The excitation wavelength was 460 nm and the spectral resolution 4 nm. Cross-sectional scanning electron microscopy (SEM) images were taken using SEM, using a Zeiss LEO 1550 FEG instrument with in-lens and secondary electron detector operating at 3 kV. X-ray diffraction (XRD) patterns of perovskite film (≈350 nm) were measured using a Siemens D5000 $\theta-2\theta$ goniometer with Cu Kα radiation ($\lambda = 1.54051$ Å) under ambient air. 0.4° Soller-slit collimator was set up with a step size of $0.1^\circ\ s^{-1}$ at a scanning range of 10−60° (Bruker AXS, Karlsruhe, Germany). Water contact angle measurement was performed using an Ossila contact angle Goniometer (L2004A1).

Supporting Information

Supporting Information is available from the Wiley Online Library or from the author.

Acknowledgements

This work was financially supported by Thailand International Cooperation Agency (TICA), Thailand Science Research and Innovation (TSRI), National Research Council of Thailand (NRCT) from the Royal Golden Jubilee (RGJ) Program, Swedish International Development Cooperation Agency (Sida), and International Science Programme (ISP) at Uppsala University under Thai-Swedish Trilateral Development Cooperation Programme (grant no. PHD/0101/2560). A.V. and G.B. thank the Swedish Foundation for Strategic Research (project no. RMA15-0130) and the Standup for Energy program for financial support. The authors thank Dr. Byeong-Jo Kim for useful discussions.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Data Availability Statement

Research data are not shared.

Keywords

hole-selective contacts, $MAPbI_3$, P3HT, SnO_2

Received: September 22, 2021
Revised: October 29, 2021
Published online:

[1] NREL, Best Research-Cell Efficiency Chart, https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies-rev210726.pdf (accessed: July 2021).
[2] A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai, T. Miyasaka, *J. Am. Chem. Soc.* **2009**, *131*, 6050.
[3] B. W. Park, B. Philippe, S. M. Jain, X. Zhang, T. Edvinsson, H. Rensmo, B. Zietz, G. Boschloo, *J. Mater. Chem. A.* **2015**, *3*, 21760.
[4] C. Wehrenfennig, G. E. Eperon, M. B. Johnston, H. J. Snaith, L. M. Herz, *Adv. Mater.* **2014**, *26*, 1584.
[5] L. M. Herz, *ACS Energy Lett.* **2017**, *2*, 1539.
[6] J. You, Z. Hong, Y. M. Yang, Q. Chen, M. Cai, T. Song, C. Chen, S. Lu, Y. Liu, H. Zhou, Y. Yang, *ACS Nano.* **2014**, *8*, 1674.
[7] D. Liu, T. L. Kelly, *Nat. Photonics.* **2014**, *8*, 133.
[8] A. J. Doolin, R. G. Charles, C. S. P. De Castro, R. G. Rodriguez, E. V. Péan, R. Patidar, T. Dunlop, C. Charbonneau, T. Watson, M. L. Davies, *Green Chem.* **2021**, *23*, 2471.
[9] Y. Cui, S. Wang, L. Ding, F. Hao, *Adv. Energy Sustain. Res.* **2021**, *2*, 2000047.
[10] S. Chen, Y. Deng, X. Xiao, S. Xu, P. N. Rudd, J. Huang, *Nat. Sustain.* **2021**, *4*, 636.
[11] T. A. Berhe, W. N. Su, C. H. Chen, C. J. Pan, J. H. Cheng, H. M. Chen, M. C. Tsai, L. Y. Chen, A. A. Dubale, B. J. Hwang, *Energy Environ. Sci.* **2016**, *9*, 323.
[12] K. Domanski, J. P. Correa-Baena, N. Mine, M. K. Nazeeruddin, A. Abate, M. Saliba, W. Tress, A. Hagfeldt, M. Grätzel, *ACS Nano.* **2016**, *10*, 6306.
[13] S. Svanström, T. J. Jacobsson, G. Boschloo, E. M. J. Johansson, H. Rensmo, U. B. Cappel, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2020**, *12*, 7212.
[14] L. Fagiolari, F. Bella, *Energy Environ. Sci.* **2019**, *12*, 3437.
[15] M. Que, B. Zhang, J. Chen, X. Yin, S. Yun, *Mater. Adv.* **2021**, *2*, 5560.
[16] D. Bogachuk, S. Zouhair, K. Wojciechowski, B. Yang, V. Babu, L. Wagner, B. Xu, J. Lim, S. Mastroianni, H. Pettersson, A. Hagfeldt, A. Hinsch, *Energy Environ. Sci.* **2020**, *13*, 3880.
[17] V. Ferguson, S. R. P. Silva, W. Zhang, *Energy Environ. Mater.* **2019**, *2*, 107.
[18] M. Hadadian, J.-H. Smått, J.-P. Correa-Baena, *Energy Environ. Sci.* **2020**, *13*, 1377.
[19] Z. Ku, Y. Rong, M. Xu, T. Liu, H. Han, *Sci. Rep.* **2013**, *3*, 3132.
[20] S. Liu, W. Huang, P. Liao, N. Pootrakulchote, H. Li, J. Lu, J. Li, F. Huang, X. Shai, X. Zhao, Y. Shen, Y. B. Cheng, M. Wang, *J. Mater. Chem. A.* **2017**, *5*, 22952.
[21] X. Chen, Y. Xia, Q. Huang, Z. Li, A. Mei, Y. Hu, T. Wang, R. Cheacharoen, Y. Rong, H. Han, *Adv. Energy Mater.* **2021**, *11*, 2100292.
[22] S. Zhu, J. Tian, J. Zhang, C. Gao, X. Liu, *Energy Mater.* **2021**, *4*, 5554.
[23] F. Yang, L. Dong, D. Jang, B. Saparov, K. C. Tam, K. Zhang, N. Li, C. J. Brabec, H. J. Egelhaaf, *Adv. Energy Mater.* **2021**, *11*, 2101219.
[24] H. Wei, J. Xiao, Y. Yang, S. Lv, J. Shi, X. Xu, J. Dong, Y. Luo, D. Li, Q. Meng, *Carbon* **2015**, *93*, 861.
[25] Y. Yang, M. T. Hoang, D. Yao, N. D. Pham, V. T. Tiong, X. Wang, W. Sun, H. Wang, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **2020**, *210*, 110517.
[26] H. Zhou, Y. Shi, Q. Dong, H. Zhang, Y. Xing, K. Wang, Y. Du, T. Ma, *J. Phys. Chem. Lett.* **2014**, *5*, 3241.
[27] H. Zhang, K. Song, L. Zhu, Q. Meng, *Carbon* **2020**, *168*, 372.
[28] H. Ye, Z. Liu, X. Liu, B. Sun, X. Tan, Y. Tu, T. Shi, Z. Tang, G. Liao, *Appl. Surf. Sci.* **2019**, *478*, 417.
[29] N. Liu, L. Chu, W. Ahmad, R. Hu, R. Luan, W. Liu, J. Yang, Y. Ma, X. Li, *J. Power Sources.* **2021**, *499*, 229970.
[30] C. Liu, Z. He, Y. Li, A. Liu, R. Cai, L. Gao, T. Ma, *J. Colloid Interface Sci.* **2021**, *605*, 54.
[31] H. Zhang, J. Xiao, J. Shi, H. Su, Y. Luo, D. Li, H. Wu, Y. B. Cheng, Q. Meng, *Adv. Funct. Mater.* **2018**, *28*, 1802985.

© 2021 The Authors. Solar RRL published by Wiley-VCH GmbH

[32] C. Zhang, S. Wang, H. Zhang, Y. Feng, W. Tian, Y. Yan, J. Bian, Y. Wang, S. Jin, S. M. Zakeeruddin, M. Grätzel, Y. Shi, *Energy Environ. Sci.* **2019**, *12*, 3585.
[33] C. Peng, H. Su, J. Li, Q. Duan, Q. Li, J. Xiao, Z. Ku, J. Zhong, W. Li, Y. Peng, F. Huang, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **2021**, *230*, 111226.
[34] F. M. Rombach, S. A. Haque, T. J. Macdonald, *Energy Environ. Sci.* **2021**, *14*, 5161.
[35] W. Zhou, Z. Wen, P. Gao, *Adv. Energy Mater.* **2018**, *8*, 1702512.
[36] X. Yin, Z. Song, Z. Li, W. Tang, *Energy Environ. Sci.* **2020**, *13*, 4057.
[37] A. Abate, J. P. Correa-Baena, M. Saliba, M. S. Su'ait, F. Bella, *Chem. Eur. J.* **2018**, *24*, 3083.
[38] Q. Zhou, J. Qiu, Y. Wang, M. Yu, J. Liu, X. Zhang, *ACS Energy Lett.* **2021**, *6*, 1596.
[39] M. J. Jeong, K. M. Yeom, S. J. Kim, E. H. Jung, J. H. Noh, *Energy Environ. Sci.* **2021**, *14*, 2419.
[40] E. H. Jung, N. J. Jeon, E. Y. Park, C. S. Moon, T. J. Shin, T. Y. Yang, J. H. Noh, J. Seo, *Nature.* **2019**, *567*, 511.
[41] B. Pashaei, S. Bellani, H. Shahroosvand, F. Bonaccorso, *Chem. Sci.* **2020**, *11*, 2429.
[42] L. Janasz, D. Chlebosz, M. Gradzka, W. Zajaczkowski, T. Marszalek, K. Müllen, J. Ulanski, A. Kiersnowski, W. Pisula, *J. Mater. Chem. C* **2016**, *4*, 11488.
[43] P. Zhou, T. Bu, S. Shi, L. Li, Y. Zhang, Z. Ku, Y. Peng, J. Zhong, Y. B. Cheng, F. Huang, *J. Mater. Chem. C* **2018**, *6*, 5733.
[44] Y. Miyazawa, M. Ikegami, H. W. Chen, T. Ohshima, M. Imaizumi, K. Hirose, T. Miyasaka, *IScience.* **2018**, *2*, 148.
[45] J. Jin, M. Yang, W. Deng, J. Xin, Q. Tai, J. Qian, B. Dong, W. Li, J. Wang, J. Li, *Sol. Energy.* **2021**, *220*, 491.
[46] Q. Q. Chu, B. Ding, J. Peng, H. Shen, X. Li, Y. Liu, C. X. Li, C. J. Li, G. J. Yang, T. P. White, K. R. Catchpole, *J. Mater. Sci. Technol.* **2019**, *35*, 987.
[47] N. Yaghoobi Nia, E. Lamanna, M. Zendehdel, A. L. Palma, F. Zurlo, L. A. Castriotta, A. Di Carlo, *Small.* **2019**, *15*, 1904399.
[48] Q. Hu, E. Rezaee, M. Li, Q. Chen, C. Li, S. Cai, H. Shan, Z. X. Xu, *Sol. RRL* **2020**, *4*, 1900340.
[49] N. Yaghoobi Nia, M. Bonomo, M. Zendehdel, E. Lamanna, M. M. H. Desoky, B. Paci, F. Zurlo, A. Generosi, C. Barolo, G. Viscardi, P. Quagliotto, A. Di Carlo, *ACS Sustain. Chem. Eng* **2021**, *9*, 5061.
[50] F. Wan, X. Qiu, H. Chen, Y. Liu, H. Xie, J. Shi, H. Huang, Y. Yuan, Y. Gao, C. Zhou, *Org. Electron.* **2018**, *59*, 184.
[51] N. E. Courtier, *Phys. Rev. Appl.* **2020**, *14*, 024031.
[52] W. Tress, M. Yavari, K. Domanski, P. Yadav, B. Niesen, J. P. Correa Baena, A. Hagfeldt, M. Graetzel, *Energy Environ. Sci.* **2018**, *11*, 151.
[53] S. M. Abdulrahim, Z. Ahmad, J. Bahadra, N. J. Al-Thani, *Nanomaterials.* **2020**, *10*, 1635.
[54] T. Xu, K. Zou, S. Lv, H. Tang, Y. Zhang, Y. Chen, L. Chen, Z. Li, W. Huang, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2021**, *13*, 16485.
[55] B. Conings, J. Drijkoningen, N. Gauquelin, A. Babayigit, J. D'Haen, L. D'Olieslaeger, A. Ethirajan, J. Verbeeck, J. Manca, E. Mosconi, F. De Angelis, H. G. Boyen, *Adv. Energy Mater.* **2015**, *5*, 1500477.
[56] N. Zhu, X. Qi, Y. Zhang, G. Liu, C. Wu, D. Wang, X. Guo, W. Luo, X. Li, H. Hu, Z. Chen, L. Xiao, B. Qu, *Energy Mater.* **2019**, *2*, 3676.
[57] H. Xiong, G. Deluca, Y. Rui, B. Zhang, Y. Li, Q. Zhang, H. Wang, E. Reichmanis, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2018**, *10*, 35385.
[58] F. S. Ghoreishi, V. Ahmadi, R. Poursalehi, *J. Power Sources* **2020**, *473*, 228492.
[59] L. Lei, S. Yang, Y. Yu, M. Li, J. Xie, S. Bao, P. Jin, A. Huang, *J. Mater. Chem. A* **2019**, *7*, 21085.
[60] P. Tyagi, S. C. Hua, D. R. Amorim, R. M. Faria, J. Kettle, M. Horie, *Org. Electron.* **2018**, *55*, 146.
[61] C. Besleaga, L. E. Abramiuc, V. Stancu, A. G. Tomulescu, M. Sima, L. Trinca, N. Plugaru, L. Pintilie, G. A. Nemnes, M. Iliescu, H. G. Svavarsson, A. Manolescu, I. Pintilie, *J. Phys. Chem. Lett.* **2016**, *7*, 5168.
[62] H. Su, J. Xiao, Q. Li, C. Peng, X. Zhang, C. Mao, Q. Yao, Y. Lu, Z. Ku, J. Zhong, W. Li, Y. Peng, F. Huang, *Mater. Sci. Semicond. Process.* **2020**, *107*, 104809.

© 2021 The Authors. Solar RRL published by Wiley-VCH GmbH

Journal of Renewable Materials

Tech Science Press

DOI: 10.32604/jrm.2021.015553

ARTICLE

Fabrication and Simulation of TE Modules for a Feasibility Study on Harvesting Solar Heat Energy from Roof Tiles

Sakorn Inthachai[1], Supasit Paengson[2], Jindaporn Jamradloedluk[1,*] and Tosawat Seetawan[2,*]

[1]Solar Energy and Energy Resources Research Unit, Faculty of Engineering, Mahasrakham University, Khamriang, 44150, Thailand

[2]Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Thermoelectric Research Laboratory, Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000, Thailand

[*]Corresponding Authors: Jindaporn Jamradloedluk. Email: jindaporn.msu@gmail.com; Tosawat Seetawan. Email: t_seetawan@snru.ac.th

Received: 26 December 2020 Accepted: 26 February 2021

ABSTRACT

A novel roof tile thermoelectric generator (RT-TEG) was used to harvest electrical energy from a solar heat source. The RT-TEG was fabricated and simulated by flat and curved thermoelectric modules consisting of *p*-*n* junctions of *p*-Sb_2Te_3 and *n*-Bi_2Te_3, with an Al_2O_3 substrate at the top and bottom for heat absorption and heat rejection. The RT-TEG was installed in a roof tile to act as a generator. The electrical voltage and power values of the curved thermoelectric modules were higher than those of the flat thermoelectric module by 0.44 V and 80 mW, at a temperature difference (ΔT) of 100 K. In field tests, the RT-TEG produced a maximum electrical voltage of 33.70 mV and an electrical power of 46.24 μW at ΔT~7 K under a load resistance of 1 Ω under good sunshine at 13.00 hours. The energy conversion efficiency of RT-TEG was found to be 2.24×10^{-4}.

KEYWORDS

Roof tiles micro-generator; alternative energy; thermoelectric module; harvesting energy; conversion energy

1 Introduction

Due to depletion and environmental effect of fossil fuels, renewable energy such as solar cell, wind [1], and bio-oil [2] has been more increasingly used. Thermoelectric (TE) is a device for a conversion of waste heat to electricity. It has various applications, i.e. wood stoves, natural gas use, vehicles, and solar heating [3–7]. A TE device is fabricated by using *p*- and *n*-type TE materials to form a *p*-*n* junction. The device has two applications: (1) A TEG, wherein electricity is generated by the Seebeck effect, and (2) Thermoelectric cooling (TEC), wherein an electrical current is applied to a *p*-*n* junction couple (the so-called Peltier effect). In both cases, the TE device offers the advantages of having no moving parts, no noise production, a long cycle duration, low maintenance cost, and environmental friendliness. A Bi_2Te_3-based TEG has been fabricated that operates in the low-temperature range (<623 K). Commercial preparation of bulk involves melting and quenching operations to create the desired phase composition in sealed quartz tubes, followed by crushing the materials to a powder and hot pressing [8–10]. High-performance TE materials have been obtained by preparing nanoparticles from raw materials: Rapid spark plasma sintering has been used to produce nanoparticles that exhibit increased phonon scattering and

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

decreased thermal conductivity [11–15]. The power factor of TE materials is defined as $PF = S^2/\rho$, where S^2/ρ, S, ρ, and T represent the power factor, the Seebeck coefficient, the electrical resistivity, and the absolute temperature, respectively.

A TE module is typically fabricated with a flat shape, where rigid ceramic substrate shapes, such as aluminum oxide (Al_2O_3) and aluminum nitride (AlN), are used to create a flat surface. However, a flat TE module cannot generate all the electricity available from a curved heat surface. Consequently, many flexible substrate materials, such as silk fabric, polyimide films, and glass fabric, are currently being developed for use with curved heat surfaces and conducting TE materials. Various approaches have been used to fabricate flexible substrates: Lu et al. fabricated a TE module by using silk fabric as a flexible substrate and Bi_2Te_3 mixed with a binder as TE materials to harvest electricity from the human body. A TE module consisting of 20 couples produced 2.08 μW at ΔT = 303 K. When the flexible TEG was attached to the human body (at the chest), a power output of 178 nW was obtained at an ambient temperature of 278 K [16]. Francioso et al. successfully used RF magnetron cosputtering to fabricate a flexible TEG with a total size of 70 × 30 mm^2 by depositing Bi_2Te_3 and Sb_2Te_3 thin films on Kapton HN polyimide foil. The internal resistance of the device consisting of 100 thermocouples was 380 kΩ. An open-circuit voltage and a maximum output power of 430 mV and 32 nW, respectively, were generated at = 313 K [17]. Kim et al. successfully prepared a flexible TEG by successively screen printing Bi_2Te_3 and Sb_2Te_3 pastes onto glass fabric, followed by annealing at 803 K and 773 K, respectively, in a N_2 atmosphere. The 11 as-prepared band-type flexible TEG thermocouples generated an open-circuit voltage and an output power of 2.90 mV and 3 μW, respectively, when worn on human skin at an environmental temperature of 288 K [18]. Kim et al. fabricated a self-powered wireless sensor node driven by a flexible TEG for use with a heat pipe. A total energy of 272 mW were harvested over a curved area of 140 × 113 mm^2 from the heat pipe at a temperature of 343 K. They also tested a complete self-powered 34 WSN system for remote monitoring of heat pipe temperature, ambient temperature, humidity, CO_2 and volatile organic compounds [19]. However, the main problem encountered with using a flexible substrate was low heat transfer between the substrate and the surface at the cooling side and substrate deformation at nearly 573 K. Luo et al. conducted a study on a solar thermoelectric generator using phase change materials (PCMs) to absorb heat from solar radiation. A maximum voltage of approximately 2.697 V was obtained at 80°C using the PCMs [20]. Muthu et al. investigated the performance of a solar-parabolic-dish thermoelectric generator based on PCMs. The solar parabolic dish exhibited a maximum temperature of approximately 120°C with a solar beam radiation of 1,100 W m^{-2}. A maximum power of 1 W was obtained from the TEG at an 80°C temperature difference [21]. Lv et al. fabricated high-performance terrestrial solar thermoelectric generators without optical concentration for use on residential and commercial rooftops. The maximum peak exergy efficiency of the system reached a record value of 7.17% [22]. Maneewan et al. invented a TE-RSC composed of a transparent acrylic sheet, an air gap, a copper plate, thermoelectric modules, and a rectangular fin heat sink, which was tested under the design conditions. The test results showed that the TE-RSC generated approximately 1 W at a simulated solar intensity of 800 W m^{-2} at ambient temperatures between 30 and 35°C. This TE-RSC could drive a fan to cool the cold side of thermoelectric modules [23]. Zheng et al. studied a thermoelectric cogeneration system (TCS) that enhances sustainability by improving energy efficiency in the domestic sector, which was compared with other components of a thermoelectric system. The thermoelectric block included 16 modules, a cold side, and a hot-side heat exchanger. Each module was made of Bi_2Te_3 with dimensions of 40 × 40 × 3.8 mm^3 and 127 thermocouples. The system viability was assessed in terms of the maximal recovery of available boiler waste heat and solar radiation. A maximum conversion efficiency of approximately 4% was obtained when the temperature difference increased to 130°C [24].

In this study, a RT-TEG was fabricated by using a TE device made of *p*-Sb_2Te_3 and *n*-Bi_2Te_3 base materials. The thermoelectric properties of the TE materials were measured to comparatively analyze the

performance of curved and flat modules. The potential application of the RT-TEG was evaluated by measuring the electricity generated from different surfaces in a real environment.

2 Research Method

2.1 Simulation of TE Modules

TE curved and flat modules were simulated using ANSYS finite element (FE) software to predict the Joule heating value, the Seebeck coefficient, the Peltier coefficient, and the generated thermoelectricity [25]. The heat flow equations and the continuity equations of the electric charges in a system of TE devices are given by Eqs. (1) and (2) [25,26]:

$$\rho_d C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{q} = \dot{q} \tag{1}$$

where ρ_d is the density (kg m^{-3}), C_p is the specific heat capacity (J kg^{-1} K^{-1}), $\vec{q}$ is the heat flux vector (W m^{-2}), and $\dot{q}$is the heat generation rate per unit volume (W m^{-3}); and

$$\vec{\nabla} \cdot \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) = 0 \tag{2}$$

where $\vec{D}$ is the electric flux density vector (C m^{-2}), and $\vec{J}$ is the electric current density vector (A m^{-2}). The TE constitutive equation is presented by Eq. (3):

$$\vec{q} = [\Pi] \cdot \vec{J} - [\kappa] \cdot \vec{\nabla} T \tag{3}$$

where Π is the Peltier coefficient matrix (V), and κ is the thermal conductivity matrix (W m^{-1} K^{-1}). The electrical current density generated by the Seebeck and Joule effects is given by Eq. (4):

$$\vec{J} = [\sigma] \cdot \vec{E} - [\sigma] \cdot [S] \cdot \vec{\nabla} T \tag{4}$$

where σ is the electrical conductivity matrix (S m^{-1}), and S is the Seebeck coefficient matrix (V K^{-1}). The constitutive equation for a dielectric medium is $\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E}$, where$\epsilon$is the dielectric permittivity matrix. Under a time-variant magnetic field, the electric field is given by: $\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi$, where φ is the scalar electric potential. The thermoelectricity constitutive equations are then presented by Eqs. (5) and (6):

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{\nabla}([\Pi] \cdot \vec{J}) - \vec{\nabla} \cdot \left([\kappa] \cdot \vec{\nabla} T \right) = \dot{q} \tag{5}$$

$$\vec{\nabla}\left([\epsilon] \cdot \vec{\nabla} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) + \vec{\nabla} \cdot \left([\sigma] \cdot [S] \cdot \vec{\nabla} T \right) + \vec{\nabla} \cdot \left([\sigma] \cdot \vec{\nabla} \varphi \right) = 0 \tag{6}$$

The Galerkin method was used to convert the thermoelectric equation into a system of thermoelectric finite element (FEM) equations [27,28]. The temperature and scalar electric potential in the FEM system are approximated by $T = \vec{N} \cdot \vec{T}_e$ and $\varphi = \vec{N} \cdot \vec{\varphi}_e$, where $\vec{T}_e$ is the nodal temperature vector, $\vec{\varphi}_e$ is the nodal electric potential vector and $\vec{N}$ is the FEM shape function vector. The resulting system of FEM equations is shown in Eq. (7):

$$\begin{bmatrix} C^{TT} & 0 \\ 0 & C^{\varphi\varphi} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \vec{T}_e \\ \vec{\varphi}_e \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} K^{TT} & 0 \\ K^{\varphi T} & K^{\varphi\varphi} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \vec{T}_e \\ \vec{\varphi}_e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vec{Q} + \vec{Q}^P + \vec{Q}^e \\ I \end{pmatrix} \tag{7}$$

where C^{TT} is the thermal damping matrix, $C^{\varphi\varphi}$ is the dielectric damping matrix, K^{TT} is the thermal stiffness matrix, $K^{\varphi T}$ is the Seebeck stiffness matrix, $K^{\varphi\varphi}$ is the electric stiffness matrix, $\vec{Q}$ is the combined heat generation load vector, $\vec{Q}^P$ is the Peltier heat load vector and $\vec{Q}^e$ is the electric power load vector.

The FEM model was used to design a curved substrate for TE curved and flat modules with dimensions of 30 × 30 × 0.8 mm^3 and a 4 × 4 × 6 mm^3 *p-n* couple of 11 pairs. The element size of the TE curved and flat modules was set to 0.4 mm, for which the ANSYS simulation software automatically generated 411,177 nodes/81,228 elements and 369,025 nodes/72,255 elements, respectively, as shown in Figs. 1a and 1c. The basic calculation parameters of the TE modules were assigned in the materials model tabulated in Tab. 1. A temperature gradient of 274–373 K was applied to the top side of the TE modules, and the bottom-side temperature was set at 295 K, as depicted in Figs. 1b and 1d. A load resistance was connected the first *p*-type TE module and the last *n*-type TE module and used to determine the electrical power.

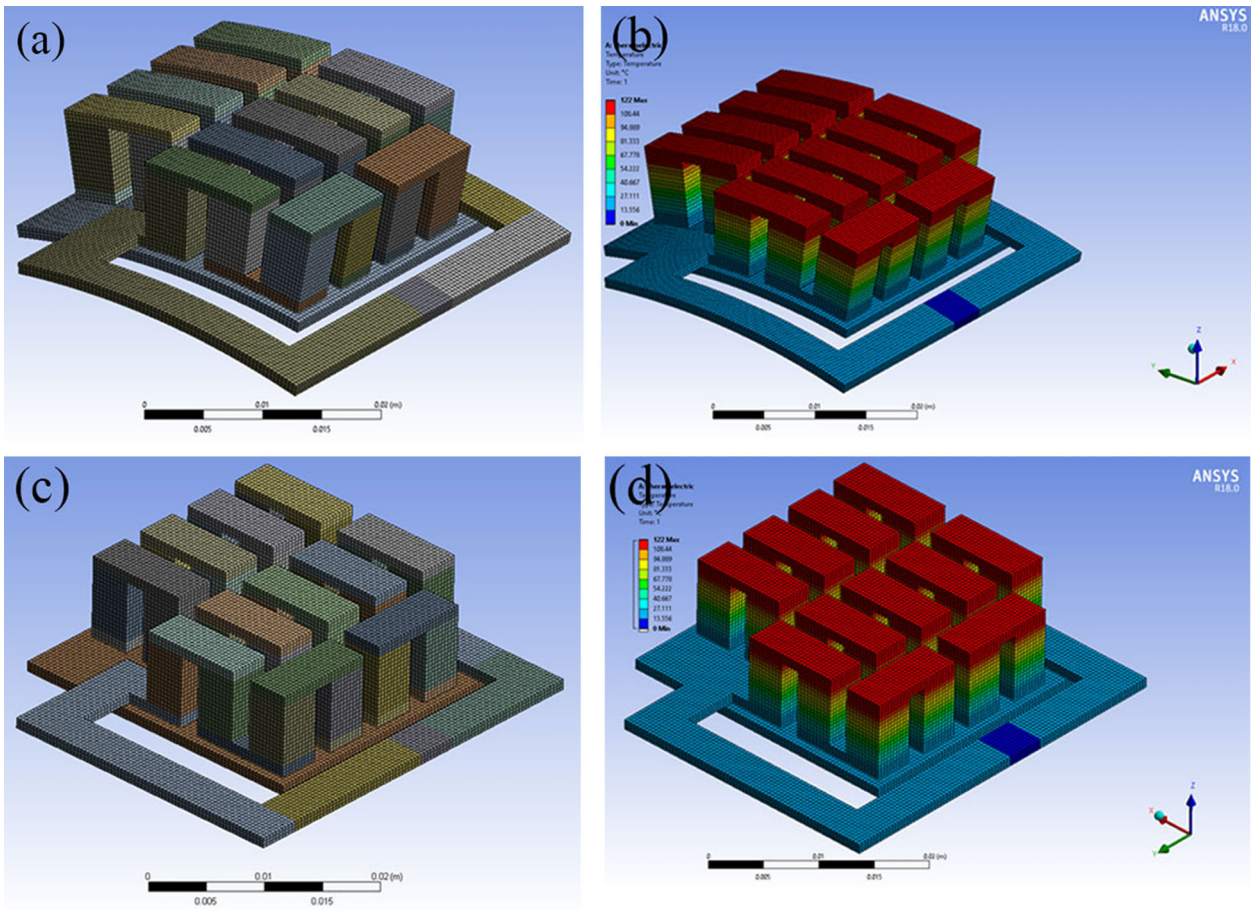


Figure 1: Design model of thermoelectric module: (a) Curved module and mesh, (b) Depiction of temperature gradient of curved modules, (c) Flat module and mesh, (d) Depiction of temperature gradient of flat modules; where calculations are performed using ANSYS for T_H = 395 K and T_C = 295 K

2.2 Fabrication of TE Modules and Measurement of Electricity Power Generation

The TE curved and flat modules were fabricated from 11 pairs of *p*-Sb_2Te_3 and *n*-Bi_2Te_3 junctions with dimensions of 4.0 × 4.0 × 6.0 mm^3 (Wuhan Xinrong New Materials Co. Ltd. of China); Tab. 1 shows the TE properties measured at room temperature using a ZEM-3 (UNVAC-RIKO, Japan). Fig. 2a is a schematic circuit for TE modules designed by Solid Work 2020, consisting of 11 *p-n* pairs connected in series with a 4 × 10 × 0.05 mm^3 silver electrode. Curved and flat substrates were fabricated by pressing $CaCO_3$ under 60 MPa into a 0.8–1.0 mm thickness, followed by sintering at 1,573 K in air. An Ag electrode was fabricated on the substrates by screen coating Ag paste onto the ceramic substrate, followed by drying at 423 K for 1 h

and annealing at 1,073 K for 30 min in air. The TE legs and the Ag electrode were soldered with lead free-solder (Sn/96.5%, Ag/3%, and Cu/0.5%), where the fabricated TE modules as presented in Figs. 2b and 2c.

Table 1: Basic simulation parameters of TE modules

Parameters	Temperature (K)	p Bi_2Te_3	n Sb_2Te_3	Connector	$CaCO_3$	Solder
Seebeck coefficient (V K^{-1})	300	2.04×10^{-4}	-1.72×10^{-4}	–	–	–
Resistivity (Ω m)	300	1.31×10^{-5}	1.12×10^{-5}	1.70×10^{-6}	–	1.23×10^{-10}
Thermal conductivity (W m^{-1} K^{-1}) [29]	325	0.90	0.98	40.00	2.25	55.00
	375	0.83	0.93			
	425	0.85	0.93			
	475	1.15	1.08			
Semiconductor leg length/width/height (mm)	–	4/4/6	4/4/6	–	–	–
Plate thickness (mm)	–	–	–	0.20	1.00	–

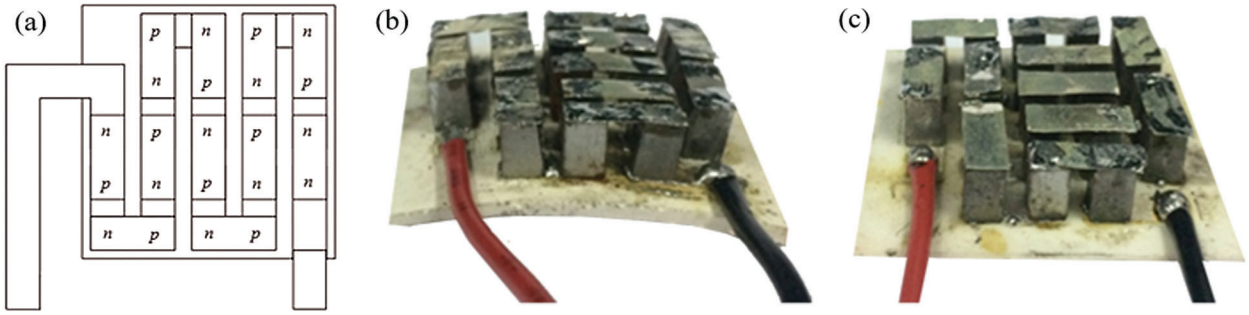


Figure 2: (a) Schematic circuit of TE modules; (b) Curved and (c) Flat fabricated TE modules

Fig. 3a is a schematic of an apparatus for measuring the electricity generated by the TE curved and flat modules that was designed using the thermoelectric consensual steady-state method. The measurement systems for the electricity generated by the TE curved and flat modules were set up following the schematic design for a ΔT range of 100 K with hot- and cold-side temperatures of 395 K and 295 K, respectively. Heating and cooling were controlled using a proportional integral derivative (PID) controller (error ± 5 K), which was installed following the shape of the TE substrate, as described in Figs. 3b and 4. Thermally conductive silicone was daubed on the top and bottom surfaces of the TE to reduce thermal contact resistance.

2.3 Fabrication of RT-TEG and Measurement of Electricity Power Generation

The RT-TEG was fabricated from curved and flat modules connected in series between p and n junctions that were filled with silicon to prevent heat loss and short circuiting; the bottom of the cold side was covered with aluminum foil to promote cooling as shown in Fig. 4(a). The RT-TEG was applied in a real situation, i.e., roof tile in a home. To consider the effects of the wind speed and temperature under the roof tile (See Fig. 4b), the experiments were conducted in triplicate for reliability.

2.4 Energy Conversion Efficiency of the System

One of the indicator to describe the performance of the RT-TEG is energy conversion efficiency. It was analyzed using Eq. (8).

$$\eta_c = \frac{\text{PoweroftheRT} - \text{REG}}{\text{Solarradiation} \times \text{AreaoftheRT} - \text{TEG}} \tag{8}$$

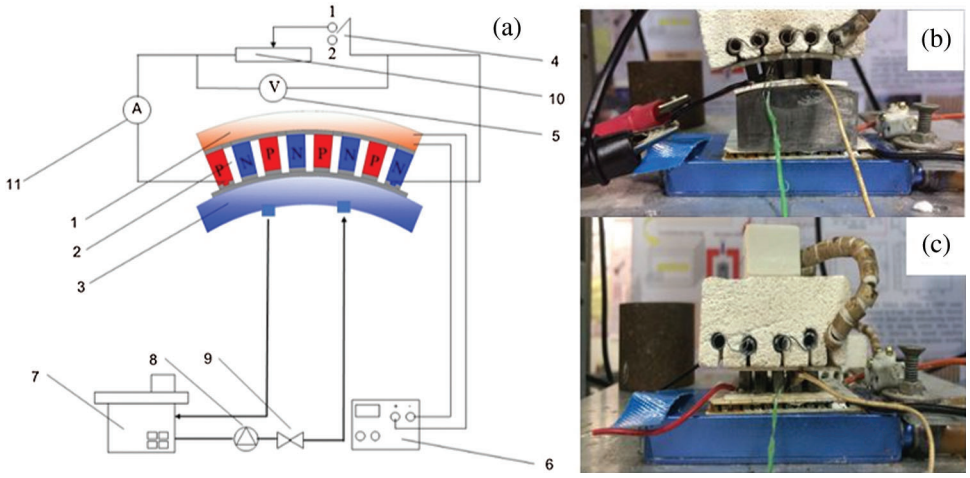


Figure 3: (a) Schematic for measuring electricity generation from flat and curved modules, where numbers denote system components: 1-heater, 2-TE module, 3-cooling system, 4-SPDT switch, 5-voltmeter, 6-PID electrical system, 7-constant temperature reservoir, 8-pump, 9-valve, 10-variable resistor, 11-amperemeter; (b) Curved module; and (c) Flat module

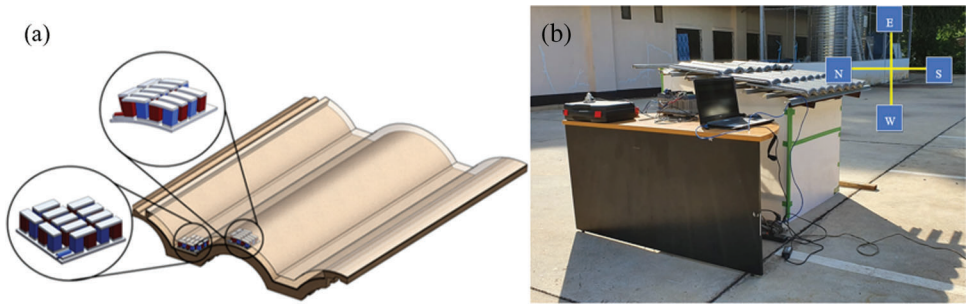


Figure 4: (a) TE consisting of curved and flat modules installed in roof tiles and (b) RT-TEG test station

3 Results and Discussion

3.1 Simulation and Experiments for TE Modules

The comparative discussion on the results from curved and flat modules are presented in Tab. 2. It can be seen that voltage derived from both modules are comparable and electrical power obtained from the curved module are slightly higher than that obtained from the flat module. Such a higher power is because the curve module provides the larger temperature difference which is a driving force for power generation.

The temperature-dependent TE properties of the *n*-Bi_2Te_3 and *p*-Sb_2Te_3 materials are shown in Figs. 5a and 5b, respectively. In Fig. 5a, the *S* values of *n*-Bi_2Te_3 decrease with increasing temperature from −250 μV K^{-1} at 310 K to −263 μV K^{-1} at 380 K. However, these values are higher than those reported by Go-Eun Lee et al. [19]. In Fig. 5b, the *S* value of *p*-Sb_2Te_3 increased with the temperature from 255 μV K^{-1} at 310 K to 268 μV K^{-1} at 380 K. The negative and positive values of *S* reflected the semiconducting behavior of the *n*-type and *p*-type TE materials, respectively. By contrast, ρ of both samples increased slightly with the temperature, indicating degenerate semiconducting behavior. As shown in Figs. 5a and 5b, the electrical resistivity of the *n*-Bi_2Te_3 and *p*-Sb_2Te_3 materials is 1.58×10^{-5} Ω m and 2.30×10^{-5} Ω m, respectively at 378 K. This behavior can be explained by considering the relationship between the Seebeck coefficient and the electrical resistivity, as defined by the Seebeck coefficient ($S = \Delta V / T_H - T_C$), which shows that

Table 2: The comparative discussion on the results from curved and flat modules tested at temperature difference of 373 K and load resistance of 1 Ω

Parameters	Curved module	Flat module
Simulation		
size (mm^3)	30 × 30 × 0.8	30 × 30 × 0.8
p-n couple	11 pairs	11 pairs
element size	0.4 mm	0.4 mm
nodes	411,177	369,025
elements	81,228	72,255
open circuit voltage	0.44	0.44
voltage	0.44	0.44
power (mW)	363.89	276.66
Fabrication		
open circuit voltage (V)	0.42	0.43
voltage (V)	0.43	0.40
power (mW)	80.67	77.68

S is inversely proportional to the carrier concentration. Consequently, the Seebeck coefficient increased with the electrical resistivity. The data presented in Figs. 5a and 5b are consistent with this equation. The power factors of *n*-Bi_2Te_3 and *p*-Sb_2Te_3 calculated by using $PF = S^2/p$ were 4.84×10^{-3} W m^{-1} K^{-2} and 3.89×10^{-3} Wm^{-1} K^{-2}, respectively, at 310 K.

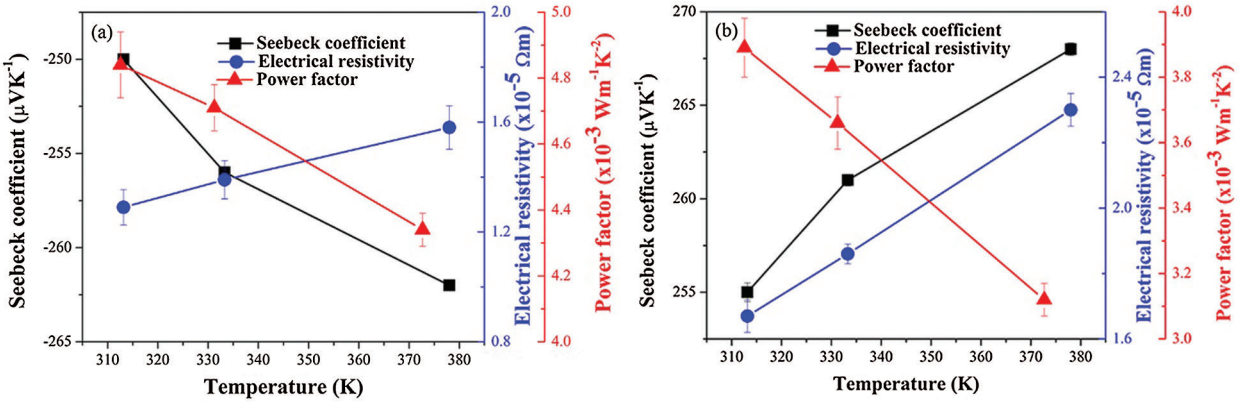


Figure 5: Temperature-dependent Seebeck coefficient, electrical resistivity and power factor of (a) *n*-type and (b) *p*-type materials

The voltage distribution of the TE curved and flat modules was simulated by setting constant temperatures of 395 K at the hot side and 295 K at the cold side and a 1-ohm external load resistance, as depicted in Figs. 6a and 6b, respectively. Similar evenly distributed voltage distributions were obtained for both modules, in agreement with Kossyvakis' results [30].

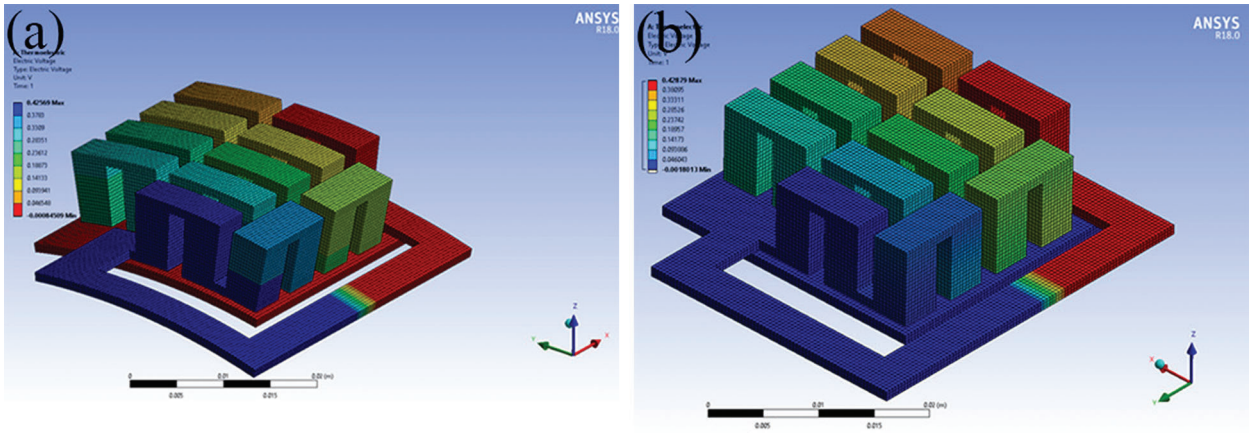


Figure 6: FEM results for voltage distribution of (a) Curved and (b) Flat modules for T_H = 395 K, T_C = 295 K and R_L = 1 Ω

The simulated and experimental open circuit voltage for the curved TE module increased with the temperature and exhibited different maximum values of approximately 0.44V and 0.42V at 373 K, respectively, as shown in Fig. 7a. The simulated and experimental open circuit voltage for the flat TE module increased with the temperature and exhibited different maximum values of approximately 0.44 V and 0.43 V at 373 K, respectively, as shown in Fig. 7b. Thus, the simulated open circuit voltages for the curved and flat TE modules differed by approximately 5–10% from the experimental values. Performing the experiments in an ambient atmosphere introduces error into the voltage measurement of the TE modules. However, this measurement is used to predict the real voltage and power for use in field studies. Moreover, the curved TE module exhibits good harvesting of heat energy from a curved substrate, which is similar to that of the flat TE module and shows the feasibility of using a curved module with a curved substrate.

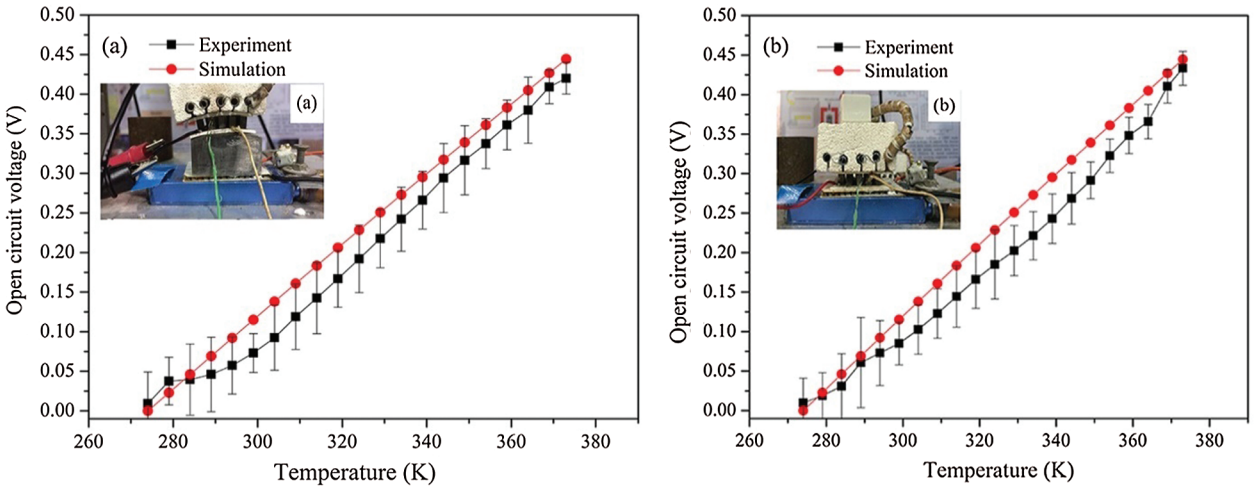


Figure 7: Comparison of measured and simulated results for open circuit voltage at outlet of (a) Curved modules and (b) Flat modules

The voltage and power of the curved and flat TE modules were measured at a ΔT of 373 K using a variable load resistance of 0–20 Ω and a fixed resistor. The electrical voltage of both modules increased with the load resistance, in agreement with results from the literatures [31–35] and the simulation, where maximum voltages of approximately 0.44 V and 0.42 V, respectively, were measured at a load resistance of 20 Ω, as presented in Fig. 8. The power of the curved and flat TE modules decreased as the load resistance increased, in agreement with the simulation results, and a maximum power of approximately 80 mW and 77 mW, respectively, was obtained at a load resistance of 1 Ω. These results showed that matching loads of approximately 1 Ω for the curved and flat TE modules, corresponding to an internal resistance of the TE modules of approximately 1.15 Ω.

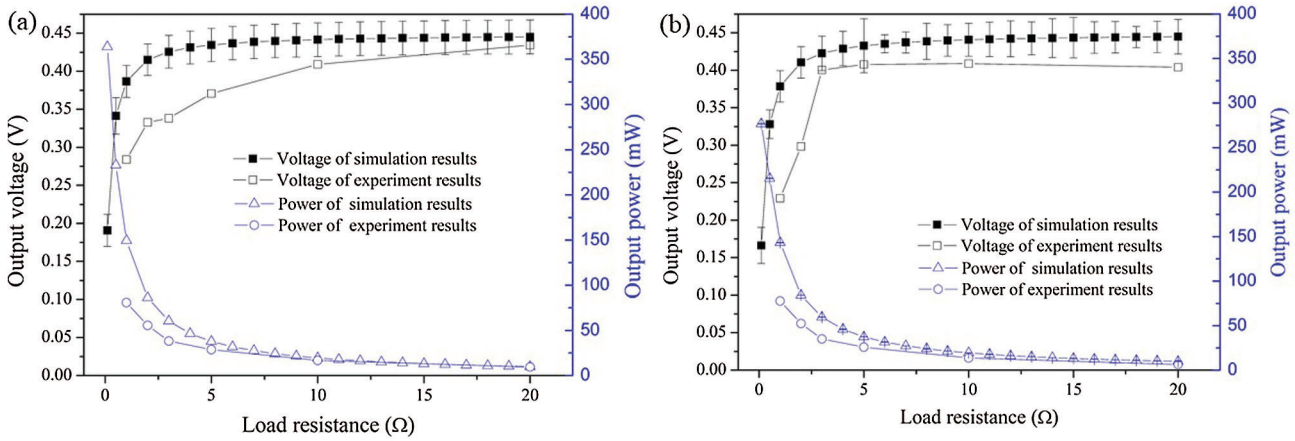


Figure 8: Comparison of numerically simulated and experimental voltage, power, and load resistance between (a) Curved and (b) Flat modules

Fig. 9 presents the daylight solar radiation and the corresponding temperature for roof tile during the experimental test, including the top-side temperature, the bottom-side temperature, and the induced temperature difference. The solar radiation at the start of daylight was approximately 200 Wm^{-2} at 06.00 hours, which induced a temperature difference of 1 K, and increased to a maximum of approximately 1,000 Wm^{-2} at 12.00–13.30 hours for a temperature difference of approximately 7 K. Clouds moved in at 14.30 hours, thereby decreasing the radiation intensity: The temperature was calculated using the Stefan-Boltzmann law for a diffuse black body system to be $T = (\frac{1059.4 Wm^{-2}}{\sigma_{SB}})^{1/4}$ = 369.7 K, assuming that all the incoming radiation was absorbed and reemitted, which is in agreement with results reported by Bjørk et al. [36]. The hot-side temperature of the roof tile was calculated using Eq. (9)

$$T_{hot} = T_{absorb} - T_{reflect} \tag{9}$$

where T_{hot}, T_{absorb}, and $T_{reflect}$ are calculated values for the hot-side temperature, the temperature resulting from absorbed radiation, and the temperature resulting from reflected radiation (approximately 45% glossy reflection) from the roof tile, respectively, resulting in a maximum hot-side temperature of approximately 326.7 K [37–39]. However, the temperature difference was not only directly dependent on the solar radiation but also on the wind speed and ambient temperature, which produced a small variation of approximately 35% in the induced temperature difference during the field tests.

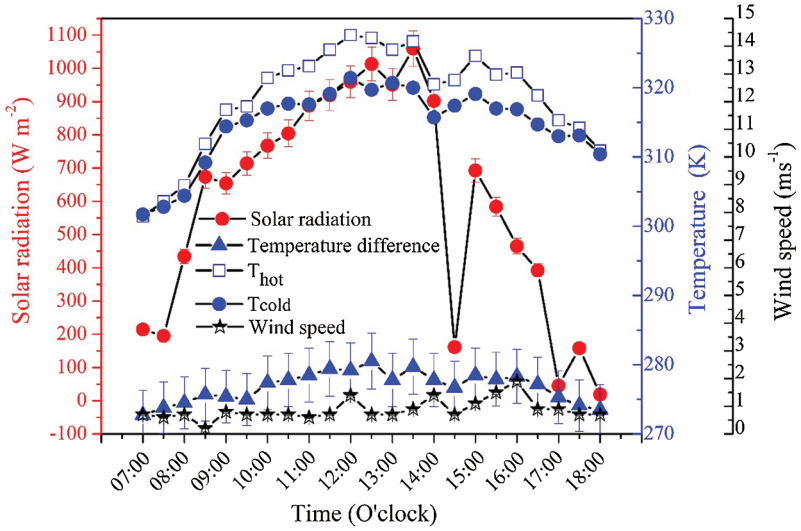


Figure 9: Relationship among solar radiation, temperature and wind speed obtained from field tests

Fig. 10 indicates how the different temperatures, power, and voltage of the RT-TEG varied during a field test conducted from 07.00–18.00 h. The different temperatures, power, and voltage increased with time until 13.00 h and then decreased. The maximum voltage and power of approximately 6.8 V and 46.24 μW, respectively, occurred at 13.00 h. Although, the power output was rather low, the results of the study are useful when using the large area, where the power output depends on the number of TE modules. Energy conversion efficiency of the system was also evaluated and it was found to be 2.24×10^{-4}.

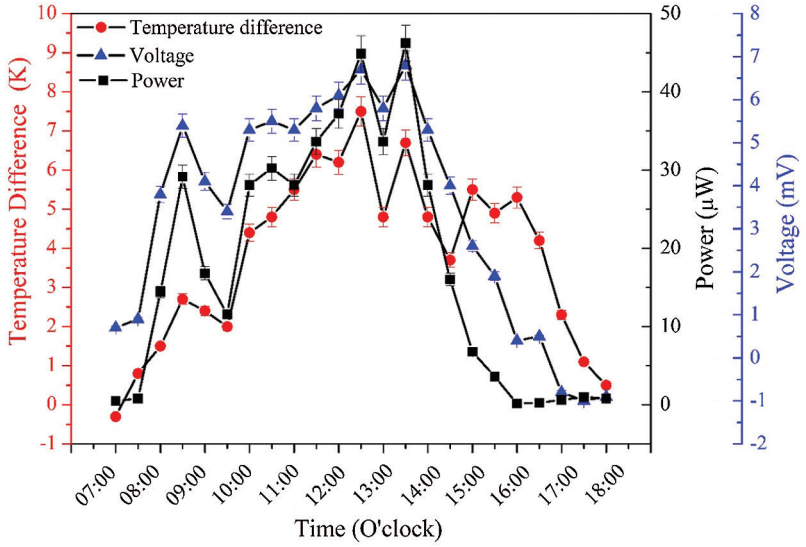


Figure 10: Electrical power and voltage of RT-TEG measured in field test

4 Conclusion

In this study, curved and flat modules were successfully fabricated from *p*-Sb_2Te_3 and *n*-Bi_2Te_3 materials. A single-phase microstructure was obtained, and the measured TE properties for the *p*- and

n-type materials corresponded with literature data. The maximum voltages of the curved and flat TE modules were approximately 0.44 V and 0.42 V, respectively, over a load resistance of 1–20 Ω. The power of the curved and flat TE modules decreased as the load resistance increased, in agreement with simulation results, and exhibited maximum values of approximately 80 mW and 77 mW, respectively at matching load resistances of 1 Ω. The solar intensity, electrical voltage, and power output of the RT-TEG measured in field tests increased with time until 1:30 pm and then decreased. The maximum voltage and power output of the RT-TEG were approximately 6.80 mV and 46.24 μW, respectively, under a load resistance of 1 Ω and the solar intensity of 1,059.40 W m^{-2}. Thus, it is feasible to use curved and flat modules in roof tile: The number of modules can be increased to cover the entire surface area to increase electric power generation, and these modules could also be installed on other curved areas, such as in a furnace tube.

Funding Statement: This work has financial supported by the Thailand Research Fund (TRF) Research Career Development Grant: (RSA6180070).

Conflicts of Interest: The authors declare that they have no conflicts of interest to report regarding the present study.

References

1. Pesch, U., Correljé, A., Cuppen, E., Taebi, B., van de Grift, E. (2017). Formal and informal assessment of energy technologies. In: Asveld, L., van Dam-Mieras, R., Swierstra, T., Lavrijssen, S., Linse, K., van den Hoven, J. (eds.), *Responsible innovation*. vol. 3, pp. 131–148. Cham: Springer.
2. Deng, W., Xu, K., Xiong, Z., Chaiwat, W., Wang, X. et al. (2019). Evolution of aromatic structures during the low-temperature electrochemical upgrading of bio-oil. *Energy & Fuels, 33(11),* 11292–11301. DOI 10.1021/acs.energyfuels.9b03099.
3. Goudarzi, A. M., Mazandarani, P., Panahi, R., Behsaz, H., Rezania, A. et al. (2013). Integration of thermoelectric generators and wood stove to produce heat, hot water, and electrical power. *Journal of Electronic Materials, 42(7),* 2127–2133. DOI 10.1007/s11664-013-2545-8.
4. O'Shaughnessy, S. M., Deasy, M. J., Kinsella, C. E., Doyle, J. V., Robinson, A. J. (2013). Small scale electricity generation from a portable biomass cookstove: Prototype design and preliminary results. *Applied Energy, 102(5726),* 374–385. DOI 10.1016/j.apenergy.2012.07.032.
5. Shittu, S., Li, G., Akhlaghi, Y. G., Ma, X., Zhao, X. et al. (2019). Advancements in thermoelectric generators for enhanced hybrid photovoltaic system performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 109(590),* 24–54. DOI 10.1016/j.rser.2019.04.023.
6. Choi, Y., Negash, A., Kim, T. Y. (2019). Waste heat recovery of diesel engine using porous medium-assisted thermoelectric generator equipped with customized thermoelectric modules. *Energy Conversion and Management, 197(116),* 111902. DOI 10.1016/j.enconman.2019.111902.
7. Abbasi, V., Tabar, V. S. (2020). Measurement and evaluation of produced energy by thermoelectric generator in vehicle. *Measurement, 149(4),* 107035. DOI 10.1016/j.measurement.2019.107035.
8. You, H. J., Chu, H. S., Li, W. J., Lee, W. L. (2019). Influence of different substrate materials on thermoelectric module with bulk legs. *Journal of Power Sources, 438,* 227055. DOI 10.1016/j.jpowsour.2019.227055.
9. Wu, F., Wang, W., Hu, X., Tang, M. (2017). Thermoelectric properties of I-doped n-type Bi_2Te_3-based material prepared by hydrothermal and subsequent hot pressing. *Progress in Natural Science: Materials International, 27(2),* 203–207. DOI 10.1016/j.pnsc.2017.02.009.
10. Mei, D., Wang, H., Yao, Z., Li, Y. (2018). Ultrasonic-assisted hot pressing of Bi_2Te_3-based thermoelectric materials. *Materials Science in Semiconductor Processing, 87,* 126–133. DOI 10.1016/j.mssp.2018.07.019.
11. Lv, T., Li, Z., Liu, Y., He, J., Zhou, D. et al. (2019). Improving thermoelectric performance of $(Bi_{0.2}Sb_{0.8})_2(Te_{0.97}Se_{0.03})_3$ via Sm-doping. *Journal of Alloys and Compounds, 787,* 909–917. DOI 10.1016/j.jallcom.2019.02.187.
12. An, J., Han, M. K., Kim, S. J. (2019). Synthesis of heavily Cu-doped Bi_2Te_3 nanoparticles and their thermoelectric properties. *Journal of Solid State Chemistry, 270,* 407–412. DOI 10.1016/j.jssc.2018.11.024.

13. Min, B., Lim, S. S., Jung, S. J., Kim, G., Lee, B. H. et al. (2018). Texture-induced reduction in electrical resistivity of p-type $(Bi,Sb)_2Te_3$ by a hot extrusion. *Journal of Alloys and Compounds, 764,* 261–266. DOI 10.1016/j.jallcom.2018.06.026.
14. Li, D., Qin, X. Y., Zhang, J., Song, C. J., Liu, Y. F. et al. (2015). Thermoelectric anisotropy of n-type $Bi_2 Te_{3-x}Se_x$ prepared by spark plasma sintering. *RSC Advances, 5(54),* 43717–43722. DOI 10.1039/C5RA04435A.
15. Jiang, J., Chen, L., Bai, S., Yao, Q., Wang, Q. (2005). Thermoelectric properties of textured p-type $(Bi,Sb)_2Te_3$ fabricated by spark plasma sintering. *Scripta Materialia, 52(5),* 347–351. DOI 10.1016/j.scriptamat.2004.10.038.
16. Lu, Z., Zhang, H., Mao, C., Li, C. M. (2016). Silk fabric-based wearable thermoelectric generator for energy harvesting from the human body. *Applied Energy, 164(5),* 57–63. DOI 10.1016/j.apenergy.2015.11.038.
17. Francioso, L., de Pascali, C., Farella, I., Martucci, C., Cretì, P. et al. (2011). Flexible thermoelectric generator for ambient assisted living wearable biometric sensors. *Journal of Power Sources, 196(6),* 3239–3243. DOI 10.1016/j.jpowsour.2010.11.081.
18. Kim, S. J., We, J. H., Cho, B. J. (2014). A wearable thermoelectric generator fabricated on a glass fabric. *Energy & Environmental Science, 7(6),* 1959–1965. DOI 10.1039/c4ee00242c.
19. Kim, Y. J., Gu, H. M., Kim, C. S., Choi, H., Lee, G. et al. (2018). High-performance self-powered wireless sensor node driven by a flexible thermoelectric generator. *Energy, 162,* 526–533. DOI 10.1016/j.energy.2018.08.064.
20. Luo, X., Guo, Q., Tao, Z., Liang, Y., Liu, Z. (2020). Modified phase change materials used for thermal management of a novel solar thermoelectric generator. *Energy Conversion and Management, 208,* 112459. DOI 10.1016/j.enconman.2019.112459.
21. Muthu, G., Thulasi, S., Dhinakaran, V., Mothilal, T. (2020). Performance of solar parabolic dish thermoelectric generator with PCM. *Materials Today: Proceedings.*
22. Lv, S., He, W., Hu, Z., Liu, M., Qin, M. et al. (2019). High-performance terrestrial solar thermoelectric generators without optical concentration for residential and commercial rooftops. *Energy Conversion and Management, 196,* 69–76. DOI 10.1016/j.enconman.2019.05.089.
23. Maneewan, S., Khedari, J., Zeghmati, B., Hirunlabh, J., Eakburanawat, J. (2004). Investigation on generated power of thermoelectric roof solar collector. *Renewable Energy, 29(5),* 743–752. DOI 10.1016/j.renene.2003.10.005.
24. Zheng, X. F., Yan, Y. Y., Simpson, K. (2013). A potential candidate for the sustainable and reliable domestic energy generation–Thermoelectric cogeneration system. *Applied Thermal Engineering, 53(2),* 305–311. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2012.03.020.
25. Antonova, E. E., Looman, D. C. (2005). Finite elements for thermoelectric device analysis in ANSYS. *24th International Conference on Thermoelectrics,* pp. 215–218. IEEE.
26. Singsoog, K., Pilasuta, P., Paengson, S., Namhongsa, W., Ruamruk, S. et al. (2019). Theoretical simulation of thermoelectric generator consisting of n-Mg_2Si and p-$MnSi_{1.75}$ by finite element method. *Materials Today: Proceedings, 17,* 1437–1443. DOI 10.1016/j.matpr.2019.06.165.
27. Benday, N. S., Dryden, D. M., Kornbluth, K., Stroeve, P. (2017). A temperature-variant method for performance modeling and economic analysis of thermoelectric generators: Linking material properties to real-world conditions. *Applied Energy, 190(2),* 764–771. DOI 10.1016/j.apenergy.2016.12.157.
28. Hyland, M., Hunter, H., Liu, J., Veety, E., Vashaee, D. (2016). Wearable thermoelectric generators for human body heat harvesting. *Applied Energy, 182(4),* 518–524. DOI 10.1016/j.apenergy.2016.08.150.
29. Lee, H., Sharp, J., Stokes, D., Pearson, M., Priya, S. (2018). Modeling and analysis of the effect of thermal losses on thermoelectric generator performance using effective properties. *Applied Energy, 211,* 987–996. DOI 10.1016/j.apenergy.2017.11.096.
30. Kossyvakis, D. N., Vossou, C. G., Provatidis, C. G., Hristoforou, E. V. (2015). Computational and experimental analysis of a commercially available Seebeck module. *Renewable Energy, 74(1–4),* 1–10. DOI 10.1016/j.renene.2014.07.024.
31. Rowe, D. M., Min, G. (1998). Evaluation of thermoelectric modules for power generation. *Journal of Power Sources, 73(2),* 193–198. DOI 10.1016/S0378-7753(97)02801-2.

32. Chávez-Urbiola, E. A., Vorobiev, Y. V., Bulat, L. P. (2012). Solar hybrid systems with thermoelectric generators. *Solar Energy, 86(1),* 369–378. DOI 10.1016/j.solener.2011.10.020.
33. Admasu, B. T., Luo, X., Yao, J. (2013). Effects of temperature non-uniformity over the heat spreader on the outputs of thermoelectric power generation system. *Energy Conversion and Management, 76(12),* 533–540. DOI 10.1016/j.enconman.2013.08.004.
34. Xiao, J., Yang, T., Li, P., Zhai, P., Zhang, Q. (2012). Thermal design and management for performance optimization of solar thermoelectric generator. *Applied Energy, 93,* 33–38. DOI 10.1016/j.apenergy.2011.06.006.
35. Liao, M., He, Z., Jiang, C., Li, Y., Qi, F. (2018). A three-dimensional model for thermoelectric generator and the influence of Peltier effect on the performance and heat transfer. *Applied Thermal Engineering, 133,* 493–500. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2018.01.080.
36. Bjørk, R., Nielsen, K. K. (2018). The maximum theoretical performance of unconcentrated solar photovoltaic and thermoelectric generator systems. *Energy Conversion and Management, 156,* 264–268. DOI 10.1016/j.enconman.2017.11.009.
37. Hu, J., Yu, X. (2019). Thermo and light-responsive building envelope: Energy analysis under different climate conditions. *Solar Energy, 193,* 866–877. DOI 10.1016/j.solener.2019.10.021.
38. Park, S. I., Ryu, T. H., Choi, I. C., Um, J. S. (2019). Evaluating the operational potential of LRV signatures derived from UAV imagery in performance evaluation of cool roofs. *Energies, 12(14),* 2787. DOI 10.3390/en12142787.
39. Pisello, A. L., Rossi, F., Cotana, F. (2014). Summer and winter effect of innovative cool roof tiles on the dynamic thermal behavior of buildings. *Energies, 7(4),* 2343–2361. DOI 10.3390/en7042343.

PAPER • **OPEN ACCESS**

Synthesis and Characterization of Activated Carbon from Water Hyacinth

To cite this article: W Ananpreechakorn and T Seetawan 2021 *J. Phys.: Conf. Ser.* **2013** 012025

View the article online for updates and enhancements.

You may also like

- Stress recovery and cyclic behaviour of an Fe–Mn–Si shape memory alloy after multiple thermal activation
E Hosseini, E Ghafoori, C Leinenbach et al.
- Preparation of Chitosan-Based Activated Carbon and Its Electrochemical Performance for EDLC
Yonghui Hu, Haibo Wang, Lufeng Yang et al.
- Preparation of Scallion-Derived Porous Carbon with Regular Pore Structure for High-Performance Supercapacitors
Chuanlin Song, Han Kuihua, Yang Gao et al.

This content was downloaded from IP address 202.29.24.197 on 22/08/2022 at 06:23

Synthesis and Characterization of Activated Carbon from Water Hyacinth

W Ananpreechakorn[1,2] and T Seetawan[1,2]

[1] Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Rd., Mueang District, Sakon Nakhon, 47000, Thailand

[2] Battery Research Laboratory, Centre of Excellence on Alternative Energy, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Rd., Mueang District, Sakon Nakhon, 47000, Thailandy

E-mail: t_seetawan@snru.ac.th

Abstract. Water hyacinth-based activated carbon (denoted as ACWH) with porous has the chemical and thermal activation of the material. The chemical and thermal activation were synthesized by chemical types used for activation process, activation time, temperature, carbonization time. Which the temperature for the thermal activation process was optimized to produce size activated carbon (AC). The crystal structure, microstructure and chemical composition of activated carbon was characterized by X-ray diffraction (XRD), field emission scanning electron microscope (FE-SEM) and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS), respectively. It was found that the performance of the activated carbon shows mixed phase of carbon (90%) and graphite (10%).

1. Introduction

Water Hyacinth (WH), one of the common aquatic. WH was utilized as a precursor to synthesize activated carbon. Activated Carbon (AC) is widely chosen with the consideration of its low-cost production. It is synthesized through the two-step process: carbonization of carbon sources and activation process [1]. AC has shown remarkable properties and has been widely applied in many research fields to produce a variety of products such as electronic devices, field emitters, hydrogen storages, composite materials, biosensors, fuel cells and capacitors. The process of carbon activation that can be regulated to produce large of specific surface area and specific pore size makes the activation process a topic of research for many experts [2]. Some carbon activation process parameters such as carbon sources, activator mass ratio, and activation temperatures contribute to the specific surface area [3]. AC can be synthesized from various carbon sources such as petroleum pitches and various kinds of organic waste (banana skin [4], watermelon [5], sorghum pith [6], and rice husk [7]). Availableness, production costs, and the potential of SSA are considered in the selection of carbon sources. WH is a water plant originating from the Nong Han Lake, Sakon Nakhon, Thailand. They are found in almost all freshwater ecosystems in the world. Its uncontrolled growth causes various ecosystem problems such as eutrophication and blockage of waterways. Although, behind its shortcomings, its abundant availability and low utilization make water hyacinth a suitable carbon source for batteries as its low-cost production. Consequently, AC synthesis from water hyacinth by

Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.
Published under licence by IOP Publishing Ltd

chemical and physical process, which is simple and convenient for mass production. This method is a cost-effective and user-friendly technique. With the progress of science and technology, it is found that AC seems to contain unlimited possibilities of development.

In this study, synthesis and characterization of activated carbon from Water Hyacinth was started with the carbonization and continued by the activation process using chemical activation with activator agent Hydrochloric acid (HCL). During the activation, the temperature was varied to obtain the optimal specific surface area. AC produced was characterized using XRD and FE-SEM

2. Materials and methods

The water hyacinth stem (WHs) samples were taken from the Nong Han Lake, Sakon Nakhon, Thailand. The samples were washed the sludge off the surface in order to make the water hyacinth clean for about 7 days to ensure complete removal of surface water. Next, the sample was cut into small pieces 2 cm and dried in sunlight for a week and dried in an oven at 90 ˚C for 2 hours in Figure 1. The dried water hyacinth was then kept in a desiccator use for the preparation of activated carbon using physical and chemical methods [8]. Finally, the samples were stored in a desiccator until needed.

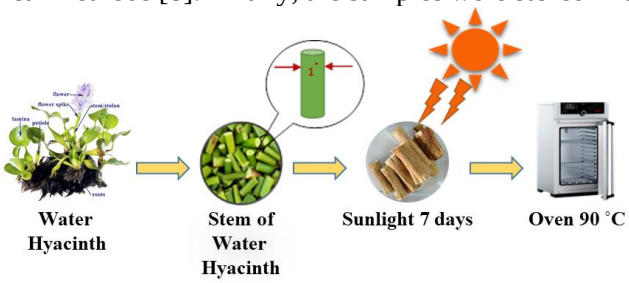


Figure 1. Schematic illustration of the preparation process of dried Water Hyacinth

The dried water hyacinth was treated with concentrated Hydrochloric acid (HCL) in the ratio 1:2 (w/w). The contents were kept in without air for about 24 hours. Then, the sample was washed distilled water to pH 7. The activation results were dried in an oven 90 ˚C for 2 hours. The dried material was then slow pyrolysis at 600 ˚C for 1 hour with a ramping temperature of 3˚C/min under Argon (Ar) atmosphere at a flow rate of 0.3 L/min [9]. Finally, it was introduced into a milled and sieved into smaller sizes in the range of 3–5 mm. The proximate analysis and elemental analysis of water hyacinth are shown in Figure 3. Table 1 reveals the chemical element measurement mean score of Carbon Water Hyacinth (WHc) with SEM-EDS test. Those chemical substances including carbon (C), oxygen (O), potassium (K), chlorine (Cl), calcium (Ca), sodium (Na) and magnesium (Mg).

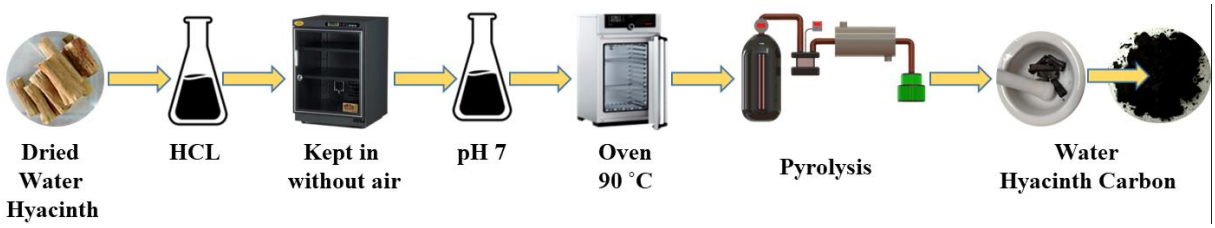


Figure 2. Schematic illustration of the preparation process of Water Hyacinth Carbon

Table 1. Show the elemental analysis and proximate analysis of water hyacinth stem on dry basis.

Elemental analysis (wt, %)		Elemental analysis (wt, %)	
C	58.86	Ca	4.60
O	14.23	Pt	2.14
K	10.18	Na	0.76
Cl	8.64	Mg	0.59

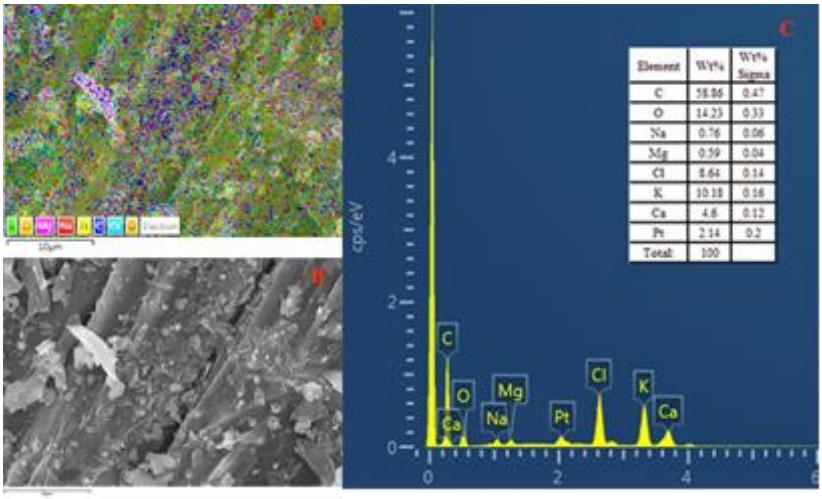


Figure 3. EDS elemental Mapping of the water hyacinth on dry basis (A) The corresponding elemental mapping of C, O, Na, Mg, Cl, K and Ca respectively. (B) SEM image and (C) EDS spectrum of WHc

The powder XRD patterns of the WHc and the composite of WHc are shown in Figure 4. The XRD pattern of pristine composite shows diffraction peaks at 2θ degree of 24.48°, 28.34°, 40.50°, 50.16°, 58.64°, 66.38° and 73.73° can be indexed as (111), (200), (220), (222), (400), (420) and 422 planes of standard KCl (JCPDS Card No. 00-041-1476). Thus, WHc heat treatment 600 °C has cubic structure with lattice parameter a = 0.6287 nm. By without evident diffraction plane of carbon, when increasing heat treatment temperature over 900 °C, the planarity increases and the imperfection density within the layers decreases. The planarity of the layers begin to be established leading to the production of (hkl) diffraction lines.

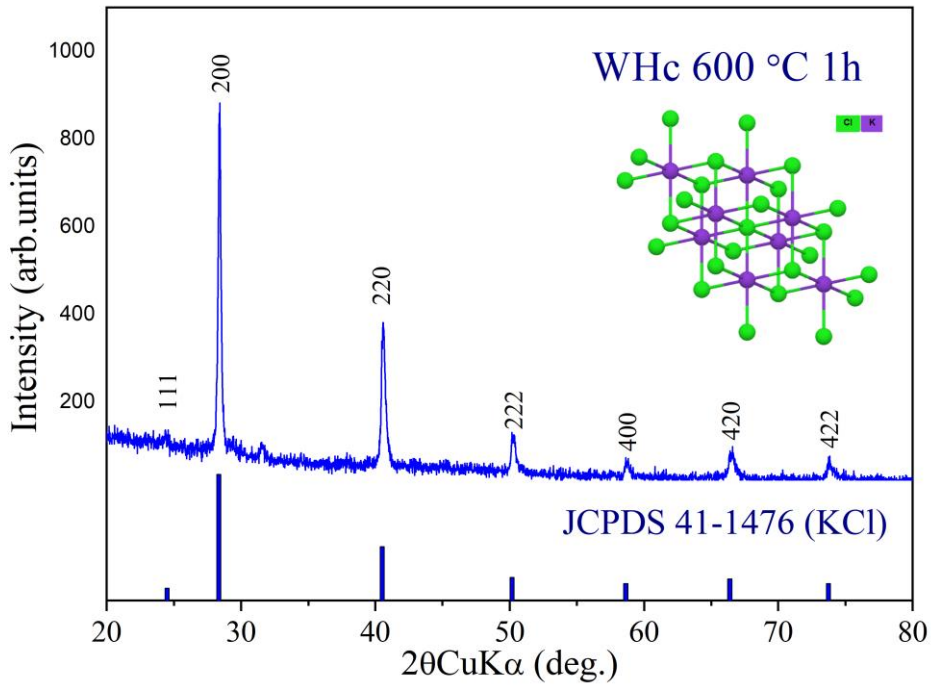


Figure 4. Powder XRD of WHc at 600 ˚C for 1h in an argon flow 0.3 L/min.

The unique microstructure of WHc bodes well for the preparation of large porous sheet-like carbon materials and the preparation procedures that are schematically illustrated in Figure 5 are simple, economical, and environmentally friendly. Then the sample was smoothed with a grinder and sifted using a Shaker 75 No. 200 mesh sieve and then fast pyrolysis at five different holding temperatures, such as, 600 ˚C, 800 ˚C, 1000 ˚C, and 1200 ˚C for 1 hour with a ramping temperature of 3˚C/min, under argon atmosphere at a pressure under 0.05 MPa. Argon (Ar) atmosphere at a flow rate of 0.3 L/min. The water hyacinth derived activated carbon (ACWH), then denoted as WHc600, AC600, AC800, AC1000, and AC1200, respectively, according to its activation temperature. The sample was treated with concentrated Potassium Hydroxide (KOH) in the ratio 1:2 (w/w) in air for about 2 hours. Then, the sample was washed deionized (DI) water to pH 7 to obtain Activated Carbon Water Hyacinth (ACWH).

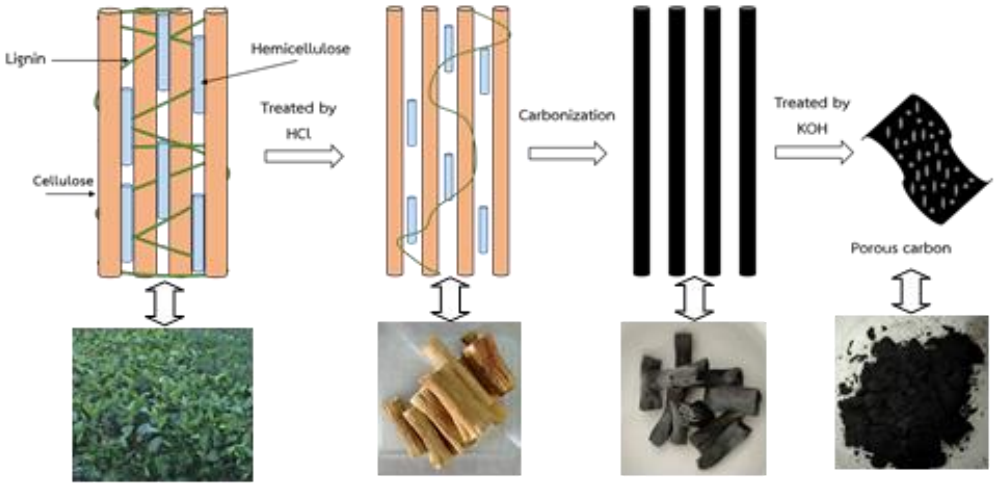


Figure 5. Schematic illustration of the preparation process of ACWH.

The morphology consideration and quantitative of samples were observed using scanning electron microscopy (SEM-EDS: JSM-7610F Plus) with an accelerating voltage of 15 kV. X-ray Diffractometer (XRD) of ACWH samples was performed on an X-ray Diffractometer (XRD: SHIMADZU-6100, Cu k radiation voltage 40 kV current 30 mA).

3. Results and Discussion

The powder XRD patterns of the ACWH are shown in Figure 6. The XRD pattern of pristine ACWH shows two weak diffraction peaks at 2θ degree of 23.40˚, 44.02˚ and 77.42˚ which can be attributed to plan (002), (100) and (110) crystal planes of partially activated carbon graphitized with the amorphous character [10]. The XRD spectrum of WHc600, AC600, AC800, AC1000 and AC1200 also show a broad peak located around 2 theta 20˚ ~ 30˚, which originated from the graphene structure [11] [12]. The broad (002) diffraction peak found on WHc600, AC600, AC800, AC1000 and AC1200 also indicates the presence of the amorphous structure of carbon.

To examine the morphology of activated carbon particles from different treatments, a field emission scanning electron microscope (FE-SEM) test was conducted. Figure 7 shows the morphology of ACWH samples with 1200 ˚C. The proximate analysis and elemental analysis of ACWH are shown in Figure 7. Table 2 reveals the chemical element measurement mean score of ACWH with FE-SEM test. Those chemical substances including carbon (C), oxygen (O) and potassium (K).

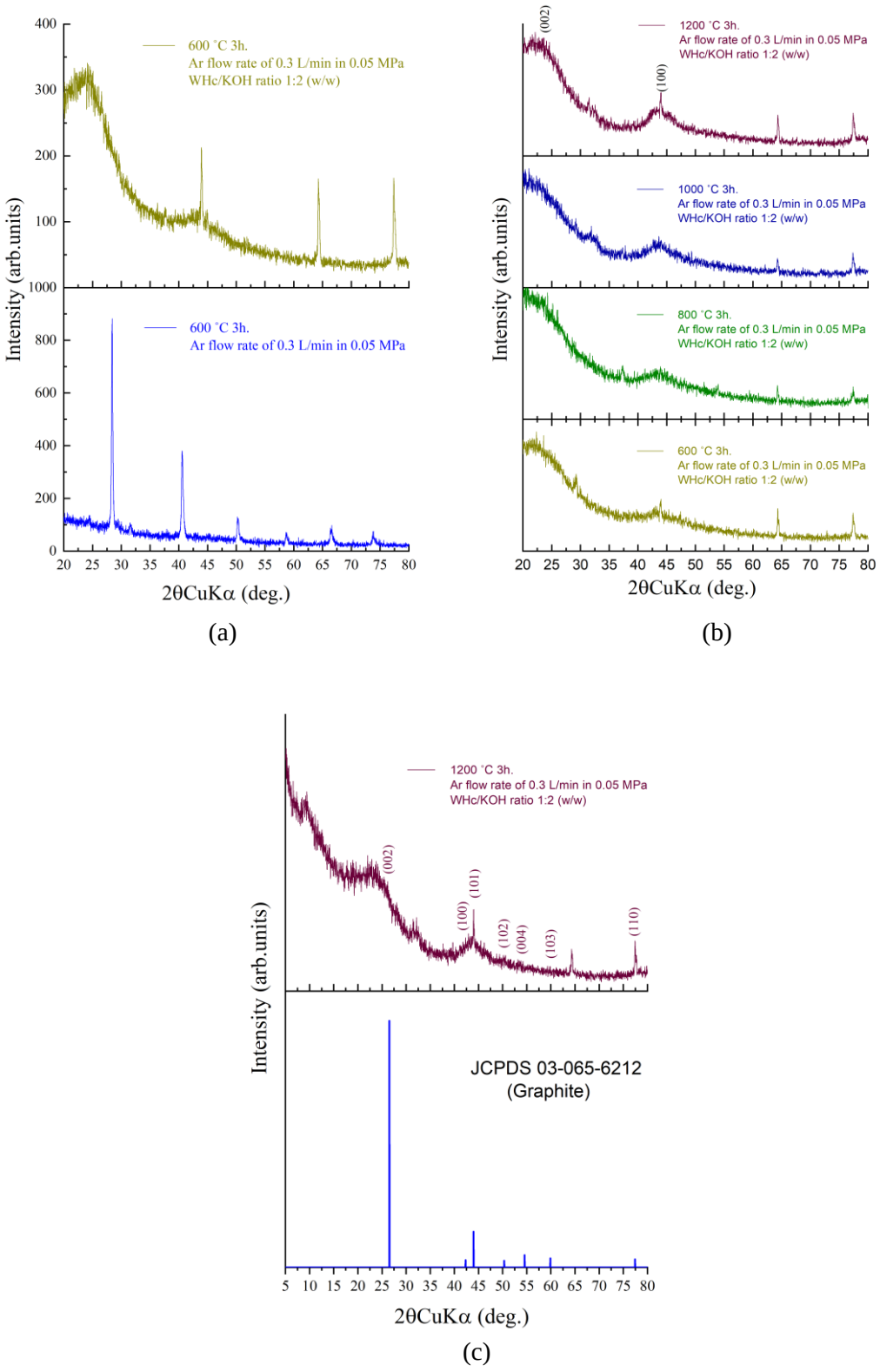


Figure 6. XRD pattern of sample (a) WHc600 and AC600 (b) AC800, AC1000 and AC1200 (c) AC1200

Table 2. Shows the elemental analysis and proximate analysis of ACWH.

Elemental analysis (wt, %)	
C	94.64
O	1.77
K	0.55
Total	100

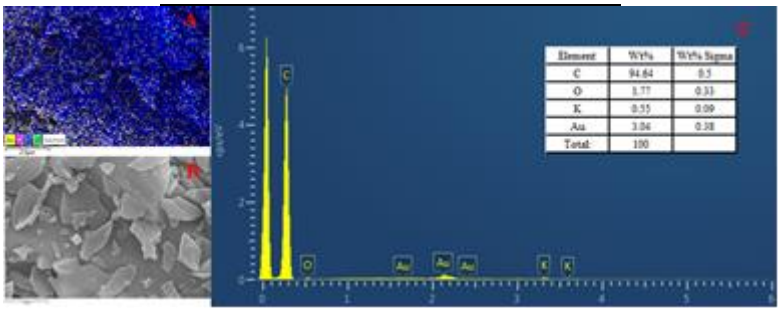


Figure 7. EDS elemental Mapping of the water hyacinth on dry basis (A) The corresponding elemental mapping of C, O and K respectively. (B) SEM image and (C) EDS.

4. Conclusion

We can synthesize the AC from water hyacinth using slow-fast pyrolysis and chemical activation with activator agent hydrochloric acid. The crystallography of AC shows the main phase of carbon and small phases of graphite. The microstructure of AC has size and shape of small, thin and aggregate closely related to each other and the reduced percentage of oxygen elements in carbon and graphite.

References

[1] S. T. Senthilkumar, B. Senthilkumar, S. Balaji, C. Sanjeeviraja and R. K. Selvan, "Preparation of activated carbon from sorghum pith and its structural and electrochemical properties," *Materials Research Bulletin*, vol. 46, no. 3, pp. 413-419, 2011.

[2] A. N. A. El-Hendawy, "An insight into the KOH activation mechanism through the production of microporous activated carbon for the removal of Pb2+ cations," *Applied Surface Science*, vol. 255, no. 6, pp. 3723-3730, 2009.

[3] J. Wang and S. Kaskel, "KOH activation of carbon-based materials for energy storage," *Journal of Materials Chemistry*, vol. 22, no. 45, pp. 23710-23725, 2012.

[4] X. L. Wu, T. Wen, H. L. Guo, S. Yang, X. Wang and A. W. Xu, "Biomass-Derived Sponge-like Carbonaceous Hydrogels and Aerogels for Supercapacitors," *ACS Nano*, vol. 7, no. 4, p. 3589–3597, 2013.

[5] W. Xuyu, S. Wang, X. Yin, J. Chen and L. Zhu, "Activated Carbon Preparation from Cassava Residue Using a Two-Step KOH Activation: Preparation, Micropore Structure and Adsorption Capacity," *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, no. 8, pp. 35-42, 2014.

[6] E. M. L. e. al., "High-Density Sodium and Lithium Ion Battery Anodes from Banana Peels," *ACS Nano2014*, vol. 8, no. 7, pp. 7115-7129, 2014.

[7] C. J. e. al., "Sustainable, inexpensive, naturally multi-functionalized biomass carbon for both Li metal anode and sulfur cathode," *Energy Storage Mater*, vol. 15, pp. 218-225, 2018.

[8] K. Wu, B. Gao, J. Su, X. Peng, X. Zhang, J. Fu, S. Peng and P. K. Chu, "Large and porous carbon sheets derived from water hyacinth for high-performance supercapacitors," *RSC Advances*, vol. 6, no. 36, pp. 29996-30003, 2016.

[9] J. Paduraksa, M. Luthfi, A. Verdianto, A. Subhan, W. B. Widayatno, B. Prihandoko, E. Kartini and C. Hudaya, "Preparation of Activated Carbon Derived from Water Hyacinth as Electrode

Active Material for Li-Ion Supercapacitor," *Materials Science Forum,* vol. 1000, pp. 50-57, 2020.

[10] R. SIBURIAN, H. SIHOTANG, S. L. RAJA, M. SUPENO and C. SIMANJUNTAK, "New Route to Synthesize of Graphene Nano Sheets," *ORIENTAL JOURNAL OF CHEMISTRY,* vol. 34, no. 1, pp. 182-187, 2018.

[11] S. Woo, Y. R. Kim, T. D. Chung, Y. Piao and H. Kimc, "Synthesis of a graphene–carbon nanotube composite and its electrochemical sensing of hydrogen peroxide," *Electrochimica Acta,* vol. 59, no. 1, pp. 509-514, 2012.

[12] F. T. Johra, J. W. Lee and W. G. Jung, "Facile and safe graphene preparation on solution based platform," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry,* vol. 20, no. 5, pp. 2883-2887, 2014.

PAPER • **OPEN ACCESS**

Solar Cell Water Pump Mobile for Agriculture in Thailand

To cite this article: Kongphope Cha-ar-mart *et al* 2021 *J. Phys.: Conf. Ser.* **2013** 012019

View the article online for updates and enhancements.

You may also like

- Research on Parallel Operation Characteristics of High-pressure Pumps Applied in Coal Mine Hydraulics permeability improvement
Kai Shen, Wei Xiong, Quanbin Ba et al.
- Simulation-based optimization of the control strategy of variable-frequency chilled water pump in data center: A case study in Beijing
L W Chong, J W Huang, Q Liu et al.
- Reliability Analysis on Water Pumps in Water Supply System in Johor
A H Alshaari and M E Nor

This content was downloaded from IP address 202.29.24.197 on 22/08/2022 at 06:24

Solar Cell Water Pump Mobile for Agriculture in Thailand

Kongphope Cha-ar-mart[1,*], Kittiwath Jeebkaew[1], Archsuek Mameekul[1], Kunchit Singsoog[2], and Tosawat Seetawan[3]

[1]Program of Electrical and Electronics, Faculty of Industrial Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon Province, Saskon Nakhon, 47000, Thailand
[2]Thermoelectric Research Laboratory, Center of Excellent on Alternative Energy, Research and Development Institute, Sakon Nakho Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon Province, Saskon Nakhon, 47000, Thailand
[3]Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakho Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon Province, Saskon Nakhon, 47000, Thailand

*Corresponding Author: kongphope@snru.ac.th, Tel. +66-42-970053

Abstract. The water pump has been supported by agriculturalist to control the quantity of water with agriculture. However, the water pump used oil or electrical energy which increased cost of agriculturalist and some area no have electricity or far from the marsh. We proposed the innovative mobile solar cell water pump which clean energy for solving the problem of no electricity, agricultures far from water and pumping water ground and underground. It was found that the mobile solar cell water pump can tacking: Z-axis 0-70° and X-axis 0-360°, changing battery storage: 24 V; 50 Ah and moving anywhere by agriculturalist control. The stroke pump can pump water 3000 L/h and transfer water 200 m to agricultural area which easily and low cost maintenance by agriculturalist. The microcontroller system like artificial intelligence (AI) is shown on the monitor of electrical power, electromotive force, electrical current, water flow rate, and quantity water.

1. Introduction

The world these days is suffering from a shortage of freshwater resources. Water demand all over the world is increasing because of population growth, industry, agriculture, and tourism development. To solve the critical water problem, countries must start searching for ways to optimize available conventional water resources and get the maximum benefit from the unconventional water resources [1].

Across the agricultural sector in developing countries, access to irrigation is an important step in improving agriculturist livelihoods and productivity as it increases production yields. The value of irrigation is dependent on rainfall patterns. For example, in a climate like Thai's where a four-month-long monsoon season is followed by eight months of little or no rain, irrigation makes the agriculturist's land available for cultivation for three seasons instead of two, significantly improving their productivity and income. Many other countries may experience a season that is drier than others and while their

Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.
Published under licence by IOP Publishing Ltd

rainfall patterns allow them to cultivate year-round, irrigation can significantly improve yields, and provide a wider variety of crop options.

Pumping water from either surface sources such as ponds, lakes, and canals, or ~~from~~ underground through open wells or deeper borewells, is the primary driver for irrigation. These pumps come in a variety of power sources, including hand pumps, diesel pumps, grid-tied electric pumps, and solar pumps [2 - 4].

In Thailand, access to irrigation is seen as a policy priority for meeting important development objectives. Yet, significant roadblocks exist, for example, weak water markets and fragmented institutional coordination and implementation. Further, the environmental impacts of expanding irrigation have raised concerns about over-extraction of groundwater, which has become the dominant irrigation source, especially in the presence of a lack of political and social incentives to institute efficient irrigation practices namely, pricing water to reflect its true value [5 - 9]. Nadia M. Eshra *et al*. were used solar energy in drainage pumping stations to saving water and reducing CO_2 emission [10]. The better efficiency of solar energy was developed by a tracking system with two sensors; the first sensor for finds the location of the sun and second the sensor for sensing whether it is day or night (Pavushetti Abhilash). The different pumping heads (50 m, 60 m ,and 70 m) and for 8S × 3P PV array configuration is various to considering a submersible type variable speed DC water pump system and found a lower pump head results in higher flow rate regardless of the variation in solar irradiation level. The obtained result also indicated that an increase in solar radiation intensity resulted in an increase in the pump flow rate, pump efficiency, and system performance [11].

In this context, solar pumping has been identified as a desirable technological solution. For instance, one research group found that out of four renewable energy technologies for irrigation, solar-powered pumps seemed to have the highest utilization potential across Thailand

We proposed the solar cell water pump mobile has the following objectives:

(1) To study the Thai-agriculturist community context, (2) To design and fabrication solar cell water pump mobile, and (3) To propagate and transfer solar cell water pump mobile to Thai-agriculturist community are shown in Fig.1. This invention aims to solve the critical water problem of the Thai-agriculturist community which the general solar system insulation cannot move, and the solar panel angle cannot be adjusted. Some areas no electricity consumption system and no energy storage system and no water content system.

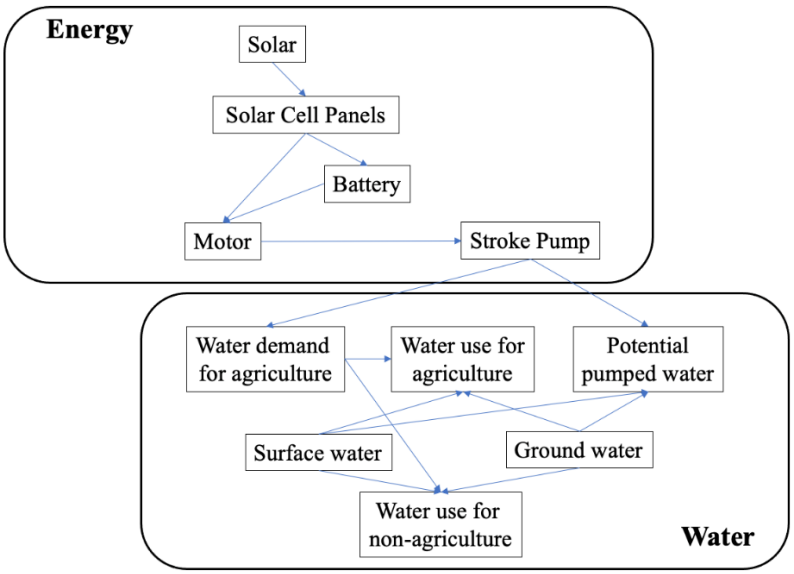


Fig. 1 The research concept using solar cell energy for pumping surface and groundwater.

2. Materials and Methodology

We study the Thai-agriculturist community context of agricultural products using surface water and groundwater problems. Figure 2 shows the sketch of the solar cell water pump mobile design composed of two systems: (1) cart, photovoltaic module (JY330P72; Guangdong Jinyuan Lighting Technology. Co., Ltd.), brushless DC motor (BLDC-500W-24V; POERSINO), and stroke pump (5100L; Kobota) can easily move by wheels go to a water source and agricultural area. The top side is composed of two solar panels of 660 W and the bottom side of the solar panels can adjusted the angle for tacking solar by rotated the cart. The advantaged stoke pump is a long horizontal and vertical transfer of surface water and good pumping groundwater. (2) solar cell charger, battery, monitor, and microcontroller to charge deep cycle battery storage, shows working electricity system of electrical power, electromotive force, electrical current. Moreover, the water flow rate was evaluated by a microcontroller and sensing to monitor. Propagate and transfer solar cell water pump mobile to Thai-agriculturist community total 70 devices. The solar cell water pump mobile was laboratory testing in center of excellence on alternative energy (CEAE) at Sakon Nakhon Rajabhat University (SNRU), filed testing at learning center to increase the efficiency of agricultural products in Thailand measured panel voltage and current of solar cell and water pump and sensor flow rate and quantity of water used for agriculture as shown in Fig. 3.

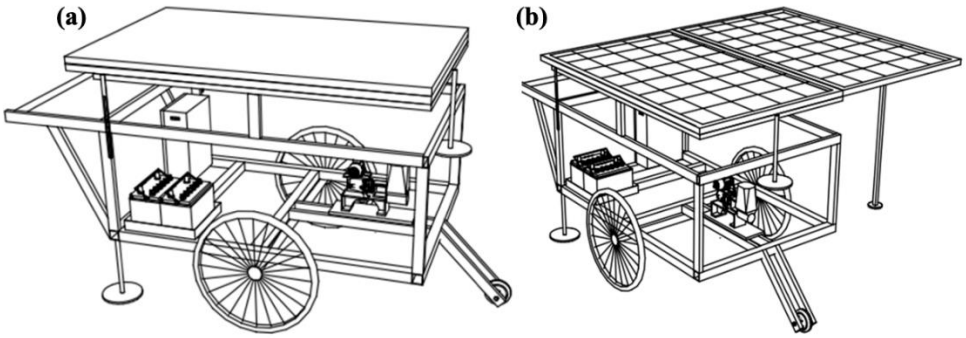


Fig. 2 Sketch of the solar cell water pump mobile design (a) side fold solar cell panels and (b) front fill out solar cell panels.

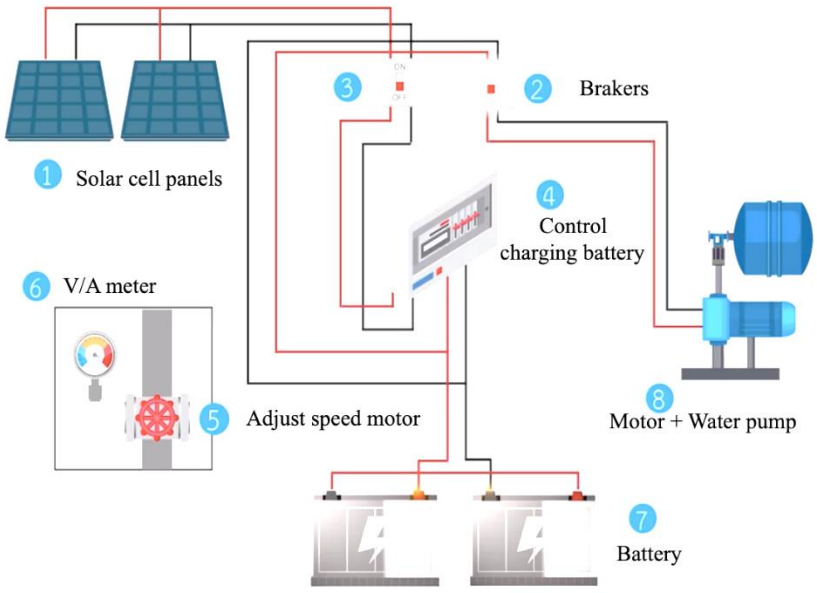


Fig. 3 The solar cell water pump mobile circuits.

3. Results and Discussion

3.1. *Thai-agriculturist community context*

We study the context of the Thai-agriculturist community to investigate water pumps supporting agricultural products and make data analysis are shown in Fig. 2.

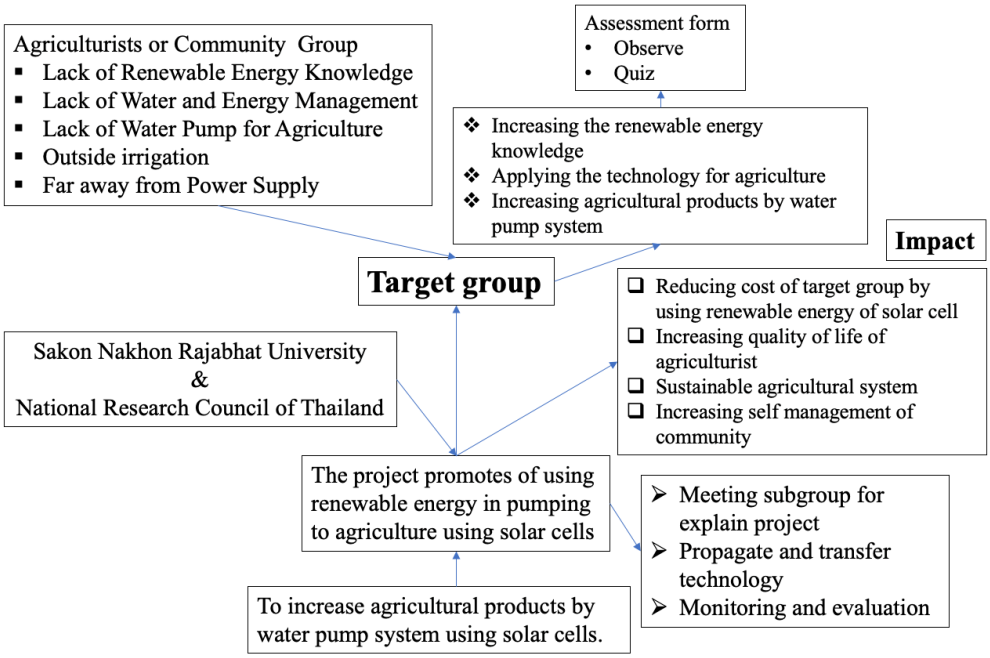


Fig. 4 The target and impact of the project promote ~~of~~ using renewable energy in pumping to agriculture using solar cells.

3.2. *Design and fabrication of solar cell water pump mobile*

The solar water pump mobile was fabricated by following the sketch and circuit design: there composed of brushless DC motor (24 V) 500 W, polycrystalline solar cell (330 W) two panels total 660 W, stroke pump 1 inch tagged pulley to high speed and highest torque, deep cycle battery (45 Ah) two batteries to good discharge and storage total 24 V, and flow rate sensor for monitoring water quantity are shown Fig. 5 However, the water quantity was depended on a pipe of stroke pump for example 1, 1.5, and 2 inches.

Fig. 5 The solar cell water pump mobile components.

The CEAE team attempted to gather data on as many pumps as possible in the field, resulting in a sample size of 3 pumps, owned by 200 agriculturists. The measured data included the number of turns in one minute (rpm), adjusting solar cell panels angle (°), maximum safe pumping rate (l/min), total amount water required per day (l), total water quantity, pump efficiency (%), minimum pump size (hp), and maximum pump size (hp), as shown in Table 1.

Table 1 Performance of solar cell water pump mobile.

Parameters	**Performance**
Outlet pipe of stroke pump	1 in
Maximum horizontal water transfer	250 m
Maximum vertical water transfer	10 m
Maximum pumping ground water	15 m
Maximum pumping for full battery	*2* h *40* mins
Brushless DC motor	*24* V *500* W
The number of turns in one minute	*4*86 rpm
Adjusting solar cell panels angle	0 – 70o
Maximum safe pumping rate	52 l/min
Total amount water required per day (8 h)	24960 l
Total water quantity	3.12 m3/h
Pump efficiency	60%
Total efficiency system	33.39%
Total hydraulic head	8
Minimum pump size	0.47 hp
Maximum pump size	0.67 hp

Figure 6 shows the recorded instantaneous flow rate and time (3 h) for pumping water. We selected this system because it was also tested in the lab. As with the laboratory data, the total head ,and flow rate 40 - 50 l/min, respectively. As expected, the performance of the solar cell water pumps in the field is significantly reduced when compared to the laboratory data, this is assumed to be due to general usage. The average efficiency was 60 % again this low efficiency is attributed to the harsh nature of the environment. On average, the Thai- agriculturist reported growth the Legumes, chili, and grass expected solar cell water pump lifetime to be 2 - 3 years before needing replacement due to rust. Note that the lifetime of structural components in a harsh environment is extremely difficult to measure in a laboratory and speaks to the importance of field research. Therefore, with ~~an~~ extremely limited sample size and no available performance data on the same solar cell water pumps used in different environments, these results must be taken with a suitable for agriculture that does not use a lot of water.

The pump efficiency (η_p) is given by the following equation [11]:

$$\eta_p = \frac{P_h}{P_e} \tag{1}$$

where P_h is hydraulic power output of stoke pump and P_e is electrical power input to the stroke pump.

The total efficiency (η_{sys}) is given by the following equation [11].:

$$\eta_{sys} = \frac{P_h}{G \times A_{array}} \tag{2}$$

The total hydraulic head (H) is given by the following equation [11]:

$$H = \frac{P_h}{\rho Q g} \tag{3}$$

where $\rho$is fluid density, $Q$is flow rate and $g$is gravitational constant.

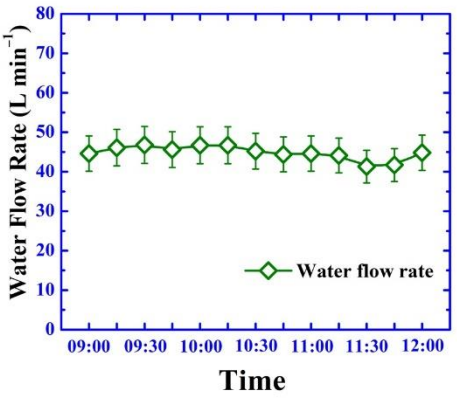


Fig. 6 The relationship between time and water flow rate of pumping water.

We design a diagram of microcontroller components of solar cell water pump mobile by using the sensor to send data of speed motor, voltage solar cell, current solar cell, flow rate water, volume as shown in Fig. 7 and Fig. 8.

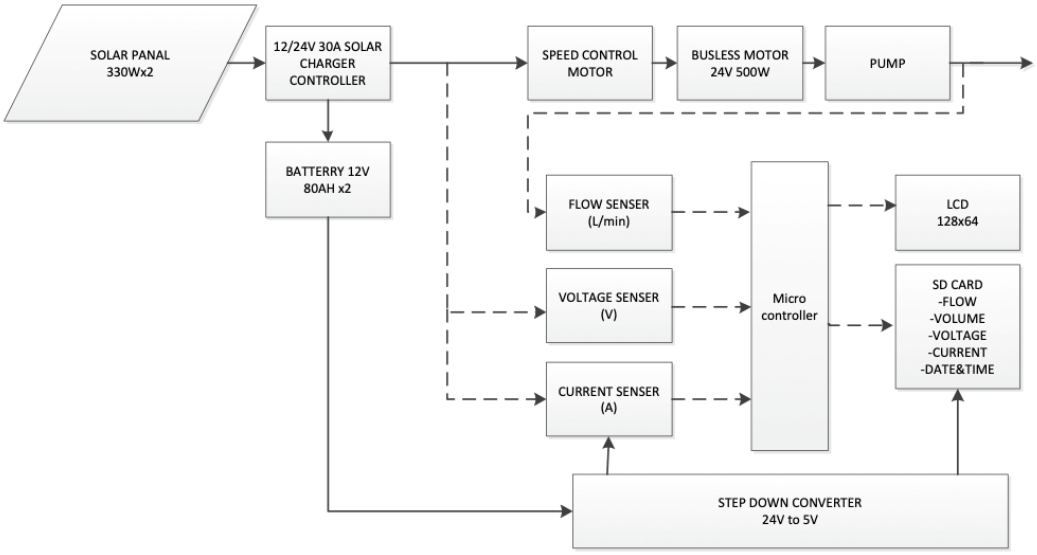


Fig. 7 The relationship between time and water flow rate of pumping water.

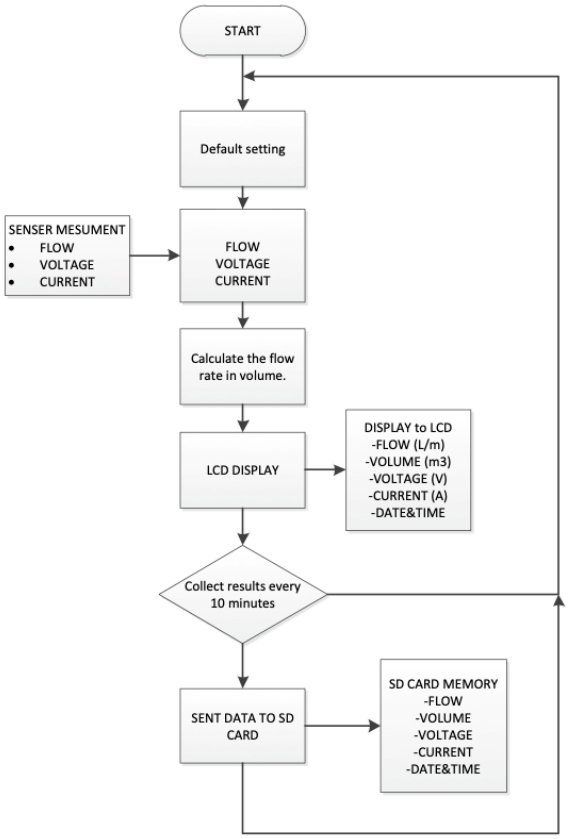


Fig. 8 The relationship between time and water flow rate of pumping water.

3.3. *Propagate and transfer the solar cell water pump mobile*

We selected the learning center to increase the efficiency of agricultural products groups in Thailand for propagate and transfer the solar cell water pump mobile. They can propagate and apply knowledge and solar cell technology to another agricultural device are shown in Fig. 9.

Fig. 9 Propagate and transfer solar cell water pump mobile to Thai-agriculturist community.

4. Conclusion

The solar cell water pump mobile was developed solar cell panels with stroke pump to solve critical water problem and managements surface water and groundwater of Thai-agriculturist. The solar cell water pump mobile can long horizontally water transfer about 350 m, highest vertical water transfer about 10 m, maximum safe pumping rate around 3000 *l*/h, and total amount water required per day about 24960 *l* which therefore suitable for agriculture that does not use a lot of water enough such as Legumes, chili, and grass. The learning center to increase the efficiency of agricultural products in Thailand can propagate and apply knowledge and solar cell technology to another agricultural device. In future work, the solar cell water pump mobile will be controlled by smartphone a likely artificial intelligence for setup demand of quantity water of agriculturist.

5. Acknowledgements

This project was financial supported by the National Research Council of Thailand (NRCT) and Internal Security Operations Command (ISOC).

References

[1] Beithou N. Non-conventional water resources - review and developments. Int J Res Sci 2015;3(1):1–8.
[2] Chandel SS, Nagaraju Naik M, Chandel Rahul. Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. Renew Sustain Energy Rev 2015;49:1084–99.
[3] Elias M. Salilih, Yilma T. Birhanec, Sofiya H. Arshi, Performance analysis of DC type variable speed solar pumping system under various pumping heads, Solar Energy 208 (2020) 1039–1047, https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.071
[4] Frank M. White.,2017. Fluid Mechanics, 8th edition in SI Units. McGraw-Hill, New York.
[5] Verma, S., Mishra, S., Chowdhury, S., Gaur, A., Mohapatra, S., Soni, A., & Verma, P. (2020). Solar PV powered water pumping system–A review. Materials Today: Proceedings.
[6] Tiwari, A. K., Kalamkar, V. R., Pande, R. R., Sharma, S. K., Sontake, V. C., & Jha, A. (2020). Effect of head and PV array configurations on solar water pumping system. Materials Today: Proceedings.
[7] Korpale, V.S., Kokate, D.H., Deshmukh, S.P., 2016. Performance assessment of solar agricultural water pumping system. Energy Procedia 90 (2016), 518–524.
[8] Soteris Kalogirou ., 2017. McEvoy's Handbook of Photovoltaics, Third Edition: Fundamentals and Applications. Elsevier Science;Academic Press.
[9] Sontake, V., Kalamkar, V., 2016. Solar photovoltaic water pumping system – a comprehensive review. Renew. Sustain. Energy Rev. 59 (2016), 1038–1067,
[10] Nadia M. Eshra, Mariam G. Salem, Solar Energy Application in Drainage Pumping Stations to Save Water and Reducing CO2 Emission, Energy Reports 6 (2020) 354–366, https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.08.056.
[11] Elias M. Salilih, Yilma T. Birhane, Sofiya H. Arshi, Performance analysis of DC type variable speed solar pumping system under various pumping heads, Solar Energy 208 (2020) 1039–1047, https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.071
[12] Pinamonti, M., Beausoleil-Morrison, I., Prada, A., & Baggio, P. (2021). Water-to-water heat pump integration in a solar seasonal storage system for space heating and domestic hot water production of a single-family house in a cold climate. Solar Energy, 213, 300-311.
[13] Chahartaghi, M., & Nikzad, A. (2021). Exergy, environmental, and performance evaluations of a solar water pump system. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 43, 100933.
[14] Salilih, E. M., Birhane, Y. T., & Arshi, S. H. (2020). Performance analysis of DC type variable speed solar pumping system under various pumping heads. Solar Energy, 208, 1039-1047.
[15] Singh, D. B., Mahajan, A., Devli, D., Bharti, K., Kandari, S., & Mittal, G. (2021). A mini review

on solar energy based pumping system for irrigation. Materials Today: Proceedings.
[16] Sezen, K., Tuncer, A. D., Akyuz, A. O., & Gungor, A. (2021). Effects of ambient conditions on solar assisted heat pump systems: A review. Science of The Total Environment, 146362.
[17] Hao, W., Zhang, H., Liu, S., Mi, B., & Lai, Y. (2021). Mathematical modeling and performance analysis of direct expansion heat pump assisted solar drying system. Renewable Energy, 165, 77-87.

PAPER • **OPEN ACCESS**

Investigation of Cu_2ZnSnS_4 film by Simple Flow-Coating Technique

To cite this article: Nattee Khotummee *et al* 2021 *J. Phys.: Conf. Ser.* **2013** 012018

View the article online for updates and enhancements.

You may also like

- The Influence of Removal of Secondary Phases and Dissolution By-Product from the Surface of Cu_2ZnSnS_4 Film on the Photoelectrochemical Response of This Film
P. Kalinauskas, E. Norkus, Z. Mockus et al.
- Electrodeposition of Cu-Zn-Sn Precursors from an Acidic Solution for Cu_2ZnSnS_4 Absorber Layers
Begum Unveroglu and Giovanni Zangari
- Current-voltage characteristics of Cu_2ZnSnS_4 absorber layer for energy harvesting devices
V Baskaran and S Sakthivel

This content was downloaded from IP address 202.29.24.197 on 22/08/2022 at 06:25

Investigation of Cu_2ZnSnS_4 film by Simple Flow-Coating Technique

Nattee Khotummee[1,*], Theerawut Sumphao[1], Tosawat Seetawan[2]

[1]Optic Research Laboratory, Center of Excellent on Alternative Energy, Research and Development Institute, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000 Thailand
[2]Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakho Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon Province, Saskon Nakhon, 47000 Thailand

***Corresponding Author: nuttee@snru.ac.th**

Abstract. This present study aims to investigate a Cu_2ZnSnS_4 (CZTS) film obtained by simple flow-coating technique using with CZTS precursor solution synthesized by non-vacuum sol-gel process and annealing without sulfurization. The precursor solution was prepared by mixture $CuCl_2$, $ZnCl_2$ $SnCl_2$ and CH_4N_2S molar to obtain the ion of Cu, Zn, Sn and S. The CZTS film was investigated by using XRD, FE-SEM, and UV-Visible Spectroscopy, respectively. The XRD results show main peak at the angle 28.48° according with (112) plane on the kieserite phase of tetragonal structure, crystallite size average about ~ 103.137 ± 0.9788 nm. The surface morphology was observing microscopic porosity structure of the particles and cross-section achieve a film thickness of approximately 32.92 ± 0.62 μm. The EDX result was revealed that whereas the composition nonuniformity from the simple flow-coating process. The optical properties show band gap energy quite close to the optimum value ~ 1.518 eV, good optical absorption (~10^5 cm^{-1}). These characteristics make the simple fabrication CZTS film suitable material as an absorber layer in photovoltaic.

1. Introduction

The quaternary compounds of copper zinc tin sulfide (Cu_2ZnSnS_4: CZTS) have been considered as one of the most promising to development on photovoltaic materials due to direct band gap energy of ~1.4 − 1.6 eV [1 − 6], large absorption coefficient (>10^4 cm^{-1}) [7, 8], nontoxic and earth-abundant and environmentally benign Sn and Zn constituent [1, 9]. In the current have many techniques can employed to elaborate CZTS films such as electrochemical deposition [10, 11], thermal evaporation [12 − 14], magnetron sputtering [15, 16], SILAR [17, 18], co-evaporation [19, 20], chemical bath deposition [21, 22], electron beam evaporation [23, 24], pulsed laser deposition [25, 26,], and solution-based technique. The solution-based approach for coating CZTS film most often used, spray pyrolysis [27, 28], dip-coating [29, 30], ink-jet printing [31], spin coating [32, 33] and screen printing [34, 35]. The best efficiency of CZTS solar cell applications groups was use solution-based has been already proposed efficiency up to 12.6% [36]. The solution was prepared by the simplest sol-gel method to high high-quality CZTS. However, the flow coating method is one method for not required heating or rotating the substrate, reduce material, low-costs, and certain conditions during coating.

Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.
Published under licence by IOP Publishing Ltd

In this paper, we will focus on the fabrication the CZTS film deposition flow coating with precursor solution synthesis by sol–gel method on the glass substrates to study the structural, morphological, and optical properties to find the possibility of developing the light absorber layer for solar cells with low-cost method in the future.

2. Materials and Methods

2.1 Synthesis of CZTS Solution

The CZTS solution complex were synthesis by the sol-gel process prepared CZTS films were synthesis by sol-gel process using with a precursor source of Cu, Zn, Sn, S such as 0.02 mol $CuCl_2{\cdot}H_2O$ (QRëC, 99.99%), 0.01 mol $ZnCl_2$ (QRëC, 99.99%), 0.01 mmol $SnCl_2{\cdot}H_2O$ (QRëC, 99.99%), and 0.04 mmol $SC(NH_2)$ (HiMedia, 99.9%), mixed into $C_3H_8O_2$ (2-methoxyethanol: 2-metho, QRëC, 99.99%) 50 mL stirrer for 1 h at 60 °C to gives the clear homogeneous solutions and drop few drop 1 mL C_2H_7NO (mono-ethanolamine: MEA, Sigma Aldrich, 99.99%) continued stirrer for 5 min to clear yellow solution, curing the CZTS solution at room temperature for 24 h to condensation reactions. After curing, the molecules of the ionic compounds will bond together more densely, as evaporation of single aerosol droplets containing mixtures of water and ethanol makes the coating easier to adhere to the material.

2.2 Deposition CZTS film

CZTS film were coated on indium tin oxide (ITO) glass substrate (WellJoin co., ltd), size 25 × 25 × 1.1 mm^3, 20 Ω sq^{-1}, thickness of conductive layer about 950 ±100 nm and maximum operating temperature must reach 600 °C. Before deposited CZTS film, the substrate was cleaned by soap solution followed sonicated clean using an ultrasonic bath (GTSONIC, VGT-1730QTD) in acetone (C_3H_6O), 2-propanol (C_3H_8O), DI water (requires about 10 min per step [37]and drying with Argon gas. The simple flow-coating technique [38] was used for coating the CZTS solution as show in Fig. 1 with drop solution on substrate and drying sample on hotplate 10 min for 60 °C in air, repeat as 4 times.

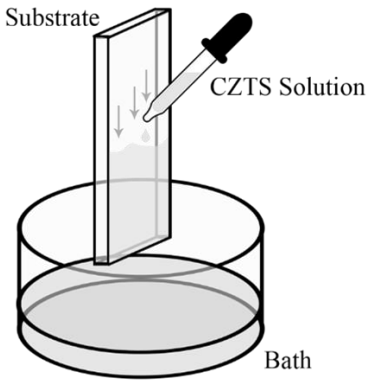


Fig. 1 Scheme of the flow-coating process.

2.3 Annealing CZTS film

The CZTS film were annealing with commercial furnace tube at 500 °C for 60 min, ramping rate of 5 °C min^{-1} during in argon atmosphere gas flow rate 10 mL min^{-1} without sulfurization treatment. The temperature profile as shown in Fig. 2

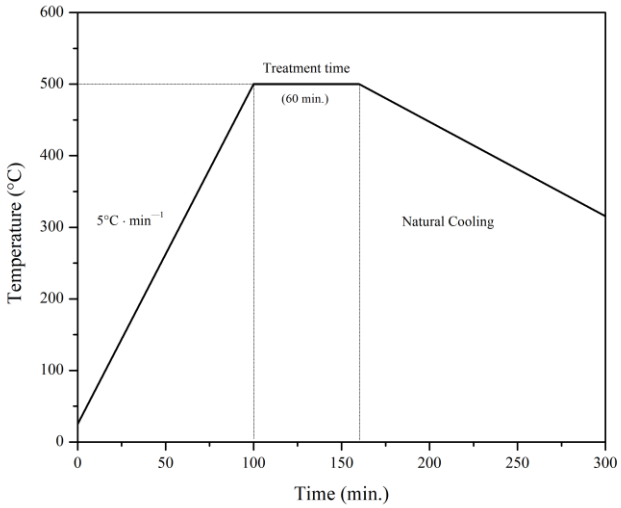


Fig. 2 Temperature versus time for a heating rate for annealing CZTS film.

2.4 Characterization Techniques

The structural properties and confirm the formation of CZTS were characterized by X-ray Diffractometer (XRD), Shimadzu, XRD-6100 with $CuK_{\alpha 1}$ radiation (λ = 1.5406 Å), operate in 2θ range of 20° – 80° , scan speed 2 °C min^{-1}, used 40 kV and 30 mA of power source. The surface morphology, cross-section and element composition were characterized by Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM), JEOL, JSM-7610F. The UV-Visible spectrophotometer Shanghai, UV-5200 was measured for study optical transmittance spectrum in the wavelength range of 400 – 1000 nm.

3. Results and Discussion

The XRD result of post-annealing CZTS shows the diffraction peaks (shown in Fig. 3) at angles 2θ = 28.48, 47.38 and 56.02°, are assigned to the (112), (220) and (312), planes of a tetragonal structure respectively. The diffraction patterns can be indexed to CZTS kesterite phase of tetragonal crystal structure followed standard peak on PDF card no.00-026-0575, confirming formation of CZTS can be achieved by flow-coating process without sulfurization. The crystallite size of sample film was calculated Scherer's equation (1);

$$D = \frac{0.96\lambda}{\beta \cos\theta} \tag{1}$$

Where D is the crystallite size, θ is the Bragg's angle, β is full width at half maximum (FWHM) of (112) peak, λ is wavelength of x-ray source (0.15406 Å) . The average crystallite size of CZTS sample film was estimated to be ~ 103.137 ± 0.9788 nm, the crystallite size of film observations suggests that the layer CZTS film prepared by flow-coating tech that mentioned that film have formation to thick film [39]. The tetragonal lattices parameters of CZTS are $a = b$ = 5.4664 Å, c = 1.1145 Å analysed by equation (2) [40];

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2}{a^2} + \frac{l_2}{c^2} \tag{2}$$

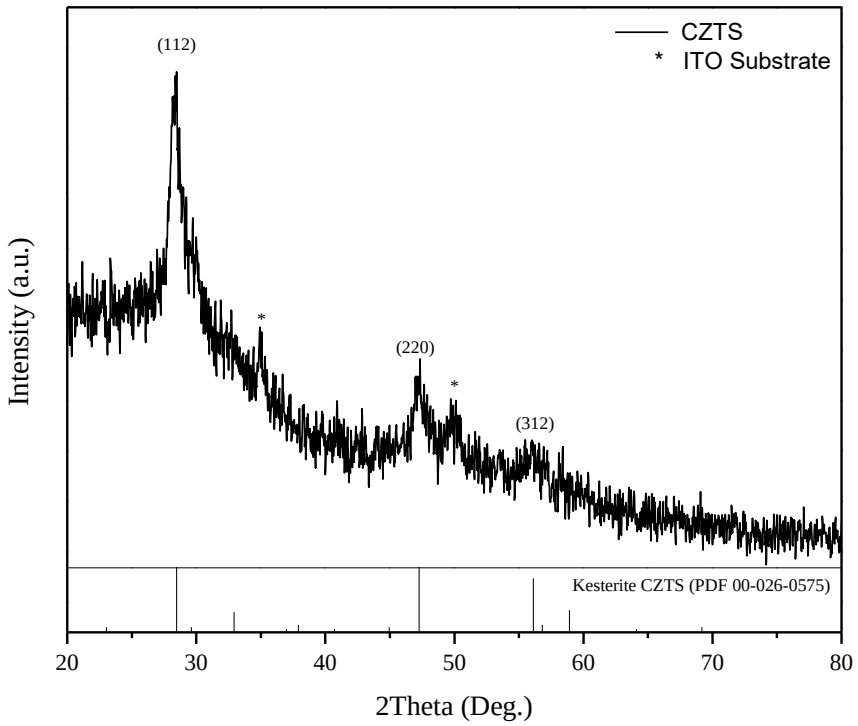


Fig. 3 XRD patterns of CZTS sample film annealing without sulfurization.

The FE-SEM images reveal that the surface morphology of CZTS films in Fig. 4 (a), the surfaces CZTS are due to the formation of predominantly non-uniform texture, with voids or cavities, porous structure and contains large densely packed grain is caused by low viscosity of CZTS solution and ligand complex was evaporate with heating treatment at 500 °C for 60 min is causing to a lot of holes and porous film on the substrates. The thickness of CZTS film is determined to be about 32.92 ± 0.62 μm is not yet suitable for development absorber in thin-film solar cell according with suitable thickness layer 1.0 to 2.0 μm [8], could be solved by increasing times of coating film. However, the holes and porous structure of film morphology could be increasing surface area to absorption light.

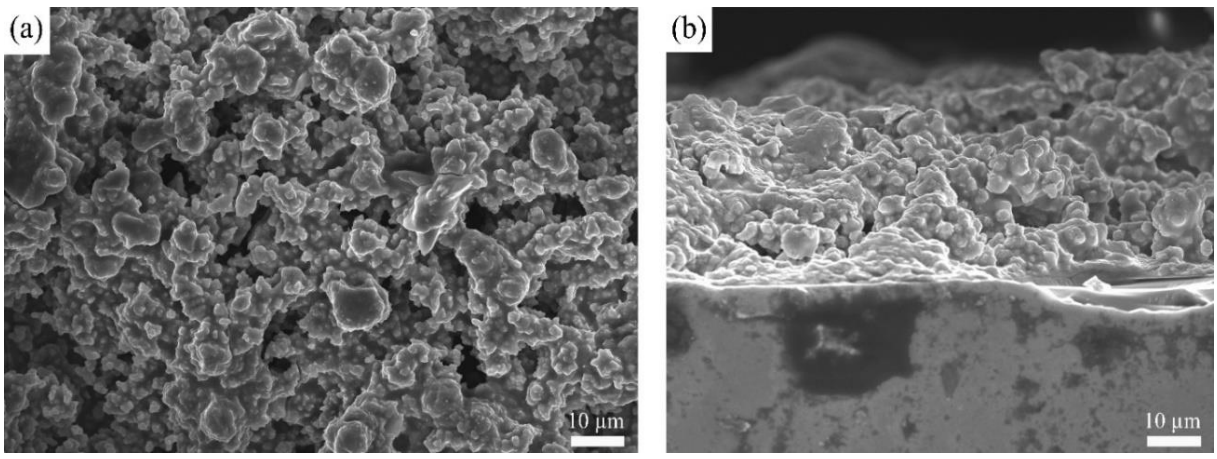


Fig.4 FE-SEM image of CZTS sample film study (a) Surface area and (b) a) Cross-sectional.

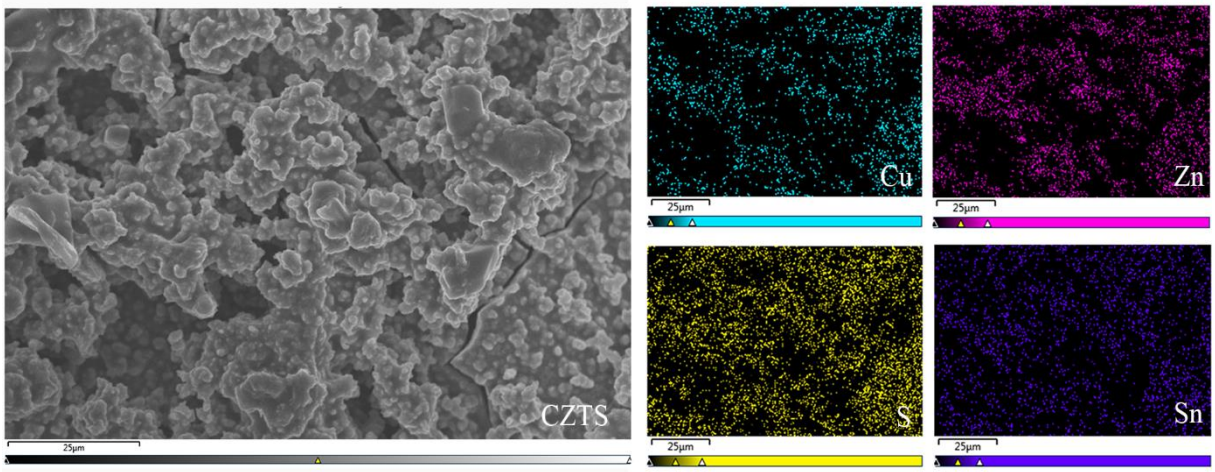


Fig. 5 The surface EDS mapping images of the CZTS film.

The EDS spectra (Fig. 5) shows the element distribution of constituent elements of the CZTS material was observed that Cu = 20.41 mol%, Zn = 26.92 mol%, Sn = 29.64 mol%, and S = 23.03 mol% , it's was investigating the homogeneity in terms of material composition on the top surface films showed the commonly optimal to grow CZTS film stoichiometry of Cu-poor (Cu/(Zn + Sn) = 0.36) and and Zn-rich (Zn/Sn = 0.91) composition (as shown in Table 1) for the global CZTS solar cell performance [41] with elemental ratio of Cu:Zn:Sn:S to 1.81 : 1.17 : 0.95, it is suggests that the distributions of Cu, Zn, Sn, and S elements which is in good agreement with the above XRD result.

Table 1 The elemental composition of CZTS films annealing at 500 °C.

Chemical Composition (at%)				Composition Ratio		
Cu	**Zn**	**Sn**	**S**	**Cu/(Zn+Sn)**	**Zn/Sn**	**S/Metal**
20.41	26.92	29.64	23.03	0.36	0.91	0.30

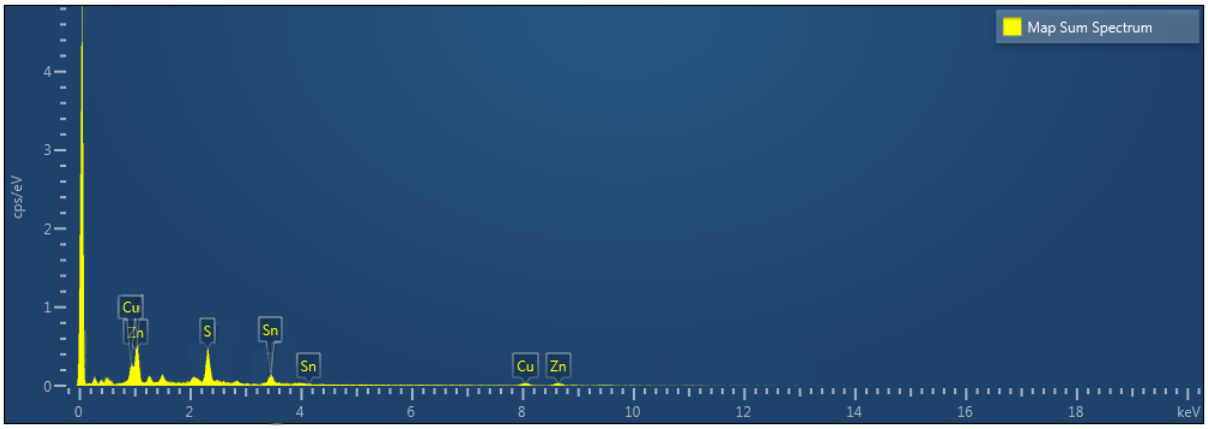


Fig. 6 The EDS spectra of CZTS film.

The optical properties of CZTS sample film were investigated the transmittance (T) and absorbance spectra (A) as a function of the wavelength (λ) for simple flow-coating technique in visible light region range of 300 – 700 nm. The absorbance of CZTS was observed large absorption spectra from the visible region (Fig. 7) preferred for the solar cell absorber materials. The thickness of film from FE-SEM information can be calculated the relation of absorption coefficient (α) respect to the photon energy (hv) follow eq. (3);

$$\alpha = 2.303\frac{A}{d} \tag{3}$$

Where A is the absorbance and d is the thickness of film. The 2.303 value is arises from the conversion factor ln (10) [42].

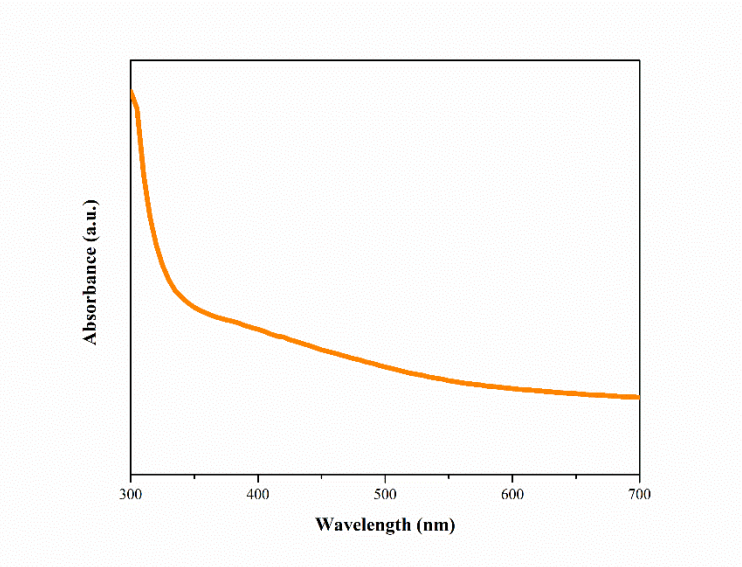


Fig. 7 The absorbance of CZTS sample film.

The CZTS film has very high absorption coefficient in the visible light region in order of 10^5 cm^{-1} (Fig. 8) a. The Tauc's relation was used to estimate the optical energy band gap (E_g) using the relation plot of $(\alpha h\nu)^2$versus photon energy ($h\nu$) as shown in Fig. 9. The bandgap value of CZTS film was observed to be approximately 1.518 eV, [43] and similar with the reported value in literature [1−2];

$$\alpha h\nu = \gamma(h\nu - Eg)^2 \tag{4}$$

Where γ is a constant, α is the absorption coefficient and $h\nu$ is the photon energy.

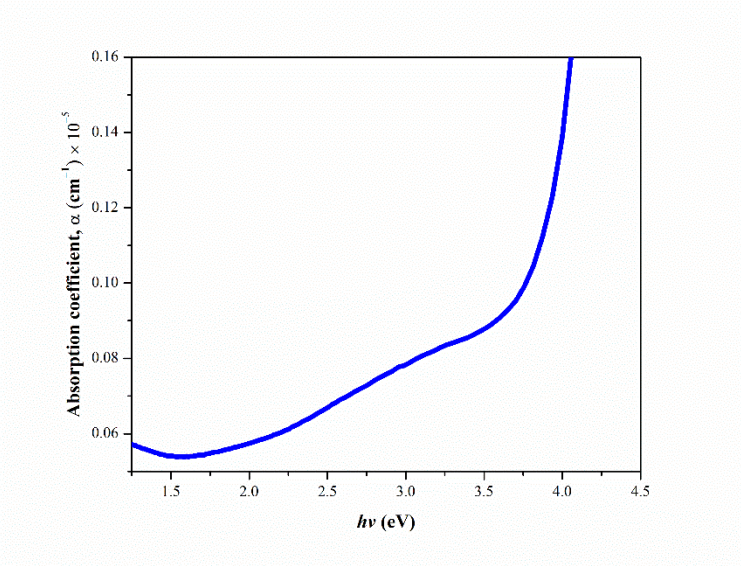


Fig.8 Absorption coefficient (α) of CZTS films.

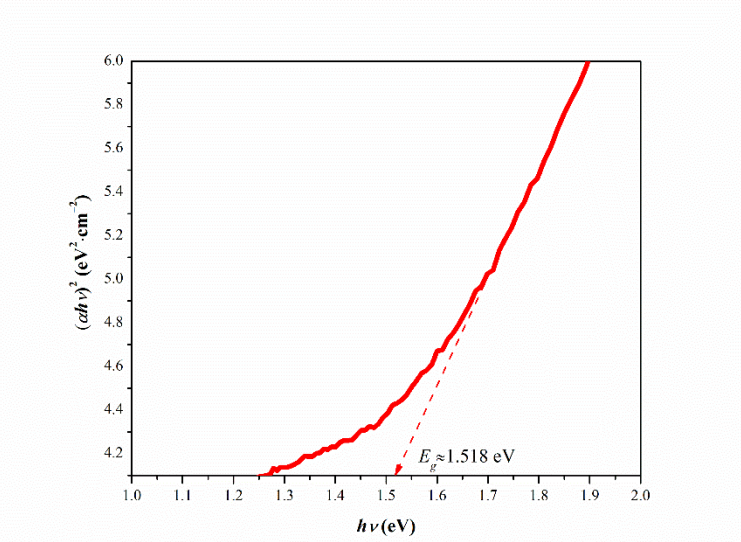


Fig. 9 The plots $(\alpha hv)^2$ versus hv with absorption coefficient (α) for CZTS films.

The CZTS film coated with the simple flow-coating technique has a high absorbance property because there are many pores, it is not strong and easily broken. Therefore not suitable for making flexible films but suitable for making the on a solid substrate

4. Conclusion

The CZTS films was successfully fabricated by simple flow-coating technique from precursor solution annealing in Ar atmosphere without sulfurization at 500 °C for 1 h. The X-ray diffraction result confirmed the CZTS kesterite phase tetragonal crystal structure lattices parameters of CZTS are $a = b =$ 5.4664 Å, $c = 1.1145$ Å, crystallites average about ~ 103.137 ± 0.9788 nm. The morphology of film was observed porous structure and film thickness about ~32.92 ± 0.62 μm. The optical properties showed a good optical absorption coefficient (> 10^5 cm^{-1}) in the visible light region and the optical band gap energy in the range 1.518 eV.

5. Acknowledgement
The authors are thankful to the Center of Excellence on Alternative Energy (CEAE) Research and Development Institute (RDI), Sakon Nakhon Rajabhat University (SNRU) for support instrument and research place and the authors are thankful to the Prof. Dr. Tosawat Seetawan, Program of Physics, Faculty of Science and Technology of SNRU, for Research consulting for completeness.

6. References

[1] Chaudhuri, T. K., & Tiwari, D. (2012). Earth-abundant non-toxic Cu2ZnSnS4 thin films by direct liquid coating from metal–thiourea precursor solution. Solar Energy Materials and Solar Cells, 101, 46-50.

[2] Henry, J., Mohanraj, K., & Sivakumar, G. (2016). Electrical and optical properties of CZTS thin films prepared by SILAR method. Journal of Asian Ceramic Societies, 4(1), 81-84.G.R. Mettam, L.B. Adams, How to prepare an electronic version of your article, in: B.S. Jones, R.Z. Smith (Eds.), Introduction to the Electronic Age, E-Publishing Inc., New York, 2009, pp. 281 – 304.

[3] Mohammadnejad, S., Baghban Parashkouh, A. CZTSSe solar cell efficiency improvement using a new band-gap grading model in absorber layer. Appl. Phys. A 123, 758 (2017). https:\doi.org\10.1007\s00339-017-1371-x

[4] G.L. Agawane, A.S. Kamble, S.A. Vanalakar, S.W. Shin, M.G. Gang, J.H. Yun, J. Gwak, A.V. Moholkar, J.H. Kim, Fabrication of 3.01% power conversion efficient high-quality CZTS thin film solar cells by a green and simple sol–gel technique. Mater. Lett. 158(1), 58–61 (2015)

[5] Katagiri, H., Saitoh, K., Washio, T., Shinohara, H., Kurumadani, T., & Miyajima, S. (2001). Development of thin film solar cell based on Cu2ZnSnS4 thin films. Solar Energy Materials and Solar Cells, 65(1-4), 141-148.

[6] Katagiri, H. (2005). Cu2ZnSnS4 thin film solar cells. Thin Solid Films, 480, 426-432.

[7] Isah, K. U., Yabagi, J. A., Ahmadu, U., Kimpa, M. I., Kana, M. G. Z., & Oberafo, A. A. (2013). Effect of different copper precursor layer thickness on properties of Cu2ZnSnS4 (CZTS) thin films prepared by sulfurization of thermally deposited stacked metallic layers. IOSR J. Appl. Phys, 2(6), 14-19.

[8] Jiang, M., & Yan, X. (2013). Cu2ZnSnS4 thin film solar cells: present status and future prospects. Solar Cells—Research and Application Perspectives.

[9] Kumar, M. S., Madhusudanan, S. P., & Batabyal, S. K. (2018). Substitution of Zn in Earth-Abundant Cu2ZnSn (S, Se) 4 based thin film solar cells–A status review. Solar Energy Materials and Solar Cells, 185, 287-299.

[10] Zhang, X., Shi, X., Ye, W., Ma, C., & Wang, C. (2009). Electrochemical deposition of quaternary Cu 2 ZnSnS 4 thin films as potential solar cell material. Applied Physics A, 94(2), 381-386.

[11] Gür, E., Sarıtaş, S., Demir, E., Demir, K. Ç., & Coşkun, C. (2019, August). CZTS Growth for Solar Cell Application by Electrochemical Deposition: pH Effect. In 2019 IEEE Regional Symposium on Micro and Nanoelectronics (RSM) (pp. 123-125). IEEE.

[12] C. Shi, G. Shi, Z. Chen, P. Yang, M. Yao, Deposition of Cu2ZnSnS4 thin films by vacuum thermal evaporation from single quaternary compound source. Mater. Lett. 73, 89–91 (2012)

[13] Wang, K., Gunawan, O., Todorov, T., Shin, B., Chey, S. J., Bojarczuk, N. A., ... & Guha, S. (2010). Thermally evaporated Cu 2 ZnSnS 4 solar cells. Applied Physics Letters, 97(14), 143508.

[14] Khemiri, N., Chamekh, S., & Kanzari, M. (2020). Properties of thermally evaporated CZTS thin films and numerical simulation of earth abundant and non toxic CZTS\Zn (S, O) based solar cells. Solar Energy, 207, 496-502.

[15] N. Thota, M. Gurubhaskar, A.C. Kasi Reddy, G. Hema Chandra, B.R. Mehta, A. Tiwari, Y.P. VenkataSubbaiah, Growth and properties of Cu2ZnSnS4 thin films prepared by multiple metallic layer stacks as a function of sulfurization time. J. Mater. Sci. 28(16), 11702–11711 (2017)

[16] Zhuk, S., Kushwaha, A., Wong, T. K., Masudy-Panah, S., Smirnov, A., & Dalapati, G. K. (2017). Critical review on sputter-deposited Cu2ZnSnS4 (CZTS) based thin film photovoltaic technology focusing on device architecture and absorber quality on the solar cells performance. Solar Energy Materials and Solar Cells, 171, 239-252.
[17] Krishnan, A., Ali, K. R., Vishnu, G., & Kannan, P. (2019). Towards phase pure CZTS thin films by SILAR method with augmented Zn adsorption for photovoltaic applications. Materials for Renewable and Sustainable Energy, 8(3), 1-8.
[18] Banerjee, G., Das, S., & Ghosh, S. (2019). Optical Properties of Cu2ZnSnS4 (CZTS) Made By SILAR Method. Materials Today: Proceedings, 18, 494-500.
[19] Tanaka, T., Kawasaki, D., Nishio, M., Guo, Q., & Ogawa, H. (2006). Fabrication of Cu2ZnSnS4 thin films by co-evaporation. physica status solidi C, 3(8), 2844-2847.
[20] Unold, T., Just, J., & Schock, H. W. (2014). Coevaporation of CZTS Films and Solar Cells. Copper Zinc Tin Sulfide-Based Thin Film Solar Cells, 221.
[21] Govindaraj, R., & Asokan, V. (2015). Solar cells of Cu2ZnSnS4 thin films prepared by chemical bath deposition method. Indian Journal of Pure & Applied Physics (IJPAP), 52(9), 620-624.
[22] GRana, T. R., Shinde, N. M., & Kim, J. (2016). Novel chemical route for chemical bath deposition of Cu2ZnSnS4 (CZTS) thin films with stacked precursor thin films. Materials Letters, 162, 40-43.
[23] Zhang, Y., Wang, S., Wan, G., Huang, M., Ou, K., Liu, R., & Yi, L. (2019). Fabrication of 4.9% efficient Cu2ZnSnS4 solar cell using electron-beam evaporated CdS buffer layer. Thin Solid Films, 685, 145-150.
[24] Mkawi, E. M., Al-Hadeethi, Y., Shalaan, E., & Bekyarova, E. (2018). Substrate temperature effect during the deposition of (Cu\Sn\Cu\Zn) stacked precursor CZTS thin film deposited by electron-beam evaporation. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 29(23), 20476-20484.
[25] Aldalbahi, A., Mkawi, E. M., Ibrahim, K., & Farrukh, M. A. (2016). Effect of sulfurization time on the properties of copper zinc tin sulfide thin films grown by electrochemical deposition. Scientific reports, 6(1), 1-9.
[26] Moholkar, A. V., Shinde, S. S., Babar, A. R., Sim, K. U., Kwon, Y. B., Rajpure, K. Y., ... & Kim, J. H. (2011). Development of CZTS thin films solar cells by pulsed laser deposition: influence of pulse repetition rate. Solar Energy, 85(7), 1354-1363.
[27] Arba, Y., Rafi, M., Hartiti, B., Ridah, A., & Thevenin, P. (2011). Preparation and properties of CZTS thin film prepared by spray pyrolysis. Moroccan Journal of Condensed Matter, 13(3).
[28] Diwate, K., Mohite, K., Shinde, M., Rondiya, S., Pawbake, A., Date, A., ... & Jadkar, S. (2017). Synthesis and characterization of chemical spray pyrolysed CZTS thin films for solar cell applications. Energy Procedia, 110, 180-187.
[29] Prabeesh, P., Saritha, P., Selvam, I. P., & Potty, S. N. (2017). Fabrication of CZTS thin films by dip coating technique for solar cell applications. Materials Research Bulletin, 86, 295-301.
[30] Ziti, A., Hartiti, B., Labrim, H., Fadili, S., Batan, A., Tahri, M., ... & Thevenin, P. (2019). Characteristics of kesterite CZTS thin films deposited by dip-coating technique for solar cells applications. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 30(14), 13134-13143.
[31] Lin, X., Kavalakkatt, J., Brusten, N., Lux-Steiner, M. C., & Ennaoui, A. (2014). Inkjet printing of Kesterite and Chalcopyrite thin film absorbers for low cost photovoltaic application. In Proceedings of the 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (pp. 1876-1879).
[32] Tchognia, J. H. N., Arba, Y., Dakhsi, K., Hartiti, B., Ndjaka, J. M., Ridah, A., & Thevenin, P. (2016). Solution-based deposition of wurtzite copper zinc tin sulfide nanocrystals as a novel absorber in thin film solar cells. Optical and Quantum Electronics, 48(4), 255.
[33] Rakhshani, A. E. (2020). Sn-rich CZTS films spin-coated from methanol-based sol-gel solution: annealing effect on microstructure and optoelectronic properties. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 1-9.

[34] Zhou, Z., Wang, Y., Xu, D., & Zhang, Y. (2010). Fabrication of Cu2ZnSnS4 screen printed layers for solar cells. Solar Energy Materials and Solar Cells, 94(12), 2042-2045
[35] Chen, Q. M., Dou, X. M., Li, Z. Q., Cheng, S. Y., & Zhuang, S. L. (2011). Preparation of Cu2ZnSnS4 film by printing process for low-cost solar cell. In Advanced Materials Research (Vol. 335, pp. 1406-1411). Trans Tech Publications Ltd.
[36] Wang, W., Winkler, M. T., Gunawan, O., Gokmen, T., Todorov, T. K., Zhu, Y., & Mitzi, D. B. (2014). Device characteristics of CZTSSe thin-film solar cells with 12.6% efficiency. Advanced Energy Materials, 4(7), 1301465.
[37] Mattox, D. M. (1985). Substrate preparation for thin film deposition—a survey. Thin Solid Films, 124(1), 3-10
[38] Pokropivny, V., Lohmus, R., Hussainova, I., Pokropivny, A., & Vlassov, S. (2007). Introduction to nanomaterials and nanotechnology (pp. 45-100). Ukraine: Tartu University Press
[39] Chandran, M. (2019). Synthesis, characterization, and applications of diamond films. In Carbon-Based Nanofillers and Their Rubber Nanocomposites (pp. 183-224). Elsevier.
[40] Bade, B. R., Rondiya, S. R., Jadhav, Y. A., Kamble, M. M., Barma, S. V., Jathar, S. B., ... & Dzade, N. Y. (2021). Investigations of the structural, optoelectronic and band alignment properties of Cu2ZnSnS4 prepared by hot-injection method towards low-cost photovoltaic applications. Journal of Alloys and Compounds, 854, 157093.
[41] Bosson, C. J., Birch, M. T., Halliday, D. P., Knight, K. S., Gibbs, A. S., & Hatton, P. D. (2017). Cation disorder and phase transitions in the structurally complex solar cell material Cu 2 ZnSnS 4. Journal of materials chemistry A, 5(32), 16672-16680.
[42] Zhou, M., Gong, Y., Xu, J., Fang, G., Xu, Q., & Dong, J. (2013). Colloidal CZTS nanoparticles and films: Preparation and characterization. Journal of alloys and compounds, 574, 272-277.
[43] Song, X., Ji, X., Li, M., Lin, W., Luo, X., & Zhang, H. (2014). A review on development prospect of CZTS based thin film solar cells. International Journal of Photoenergy, 2014.

PAPER • **OPEN ACCESS**

Designing and Fabricating a Prototype of the Elastic Thermoelectric Generator

To cite this article: Piyada Manawong *et al* 2021 *J. Phys.: Conf. Ser.* **2013** 012024

View the article online for updates and enhancements.

You may also like

- Light-induced high-spin state in ZnO nanoparticles
A Savoyant, M Rollo, M Texier et al.
- ABSORPTION CROSS SECTION OF GASEOUS ACETYLENE AT 85 K IN THE WAVELENGTH RANGE 110–155 nm
Bing-Ming Cheng, Hui-Fen Chen, Hsiao-Chi Lu et al.
- 3 J pulsed Fe:ZnS laser tunable from 3.44 to 4.19 m
M P Frolov, Yu V Korostelin, V I Kozlovsky et al.

This content was downloaded from IP address 202.29.24.197 on 22/08/2022 at 06:25

Designing and Fabricating a Prototype of the Elastic Thermoelectric Generator

Piyada Manawong, Kunchit Singsoog and Tosawat Seetawan*

[1]Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nkahon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang Distric, Saknon Nakhon, Thailand.
[2]Thermoelectric Research Laboratory, Center of excellence on Alternative Energy, Research and Development Institute, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon, 47000, Thailand.

*Corresponding Author : t_seetawan@snru.ac.th, Tel & Fax : +6642-744-319

Abstract. The elastic thermoelectric generator (ETEG) was fabricated by using 27 couples of n-Bi_2Te_3 and p-Sb_2Te_3 bulk thermoelectric materials in size of $3 \times 3 \times 5$ mm^3 on silicone substrate and using copper plate for electrodes. It was found that the open circuit voltage shows maximum value of 46.74 mV at temperature difference 13.85 K. External load resistances were apply in the measurement and varies for obtaining the maximum output power. The matched load resistance is 0.22 Ω obtaining maximum power about 3.46 mW at temperature difference difference of 13.85 K. The output power, voltage and current were increased with temperature difference increasing and show maximum values about 35.19 mW, 27.82 mV and 126.36 mA at temperature difference 12.75 K.

1. Introduction

Thermoelectric generator (TEG) is device to convert heat energy into electrical energy and vis versa by Seebeck effect; $S = \Delta V / \Delta T$ where ΔV is electromotive force (V) and ΔT is temperature difference (K). These devices is easily to fabrication and low cost due to many thermoelectric materials for example alloy materials, semiconductor compounds and oxide materials. Moreover, TEG is applied to microgenerator [1], microelectronics, no moving parts, no noise and friendly environment [2–3]. The general substrate of TEG devices is strongly from alumina or ceramics can't bend or flexible with human body skills.. S.E. Jo *et al*. shows the simple fabrication process of flexible TEG using polydimethylsiloxane (PDMS). The fabricated thermoelectric generator was attached to the human body for generating electrical energy. When the temperature difference between the human body and ambient air was 19 K, the output power of the thermoelectric generator was 2.10 mW [4]. Sung-JinJung et al. were reported a flexible thermoelectric generator made of porous PDMS fillers and Bi_2Te_3-based thermoelectric legs and found that Eight flexible thermoelectric module connected in series successfully operated 32 LEDs for more than 30 minutes [5]. Taemin Kim et al. were experimental evaluation of a flexible thermoelectric generator and found that the most influential parameters were the contact pressure, which could affect the generation by 10 – 20 mW (increased by up to 83.30%), and the choice of thermal interface material (increased by up to 51.90%) [6]. This work has proposed model and fabricated ETEG by using silicone substrates to generate electricity from heat on human body skin.

Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.
Published under licence by IOP Publishing Ltd

2. Materials and Methods

. The fabrication of ETEG was started by make mask for stick Cu electrode on the silicone as shown in Fig.1 (a). The 6 TE pellets were connected by parallel on 1 Cu plate for 1 leg. The module was used totally 5 legs of P-type and 5 legs of N-type connecting by series junction as shown in Fig.1 (b). The p and n legs were connected by Cu plate as shown in Fig. 1 (c). Finally, leading wires were connected on the first p and last of n leg as shown in Fig. 1 (d).

To evaluate the performance of the fabricated TEG, the TEG was placed on the measurement setup, which consisted of a heating unit and cooling unit. The electrical characteristics of the TEG were measured using an oscilloscope, a microammeter, and an LRC meter. The temperatures of the heating unit and cooling unit were measured using a thermocouple temperature sensor.

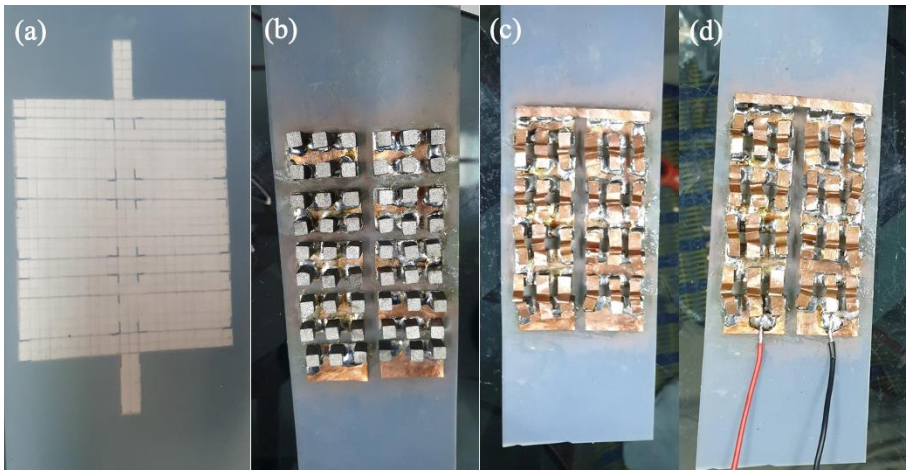


Fig. 1 shows the fabricated ETEG

3. Results and Discussion

The open circuit voltage was measured in hot side and cool side temperature ranges of 301 – 330 K and 301 – 317 K, respectively obtaining temperature difference of 0 – 13.85 K as shown in Fig. 2. The open circuit voltage show increase with temperature difference and exhibit maximum value about 46.74 mV at temperature difference 13.85 K as shown in Fig. 2.

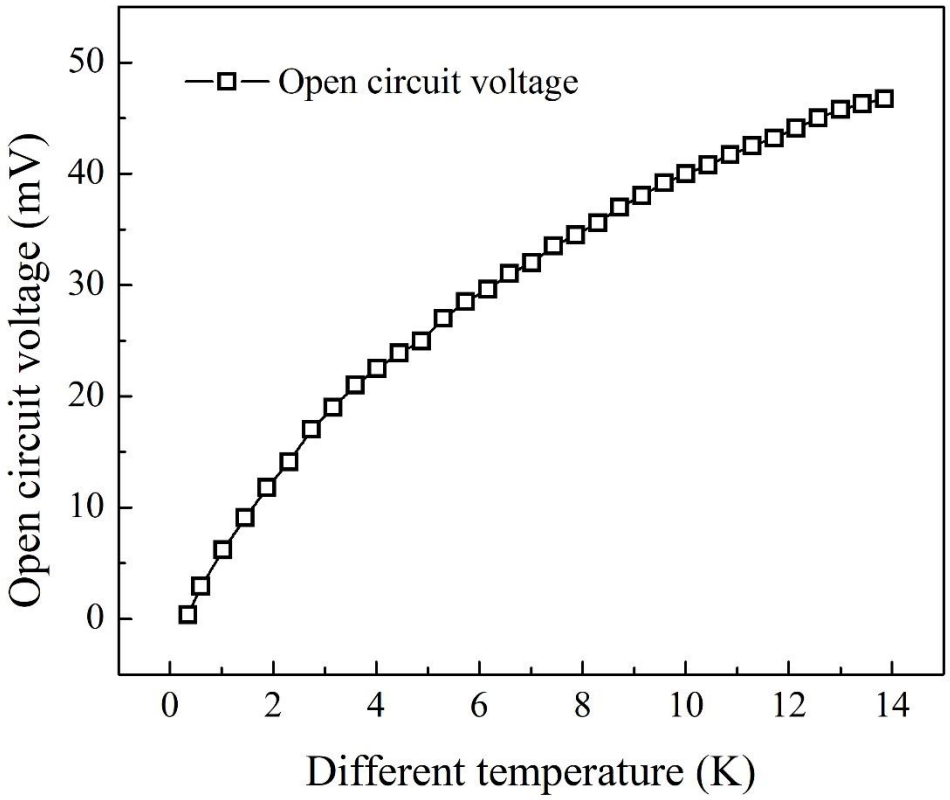


Fig. 2 The open circuit voltage depends on temperature difference

The matched external load resistance was obtained by various value from 0.06 – 0.88 Ω and fix temperature difference at 13.85 K. The voltages were increased with increasing load resistance while output power also increasing until 0.22 Ω after that decrease. The maximum output power was obtained about 3.45 mW at external load resistance 0.22 Ω namely that is matched external load resistance as shown in Fig.3.

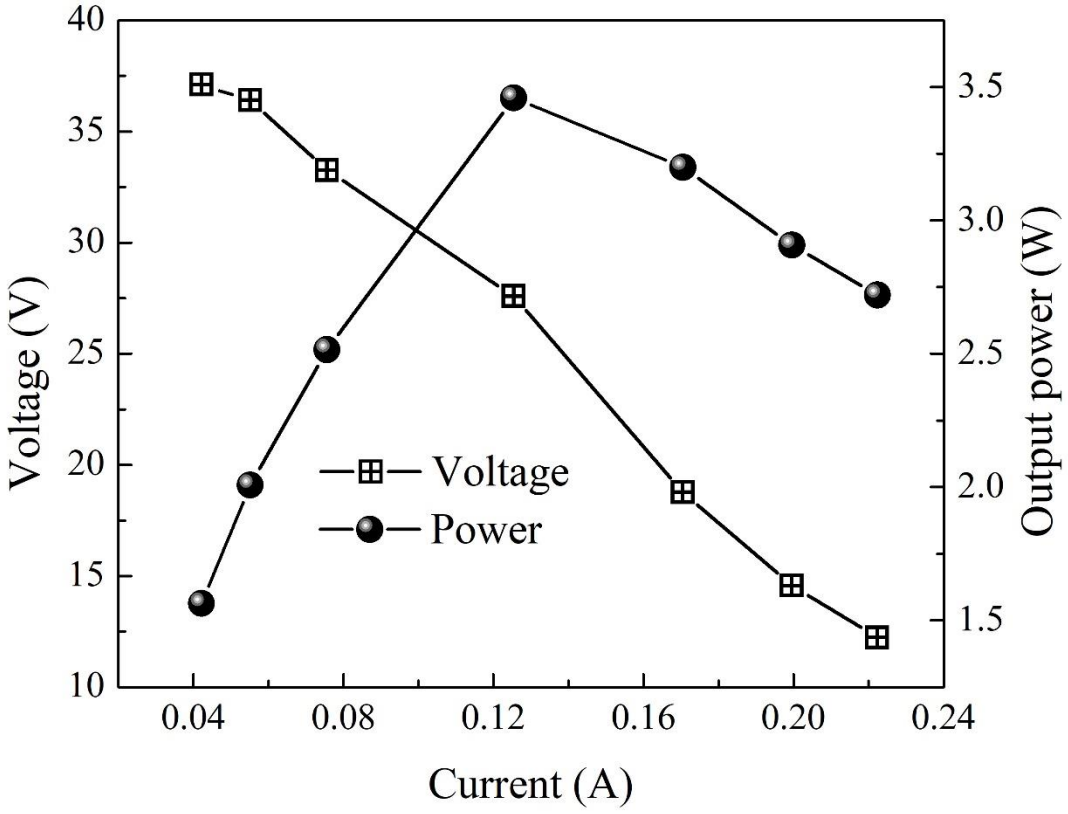


Fig. 3 The relationship between voltage, current and power

The output power and voltage depending on temperature difference ranges of 0 – 13.85 K were measured by using matched external load resistance of 0.22 Ω. Both of values show increase with temperature difference increasing and obtain the maximum value of 3.51 mW and 27.82 mV at temperature difference 13.85 K, respectively.

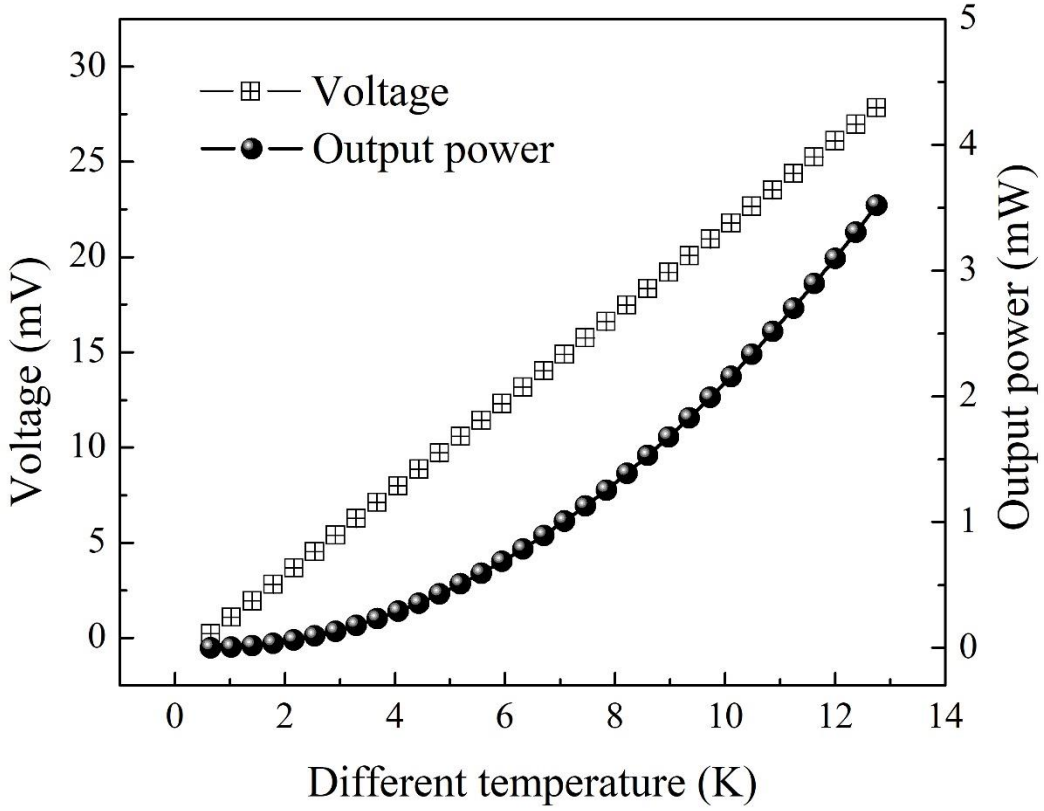


Fig. 4 The voltage and power depends on temperature difference

4. Conclusion

The ETEG is proposed. The proposed ETEG comprises thermoelectric materials that are inserted into a thick polydimethylsiloxane film. The ETEG was easily fabricated using dispenser printing. The fabricated ETEG was flexible, and hence, it could be attached to the human body and successfully generate electrical energy. When the ambient temperature was 301 K, the ETEG generated an output power of 2.1 mW at the human body.

5. Acknowledgments

This research was financial supported by the Research and Development Institute, Sakon Nakhon Rajabhat University and Thailand Research Fund (TRF) Research Career Development (Grant No. RSA6180070).

References

[1] Qiuju Feng, Xiaochi Shi, Yan Xing, Tongtong Li, Fang Li, Dezhu Pan, Hongwei Liang, Thermoelectric microgenerators using a single large-scale Sb doped ZnO microwires, Journal of Alloys and Compounds 739 (2018) 298e304
[2] You H.-J., Chu H.-S., Li W.-J. and Lee W.-L.: ‘Influence of different substrate materials on thermoelectric module with bulk legs’, J. Power Sources., 2019, 438, pp. 227055

[3] Singsoog K., Thanachayanont C., Charoenphakdee A. and Seetawan T., 'Thermoelectric Properties and Power Generation of p–$Ca_3Co_4O_9$ and n–$Sr_{0.87}La_{0.13}TiO_3$ Thermoelectric Modules', Key Engineering Materials Vols. 675-676 (2016) pp 679-682
[4] Jo S.E., Kim M.K., Kim M.S. and Kim Y.J.: 'Flexible thermoelectric generator for human body heat energy harvesting', ELECTRONICS LETTERS, 2012, 48 (16) pp. 1013-1015
[5] Jung S-J., Shin J., Lim S-S, Kwon B., Baek S-H., Kim S., Park H-H., and Kim J-S., 'Porous organic filler for high efficiency of flexible thermoelectric generator', Nano Energy, Volume 81, March 2021, 105604
[6] Kim T., Ko Y., Lee Y., Cha C., Kim N., 'Experimental analysis of flexible thermoelectric generators used for self-powered devices', Energy 200 (2020) 117544

PAPER • **OPEN ACCESS**

Investigation of Parameters Affecting the Efficiency of Thermoelectric Refrigerator

To cite this article: Sakhunthip Kaewsai *et al* 2021 *J. Phys.: Conf. Ser.* **2013** 012023

View the article online for updates and enhancements.

You may also like

- Thermal conductivity anisotropy in holey silicon nanostructures and its impact on thermoelectric cooling
Zongqing Ren and Jaeho Lee
- Performance analysis of multi thermoelectric cooling modules
Haonan Yang, Huadong Zhao and Gaoju Xia
- Fundamental and progress of Bi_2Te_3-based thermoelectric materials
Min Hong, , Zhi-Gang Chen et al.

This content was downloaded from IP address 202.29.24.197 on 22/08/2022 at 06:26

Investigation of Parameters Affecting the Efficiency of Thermoelectric Refrigerator

Sakhunthip Kaewsai[1], Kunchit Singsoog[2] and Tosawat Seetawan[1, 2*]

[1]Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nkahon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang Distric, Saknon Nakhon, Thailand.
[2]Thermoelectric Research Laboratory, Center of excellence on Alternative Energy, Research and Development Institute, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon, 47000, Thailand.

*Corresponding Author : t_seetawan@snru.ac.th, Tel & Fax : +6642-744-319

Abstract. The efficiency of thermoelectric refrigerator was investigated by two thermoelectric cooling (TEC 1-12709) at outside insulator box with cooling side at inside box and rejected heat at outside box by heat sink and fan. We applied electrical current 0.5 – 2 A for 15 minutes at room temperature and found that the inside thermoelectric refrigerator box showed a lowest temperature decreasing at center from 26.49 ºC to 19.32 ºC and at surface of TEC from 25.70 ºC to 7.05 ºC. The highest coefficient of performance (*COP*) is 0.10 by parallel connection.

1. Introduction

The cooling system or refrigerator is very important for storages, keeping foods and beverages, controlling microelectronics in industry and hospital. However, the refrigerator is a big system, difficult to move anywhere and used Ra134 refrigerant which is toxic to environment or produced Chlorofluorocarbons (CFCs) impact to atmosphere level or greenhouse effect. The Peltier plate is promoted to small cooling devices, low weight, easily to move anywhere, no noise. Recently, many researchers have been interested the thermoelectric cooling system (TEC). The TEC performance was confirmed by *COP*. Although, the *COP* has been developed long ago, but its value is still less than 1 [1]. The *COP* was reported about 0.3 by Dai *et al*. and obtained the temperature ranging from 5 – 10 °C. [2]. Min and Row reported the *COP* of thermoelectric refrigerator to be around 0.3 – 0.5 [3]. Abdul-Wahab *et al.* reported the temperature of thermoelectric refrigerator decreasing from 27 °C to 5 °C in 44 min and the *COP* showed about 0.16 [4]. S.M.A.Rahman *et al*. designed a portable solar thermoelectric generator achieving 10 °C in the chamber and obtaining the *COP* of about 0.61 [5]. Ahmet Çaglar reported the temperature of the cooled space changes from 20 to –18.2 °C, while the *COP* decreases from 0.351 to 0.011 [6]. Moreover, the thermoelectric refrigerator was used for water cooling system by M. Gökçek and F. Şahin. They result showed the temperature of water about 2 °C for 0.8 L/min and –0.1 °C for 1.5 L/min flow rate while *COP* is 0.19 and 0.41, respectively [7]. This work has investigated the effects of relevant parameters with performance and fabrication of thermoelectric refrigerator.

Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.
Published under licence by IOP Publishing Ltd

2. Materials and Methods

Thermoelectric refrigerator was fabricated from the Peltier or TEC number TEC1-12709 two plates setup in 25 × 25 × 30 cm^3 plastic box as shown in Fig. 1 (a) and (b). Heat sinks and fans were connected both side of TEC by outside for rejecting heat and inside for cold distribution as shown in Fig. 1 (c) and (d). The TECs were connected by series and parallel for comparing coefficient of performance (COP) of refrigerator. The input electrical current was applied in ranges of 0.5 – 2 A for testing temperature in 5 points including surface (cold side) of top TEC (T1), surface (cold side) of bottom TEC (T2), inside cooling chamber (T3), hot side of TEC (T4) and room temperature (T5) by picotechnology USB TC-08 data logger for temperature measurement with thermo couple type K and collect data by computer.

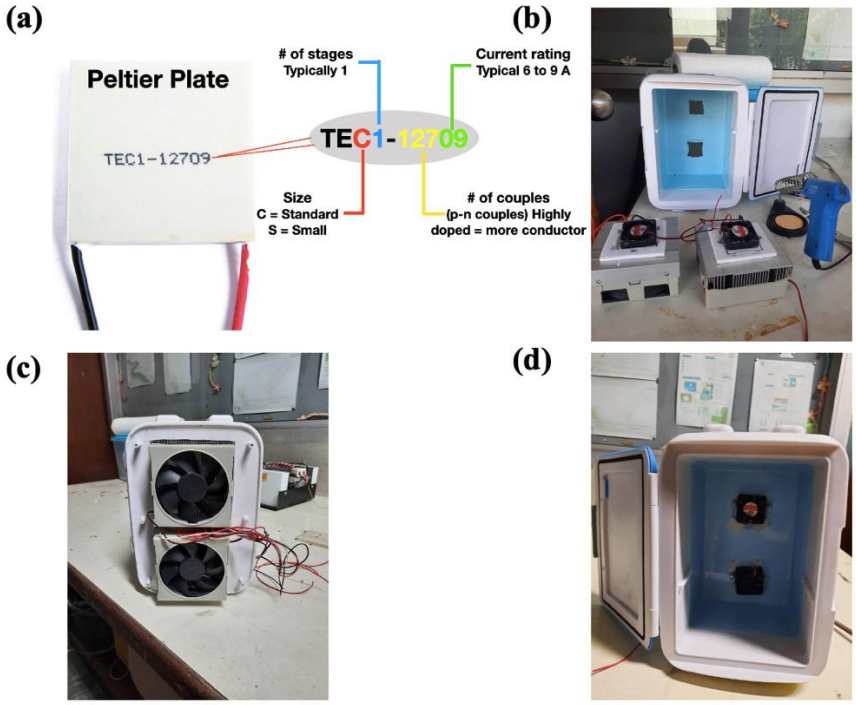


Fig. 1 Fabrication of thermoelectric refrigerator

3. Results and Discussion

Figure 2 (a – d) shows the temperature T1, T2, T3, T4 and T5 of TECs series connection depends on time 0 – 15 minutes using electrical current 0.50 – 2 A for TECs and 6 W of fans power consumption. The T1 and T2 of all electrical current were dropped sharply until 1 minute after that it slowly decreased. The T1, T2 and T3 were decreasing with electrical current increasing however the T4 increased up to maximum 38.62 °C for 2 A. The T4 increased until 4 minutes after that was stable indicating that cooling system sufficient for rejecting heat from TECs series connection. The T3 was slowly decreased until 3 minutes after that stable and the lowest temperature obtained by current input 1 A about 21.36 °C after 15 minutes passed from start temperature 25.50 °C while the surface of TECs shows the lowest temperature about 19 °C for 2 A.

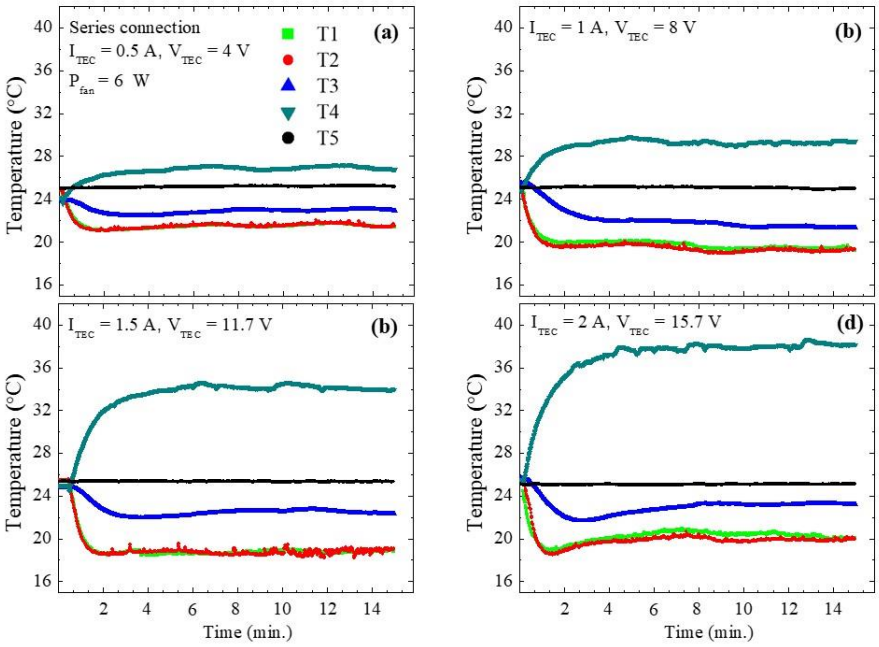


Fig. 2 The temperature T1, T2, T3, T4 and T5 of TECs series connection depend on times using electrical current for TECs (a) 0.50 A, (b) 1 A, (c) 1.5 A and (d) 2 A

Figure 3 (a – d) shows the temperature T1, T2, T3, T4 and T5 of TECs parallel connection depend on times 0 – 15 minutes using electrical current 0.50 – 2 A for TECs and 6 W of fans power consumption. The T1 and T2 were dropped sharply until 1 minute after that slightly decreased for all electrical current. The T1, T2 and T3 were decreased with increasing the electrical current while T4 increased up to maximum 29.70 °C for 2 A. The T4 was increased until 4 minutes after that stable indicated that cooling system sufficient for rejecting heat from TECs parallel connection. The T3 was slowly decreased until 3 minutes after that stable and the lowest temperature was obtained by current input 2 A about 22.13 °C after 15 minutes passed from start temperature 24.51 °C while the surface of TECs shows the lowest temperature about 20.55 °C.

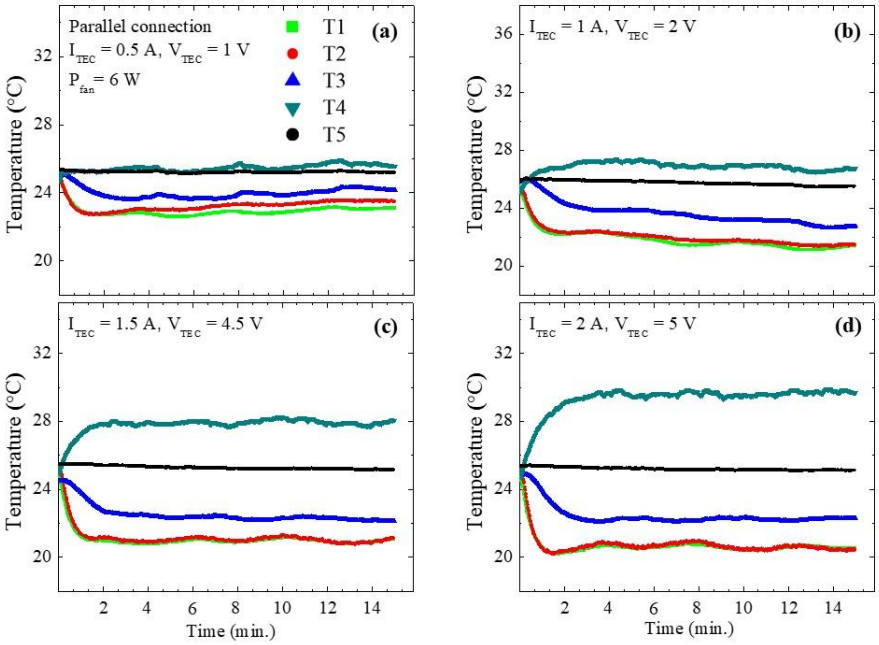


Fig. 3 The temperature T1, T2, T3 and T4 of TEC parallel connection depend on time using electrical current for TECs (a) 0.50 A, (b) 1 A, (c) 1.5 A and (d) 2 A

Moreover, the measured T1, T2, T3, T4 and T5 of TECs series and parallel connection were depended on times 0 – 15 minutes using electrical current 0.50 – 2 A without cold distribution fans inside chamber as shown in Fig. 4 and 5, respectively. As a result, the power consumption of the fans has reduced to 3.6 W. It was found that T1 and T2 of both TECs connection show lower than previous results because coolness was trapped in the surface of TECs not distributing in the chamber and exhibit the lowest value for 2 A of series connection about 7.05 °C after 5 minutes passed. The T3 of both connections was obtained similar value compare with using fans inside chamber and shows the lowest value by 1.50 A of series connection about 19.32 °C after 10 minutes passed.

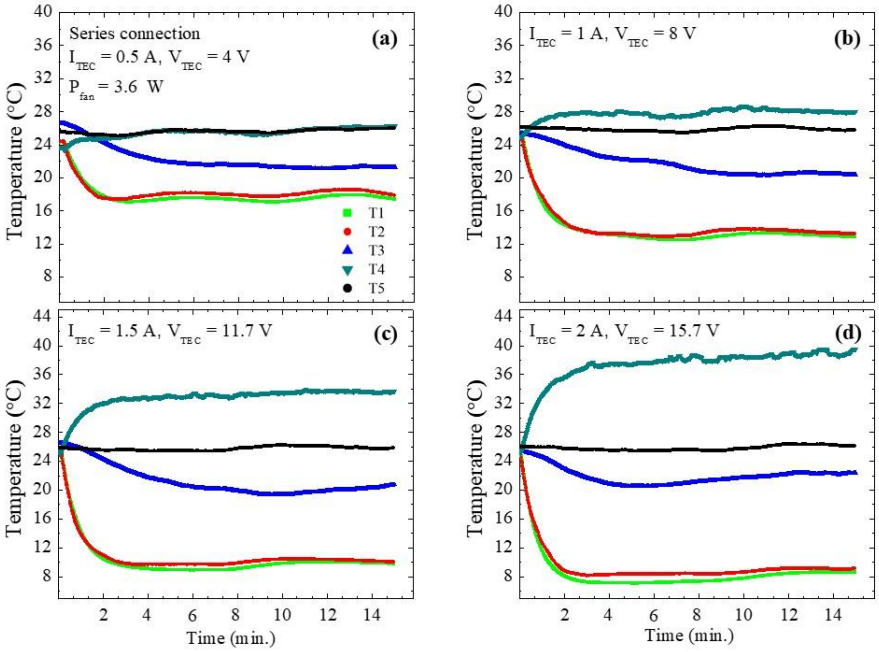


Fig. 4 The temperature T1, T2, T3 and T4 of TEC series connection without fan inside chamber depend on time using electrical current for TECs (a) 0.50 A, (b) 1 A, (c) 1.5 A and (d) 2 A

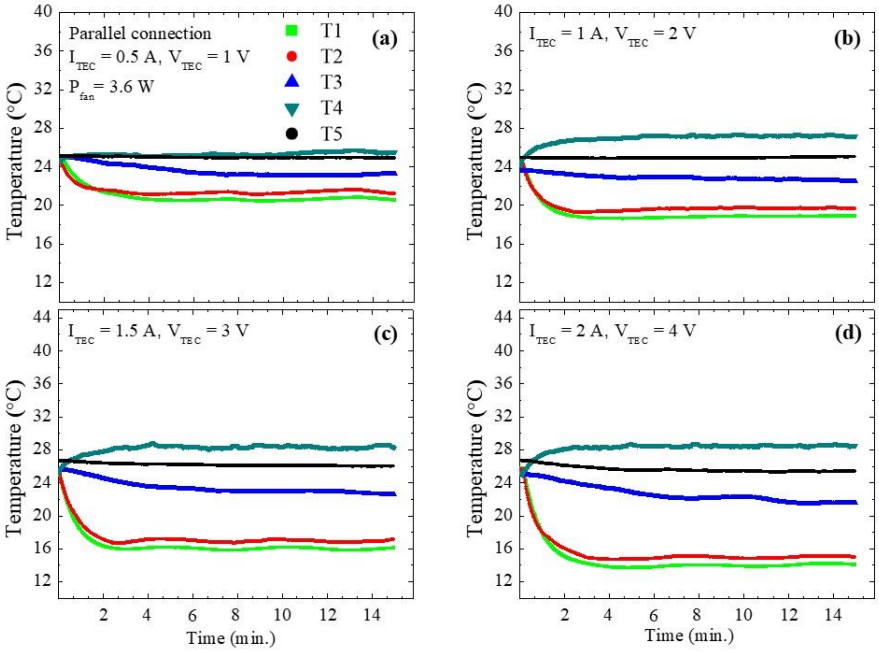


Fig. 5 The temperature T1, T2, T3 and T4 of TEC parallel connection without fan inside chamber depend on time using electrical current for TECs (a) 0.50 A, (b) 1 A, (c) 1.5 A and (d) 2 A

The COP of refrigerator was calculated as follow Eq. 1 [6].

$$COP = \frac{\dot{Q}_a}{\dot{W}_t} = \frac{\left(mc_p \Delta T\right)/\Delta t}{\dot{W}_f + \dot{W}_P} \quad (1)$$

where $\dot{Q}_a$ is heat absorb transfer rate (W), $\dot{W}_t$ is total power consumption (W), $\dot{W}_f$ is power consumption of fans (W), $\dot{W}_P$ is power consumption of TECs (W), m is mass of air (kg), c_p is specific heat of air (J kg^{-1} K^{-1}), T is temperature and t is time. The *COP* of series and parallel connections are shown in Fig.6. The *COP* of all conditions show a decreasing trend when increasing electrical current of TECs. The comparison TECs connection between series and parallel found that, the parallel connection shows the *COP* higher than series connection as a result of power input lower but can absorb heat similarly. The highest *COP* was obtained by parallel connection without fans inside chamber about 0.10 using electrical current 1 A after 1 minute passed.

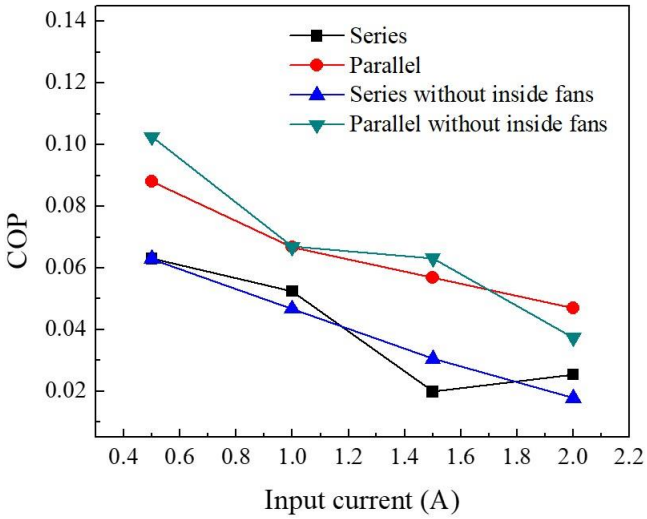


Fig. 6 The *COP* of refrigerator depend on electrical current

4. Conclusion

The thermoelectric refrigerator was successfully fabricated by 2 TECs connecting with series and parallel. The TECs was applied electrical current 0.50 – 2 A for 15 minutes. The temperature inside of refrigerator was slightly decreased while room temperature stable. The comparison between series and parallel connection of TECs show the series connection without fans inside chamber obtaining lowest temperature of 19.32 °C while parallel connection without fans inside obtaining highest *COP* of 0.10 which it can use in daily life.

Acknowledgments
This research was financial supported by the Research and Development Institute, Sakon Nakhon Rajabhat University and Thailand Research Fund (TRF) Research Career Development (Grant No. RSA6180070).

References

[1] Zhao D., Tan G., 'A review of thermoelectric cooling: materials, modeling and applications', Appl. Therm. Eng., 2014, 66, pp. 15 – 24
[2] Dai J., Wang R.Z., Ni L., 'Experimental investigation and analysis on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells', Sol. Energy Mater. Sol. Cells., 2003, 77, pp. 377 – 391
[3] Min, D.M. Rowe, 'Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic-refrigerators', Appl. Energy., 2006, 83, pp. 133 – 152
[4] Abdul-Wahab S.A., Elkamel A., Al-Damkhi A.M., Al-Habsi I.A., Al-Rubai'ey'H.S., Al-Battashi, A.K. Al-Tamimi A.R., Al-Mamari K.H., Chutani M.U., 'Design and experimental investigation of the portable solar thermoelectric refrigerator', Renew. Energy., 2009, 34, pp. 30 – 34
[5] Rahman, S.M.A., Hachicha, A.A., Ghenai, Ch., Saidur, R., Said, Zafar., 'Performance and life cycle analysis of a novel portable solar thermoelectric refrigerator', Case Studies in Thermal Engineering, 2020, 19, pp.100599
[6] Çaglar, A., 'Optimization of operational conditions for a thermoelectric refrigerator and its performance analysis at optimum conditions', International Journal of Refrigeration, 2018, 96, pp. 70 – 77
[7] Gökçek, M., Şahin, F., Experimental performance investigation of minichannel water cooled-thermoelectric refrigerator', Case Studies in Thermal Engineering, 2017, 10, pp. 54 – 62

Journal of Physics: Conference Series

PAPER • **OPEN ACCESS**

P-$Ca_3Co_4O_9$/n-$Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ module for high temperature thermoelectric generator

To cite this article: Panida Pilasuta *et al* 2021 *J. Phys.: Conf. Ser.* **2013** 012022

View the article online for updates and enhancements.

This content was downloaded from IP address 202.29.24.198 on 27/09/2021 at 05:00

P-$Ca_3Co_4O_9$/n-$Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ module for high temperature thermoelectric generator

Panida Pilasuta[1,2], Supasit Paengson[1,2], Kunchit Singsoog[2] and Tosawat Seetawan[1,*]

[1]Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon, 47000, Thailand

[2]Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institute, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon, 47000, Thailand.

*Corresponding author: t_seetawan@snru.ac.th

Abstract. The thermoelectric generators can generate electrical power from different temperatures of the top and bottom side thermoelectric modules or devices using n - and p - types thermoelectric materials. We synthesized the p-type $Ca_3Co_4O_9$ and n-type $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ thermoelectric materials by solid-state reaction (SSR) and hot-pressing (HP) methods then measured thermoelectric properties such as Seebeck coefficient, electrical resistivity, and thermal conductivity. The thermoelectric module of π-shape was fabricated 2 pair p-n junction then measured the electrical voltage, power, and efficiency. It was found that we obtained the single phase of $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ thermoelectric materials. The thermopower of $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ thermoelectric materials are measured by using steady-state method at hot side 976 K. The electricity of thermoelectric cells was increased with increasing temperature difference from 28–603 K. The thermoelectric cells p-n junction 2 pairs generated a maximum voltage about 93.04 mV, power 8 mW and efficiency of 0.23 % at temperature difference of 735 K (hot side 976 K). So, the thermoelectric module has been feasible to fabricate thermoelectric generators and developed a method for fabrication of high stability modules.

Keywords: Oxide thermoelectric generator, thermoelectric module π-shape, synthesis oxide thermoelectric materials, thermoelectric properties, thermoelectric device

1. Introduction

Nowadays, emerging global energy consumption drives the need for energy production, conservation, and management has intensified interest in the century due to the significant rate at which the world's energy demand is growing because of population growth and industrialization [1] therefore means of power generation research studies on alternative energy resources [2]. A thermoelectric (TE) device is viable clean energy that can convert thermal energy into electrical energy when a temperature gradient is present at the Seebeck effect. While a reverse phenomenon called the Peltier effect enables the TE device to generate thermal energy from electrical energy [3]. TE energy conversion plays a significant role in power generation by recovering waste heat released from many heat sources [4]. Thermoelectric generators (TEGs) can convert thermal energy directly into electricity through the Seebeck effect when

Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.
Published under licence by IOP Publishing Ltd

a temperature difference is applied between their two sides [5]. However, TE devices have not been widely used for power generation because of their low conversion efficiencies [6] and TE modules and generators typically consist of p- and n-type TE legs connected electrically in parallel and series [7]. The efficiency of thermoelectric energy conversion is determined by the dimensionless figure of merit:

$$ZT = \frac{S^2 T}{\rho\kappa} \quad (1)$$

Where S is Seebeck coefficient,
ρ is electrical resistivity,
κ is thermal conductivity,
and T is bsolute temperature [8].

In order to increase *ZT*, it is necessary to decreasing ρ and increasing *S* and reducing κ at the same time.

The thermoelectric device has two functions are thermoelectric generator and thermoelectric cooling, on the other hand, thermoelectric creating a cool side and a hot side by using an electric current, that is Peltier or cooling [9]. In addition, the thermoelectric materials have a three-temperature range, consisted of low-temperature range, medium temperature range, and high-temperature range [10]. In the low-temperature range materials, the most popular is bismuth telluride and antimony telluride [11]. In the medium temperature range, the silicide materials such as magnesium silicide and manganese silicide to use in this range. In the last of high-temperature range is an oxide material such as $NaCo_2O_4$ [12–13] $Ca_3Co_4O_9$ [14–15], $Zn_5In_2O_8$ [16], $SrTiO_3$ [17–18], $CaMnO_3$ [19–20], and ZnO [21–25]. The over the years the performance of the oxide material has been enhanced by the addition of several depots, the improvement of the grain connection, and a variety of methodologies. However, the figure of merit of thermo-electric oxides is lower than 1 ZT about 0.1-0.8 at T = 800–1300 K [9, 26]. Among these oxide TE, $Ca_3Co_4O_9$ [27] and ZnO [28] have been considered as p- and n-type oxides, respectively, due to their relatively high ZT values at high temperatures.

Our work focuses on the generator function and high-temperature range from the oxide material, resist oxidation reaction, and feasibility of using for a long time. We choose p-type $Ca_3Co_4O_9$/n-$Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ for the fabrication of the thermoelectric cells because p-type $Ca_3Co_4O_9$ showed low electrical resistivity and low thermal conductivity and slightly low Seebeck coefficient and n-type $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ are shown high Seebeck coefficient, low thermal conductivity but high electrical resistivity, for this reason, we need to be matching for fabrication TE cell.

2. Materials and Methodology

2.1 Synthesis

Powders of p-type $Ca_3Co_4O_9$ and n-type $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ were prepared by conventional solid-state synthesis starting from the oxides and press to pelleted by hot pressing (HP) method. For n-type we chose $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ as we found this concentration optimal for the thermoelectric properties. The next step was the sintering of the powders by HP to produce pellets for thermoelectric characterization and the production of cells.

2.1.1 Material Preparation and of p-type

Powders of p-type $Ca_3Co_4O_9$ were prepared from calcium carbonate powder $CaCO_3$ (99%, QRëC™.) and cobalt oxide powder Co_3O_4 (99.5%, Aldrich) then their powders were weighed in proper stoichiometric amounts. The precursor powder was mixed by a planetary ball mill (planetary ball mill PM400 RETSCH) was employed to mix $Ca_3Co_4O_9$ powder in agate grinding jar sizes 500 ml with by 5 mm diameter agate balls with the ball-per-powder 18 balls for 10 g at 350 rpm for 5 h, then $Ca_3Co_4O_9$ powder was calcined at 1073 K for 10 h in air. The calcined powder was pressed for pellets by a uniaxial HP at 1123 K with heating rate of 4 ºC/min and under pressed 60 MPa for 1 h in Ar atmosphere after that $Ca_3Co_4O_9$ bulk sample was annealed at 1023 K in air.

2.1.2 Material Preparation of n-type

Powders of n-type $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ were prepared from ZnO (99.5%, QRëC™.) and Al_2O_3 (95%, Ajax Finechem Pty Ltd.) then their powders were weighed in proper stoichiometric amounts. and then mixed by the planetary ball mill using agate balls and vial in ethanol for 24 h at 350 rpm and dried at 353 K for 24 h. The mixed powder was calcined at 773 K for 5 h in air. The calcined powder was pressed for pellets by HP method (OTF-1200x-VHP-4). Which the HP has cylindrical graphite die with 20 mm inner-diameters and under pressed 60 MPa at 1173 K with heating rate 4 ºC/min for 1 h in Ar atmosphere. The pellets were annealed by furnace at 1423 K for 5 h in the air.

The bulk $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ was cut to size $3 \times 3 \times 15$ mm^3 for measurement of the Seebeck coefficient and electrical resistivity by ZEM-3(M10) was gauged in the temperature ranging from room temperature to 1023 K. The thermal conductivity was calculated from thermal diffusivity measured by the laser flash method using a Netzsch LFA-457 apparatus, with a sample size of diameter 9.5 mm and thickness 1 mm can be calculated from the equation:

$$\kappa = \alpha d C_p \tag{2}$$

where κ is Thermal conductivity
Cp is heat capacity
α is thermal diffusivity
d is density

Heat capacity was calculated from the equation of Dulong-Petit:

$$C_p = 3nR \tag{3}$$

where n is the number of atoms per formula unit
R is the gas constant.

2.2 Fabrication thermoelectric cells

Thermoelectric cells were designed by solid works program and assembly by silver plate. The design of thermoelectric cells was stated from assigning the substate size of $25 \times 25 \times 1$ mm^3 for 2 pair, Thermoelectric materials were used in size of $3.5 \times 3.5 \times 6$ mm^3 and as shown in Figure 1. The materials were cut into $3.5 \times 3.5 \times 6$ mm^3 rectangular legs; p-type $Ca_3Co_4O_9$ and n-type $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ then the materials were painted with silver paste on top and bottom, then annealed of 1073 K for 30 minutes in air heating and cooling used 5 K/min. The two-couple annealed p and n legs have been attached to an alumina substrate size of $25 \times 25 \times 1$ mm^3, which etched two columns by using a silver paste, then the silver plate attached on top for joint p and n legs to π-shape. The π-shape TE cell was drying on hot plate 10 minutes for dried silver paste, then the TE cell metalized of 1073 K 30 minutes in air heating and cooling used 5 K/min. When the cell cooled at room temperature connected red and black wire for positive in p and negative in n legs, respectively, then test the power and the failure temperature limit temperature used for TE cell and module.

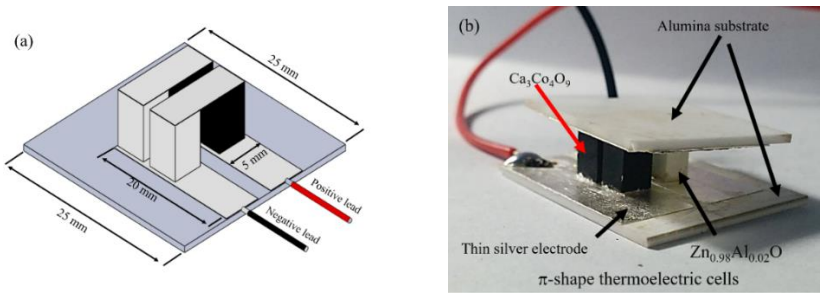


Figure 1. shows (a) cells design of thermoelectric device configuration and (b) π-shape thermoelectric cells.

2.3 Power generation measurement of Thermoelectric generator

The power generation of Thermoelectric generator described above was installed a water cooling and was under a heater, placed over the cells. To measure the temperatures of hot and cold side temperatures, the two K-type thermocouples were attached on the thin mica plate of high temperature and low-temperature sides using an alumina substrate, respectively. A photograph of the output power measurement of thermoelectric module is shown in Figure 2. The output power (W) was calculated by the output voltage (V) and current (I) caused by changing a resistor.

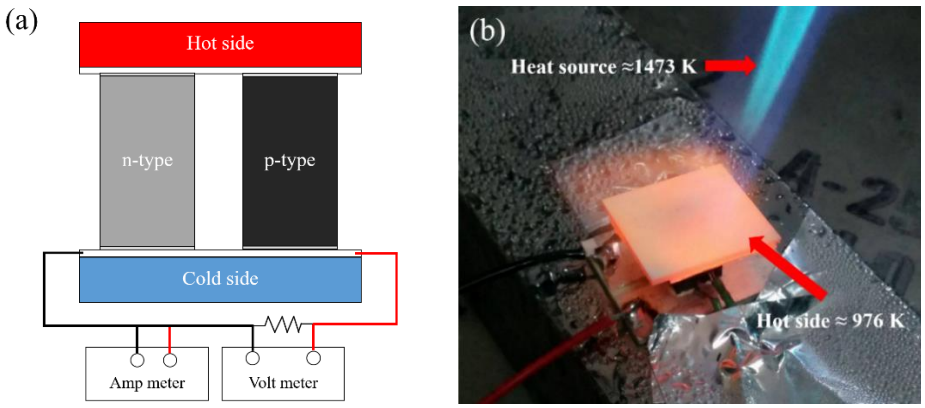


Figure 2. Show (a) the schematic diagram of the power generation measurement of thermoelectric generator, (b) Performance measurement of thermoelectric generator.

3. Results and Discussion

X-ray diffraction pattern analysis by X-ray diffraction technique from 10° to 80° step 0.02° in 1 s, and 2θ angle with CuKα-1 (l = 1.541 Å) at 40 kV and 30 mA, radiation utilizing a Shimadzu diffractometer, XRD-6100at room temperature from $Ca_3Co_4O_9$ powder, hot pressing the diffraction peaks, indexed, by comparison, was PDF# 00-058-0661, as shown in Figure 3 were accomplished for space group 8 Cm (C 1 m1) The main diffraction peaks indicate that the composites are composed of $Ca_3Co_4O_9$ phases [29]. A little impurity phase can also be observed in the composites has shown a single phase with the Monoclinic structure. These observed peak positions are different from the calcined sample pack. The intensity of (002) peaks are initiated peaks for detected to the other (*hkl*) peaks conditions, the (002), (003), (004), (113), (020), (005), (202), (203) and (006) planes on the base of $Ca_3Co_4O_9$ indicated a strong preference of all samples.

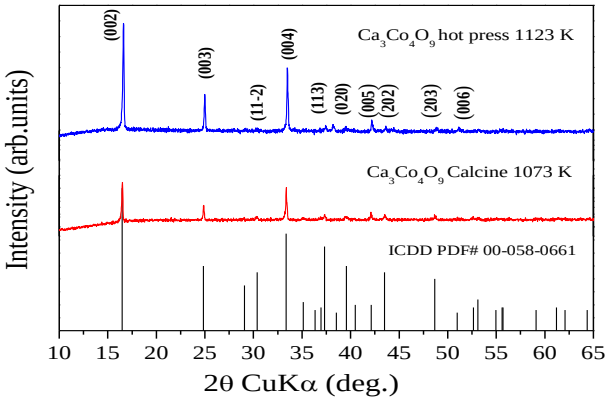


Figure 3. Indexed XRD patterns of $Ca_3Co_4O_9$ from the hot pressing at 1123 K for 1 h in Ar atmosphere.

The XRD patterns analysis by X-ray diffraction technique from 30° to 80° step 0.02° in 1 s, and 2θ angle with CuKα-1 (l = 1.541 Å) at 40 kV and 30 mA, radiation utilizing a Shimadzu diffractometer, XRD-6100at room temperature of $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ are shown in Figure 4. Which all peaks were corresponded with the crystal structure of ZnO ICDD PDF #00-036-1451 and indicated a hexagonal wurzite structure space group of P*6₃mc* (186) [30]. These observed peak positions are different from the calcined sample pack. The intensity of (101) peaks are initiated peaks for detected to the other (*hkl*) peaks conditions, the (100), (002), (002), (110), (103), (200), (112), (201), (204) and (202) planes on the base of $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ indicated a strong preference of all samples. The obtained phase is pure and no peak was observed to correspond to aluminium, which may indicate that aluminium atoms were successfully incorporated in the ZnO lattice.

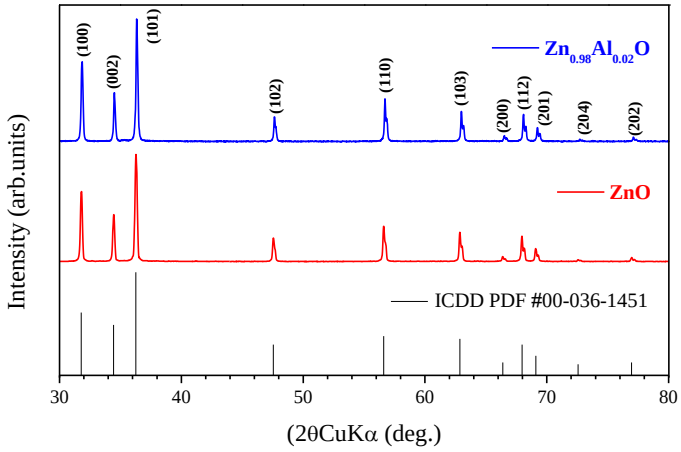


Figure 4. Indexed XRD patterns of $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ from the hot pressing at 1173 K for 1 h in Ar atmosphere.

The crystallite size was calculated by the Scherrer equation:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta\cos(\theta)} \tag{4}$$

where D is the mean particles size, K is a Scherrer constant = 0.9, λ = 1.5406 Å is the wavelength of the used radiation CuKα1. β is the FWHM and θ is the Bragg diffraction angle [31]. The lattice parameters, *c/a* lattice ratio, density and relative density of $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ [32] are shown in Table 1. The lattice parameters of $Ca_3Co_4O_9$ (*a*, *b*, *c*) and volume unit cell (*V*) was calculated according to the following equation (5) and (6), respectively.

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{\sin^2\beta}\left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2\sin^2\beta}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} - \frac{2hl\cos\beta}{ac}\right) \tag{5}$$

$$V = abc\sin\beta \tag{6}$$

The lattice parameters of $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ (a, c) and volume unit cell (*V*) was calculated according to the following equation (7) and (8), respectively.

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3}\left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2}\right) + \frac{l^2}{c^2} \tag{7}$$

$$V = \frac{\sqrt{3}a^2c}{2} \tag{8}$$

Table 1. Show crystallite size, lattice parameter, *c/a* lattice ratio, density and relative density of $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$.

Materials	Crystallite Size (nm)	Lattice Parameter (Å)			*c/a* lattice ratio	volume unit cell (Å^3)	Density (g/cm^3)	Relative density %
		a	*b*	*c*				
$Ca_3Co_4O_9$	45.832	4.8734	4.4722	10.853	2.2270	211.460	4.478	92.60
$Zn_{0.98}Al_{0.02}O$	51.851	3.2490	3.2490	5.2064	1.6024	47.595	5.411	94.50

The morphology of the $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ powders is shown in Figure 5. After HP-sintering, the grain size of $Ca_3Co_4O_9$ is observed that grain does grow larger after sintering and exhibited a dense microstructure of lamellar grains in size and strength. $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ presented randomly oriented grains and increasing aluminum content the morphological to Spherical shape with a homogeneous distribution of the particles which correspond to the report [33].

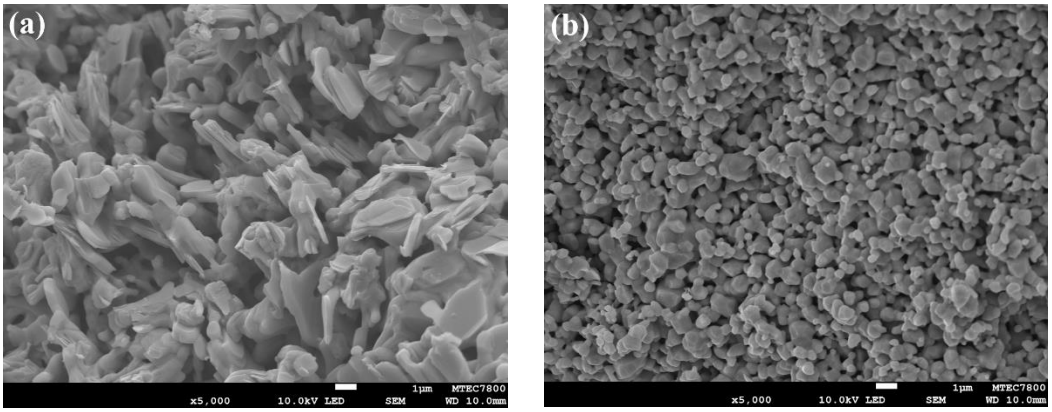


Figure 5. SEM images at magnifications 5000 of (a) $Ca_3Co_4O_9$ and (b) $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$.

The Seebeck coefficient (S) and electrical resistivity (ρ) of $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ were measured by a ZEM-3 technique at room temperature to 1073 K figure 6 shows the dependence of the Seebeck coefficient of $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$, which $Ca3Co_4O_9$ shows positive-type and maximum value about 186 (µV/K) at 973 K and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ shown negative-type maximum about –408 (µV/K) at 1073 K together with references. It's what found that the Seebeck coefficient of our work at high temperature has a high value compared with references.

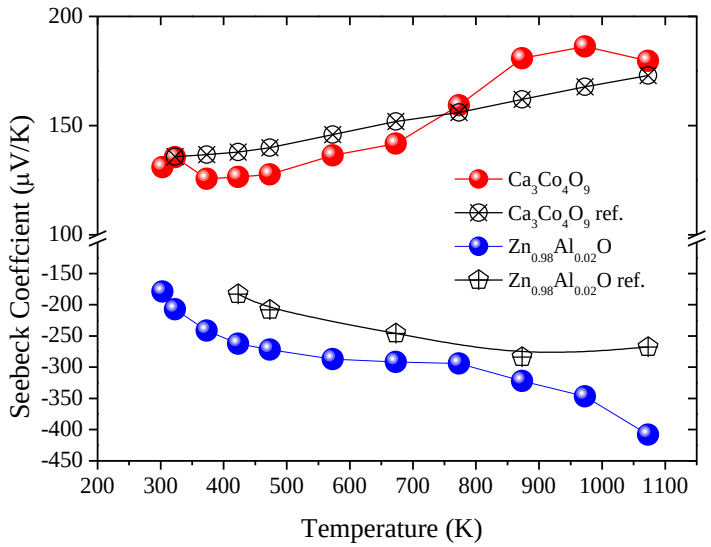


Figure 6. The dependence of the Seebeck coefficient on the temperature of $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ together with references.

The temperature dependence of the electrical resistivity $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ shows in figure 7. $Ca_3Co_4O_9$ was similar behavior corresponding with metal to semiconducting transition in the range of 273–1073 K. $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ showed a semiconducting behavior over the whole measured temperature range at room temperature to 1073 K and electrical resistivity value decreased with increasing of temperature content while $Ca_3Co_4O_9$ value increased with increasing temperature content.
The dependence of the thermal conductivity on the temperature of $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ shows in figure 8 found that he thermal conductivity of the results of all samples was decreased with increasing temperature. At temperature 1073 K $Ca_3Co_4O_9$ thermal conductivity value decreased to 1.38 (W/m K) and the $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ thermal conductivity value decreased to 1.79 (W/m K) same temperature.

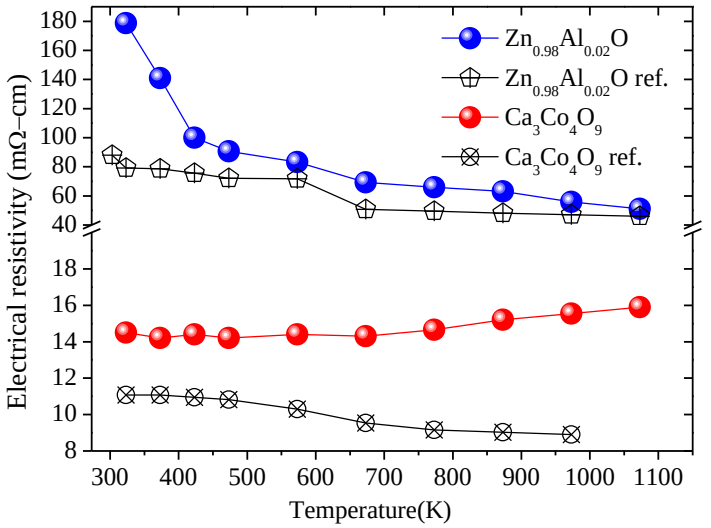


Figure 7. The dependence of the electrical resistivity on the temperature of $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ together with references.

.

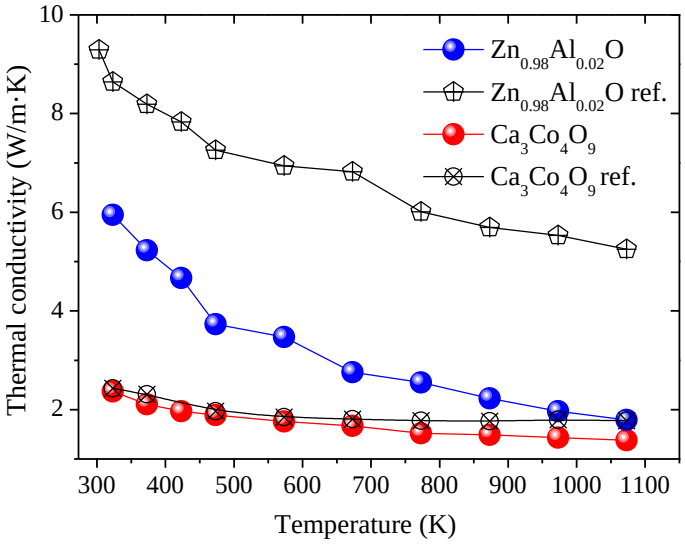


Figure 8. The dependence of the thermal conductivity on the temperature of $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ together with references.

.

The dependence of the Dimensionless figure of merit on the temperature of $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ shows in figure 9. The maximum ZT values of $Ca_3Co_4O_9$, and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ shown 0.0915 and 0.2882 at 1073 K. Plots of thermoelectric properties vs. temperature are reported while values at temperature 1073 K are summarized in Table 2.

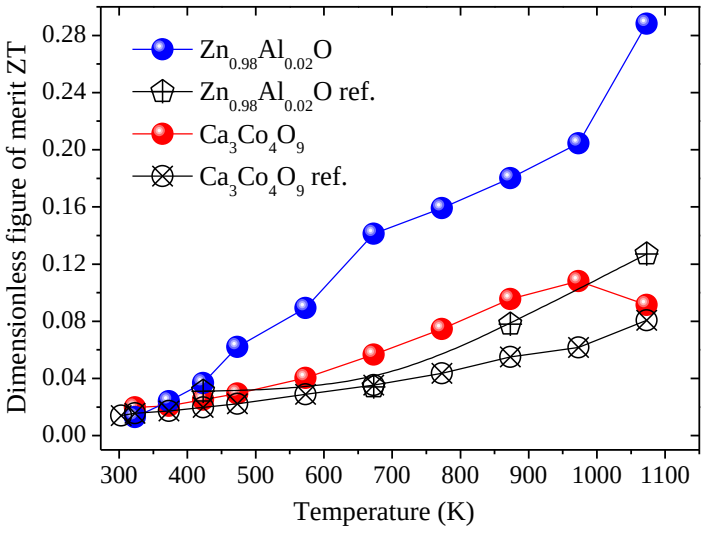


Figure 9. The dependence of the Dimensionless figure of merit on the temperature of $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ together with references**.**

Table 2. Summary of the thermoelectric properties of $Ca_3Co_4O_9$ and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ at 1073 K

Materials	Temperature HP (K)	Thermoelectric properties			
		S (μV/K)	ρ (mΩ cm)	κ (W/m K)	ZT
$Ca_3Co_4O_9$	1123	186	15.9	1.38	0.0915
$Zn_{0.98}Al_{0.02}O$	1173	–408	51.1964	1.79	0.2882

Figure 10 shown the open-circuit voltage was an output voltage and current distribution of TEG with thermoelectric cells assembled in series, the open-circuit voltage of the thermoelectric module was increased with increasing temperature difference from 28–603 K. The 2 pairs p-n junction thermoelectric module generated maximum open-circuit voltage 87.92 (mV) at a temperature different 345 K at hot side temperature 976 K in a 30-time circle. Figure 11 shows the electric power shown at about 7.96 (mW) at a temperature different 345K. and the eclectic power is shown about 7.96 (mW) at hot side temperature 976 K in a 30-time circle. The module can be used at high temperature and stable with used in heat source 1473 K.

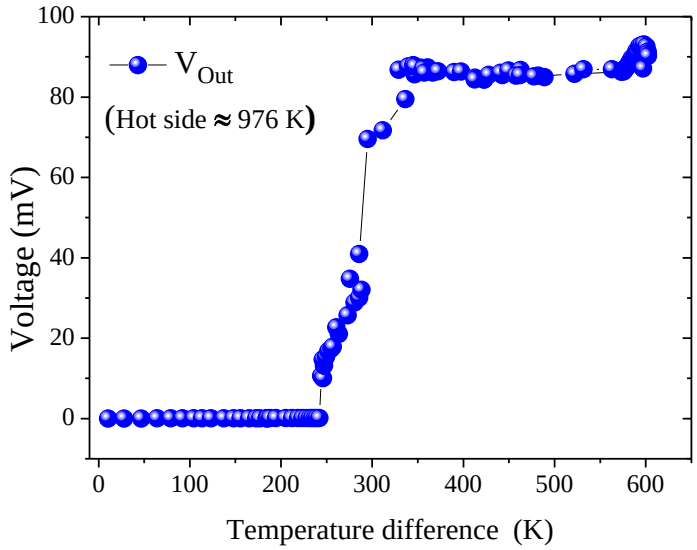


Figure 10. The dependence of the open circuit voltage on the temperature difference of TE cells 2 pairs.

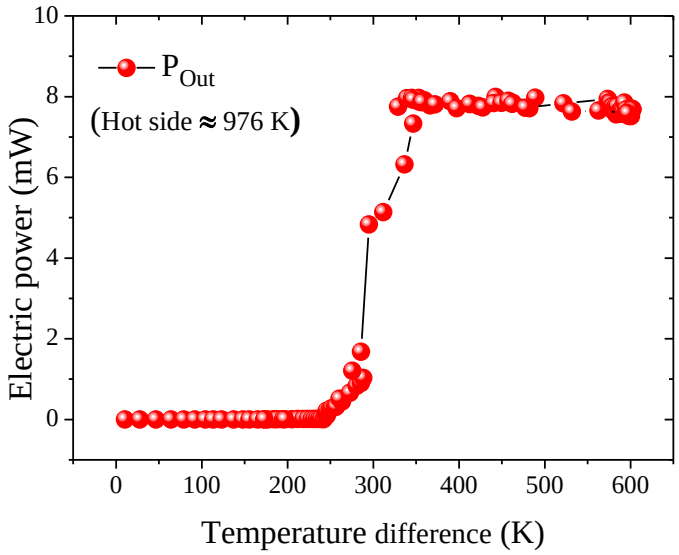


Figure 11. The dependence of the electric power on the temperature difference of TE cells.

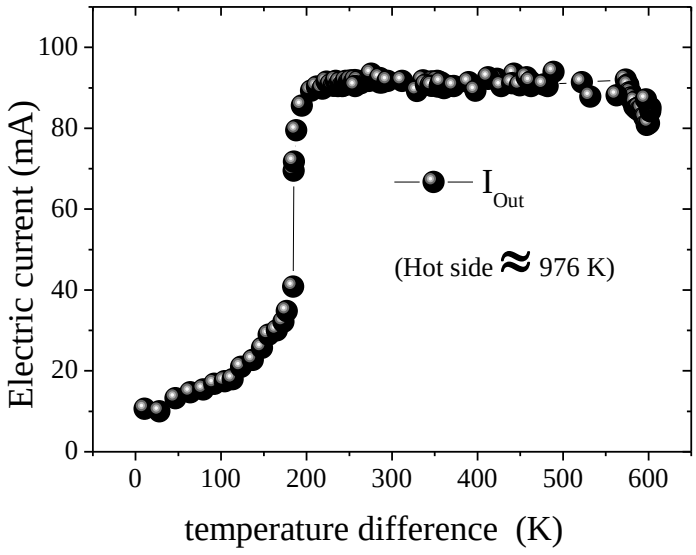


Figure 12. The dependence of the electric current on the temperature difference of TE cells.

Figure 12 show the electric current on the temperature difference of TE cells 2 pairs can be was calculated according to the following equation:

$$I = \frac{P}{V} \tag{9}$$

where I is electric current (A)
P is electric power (W)
and V is voltage (V)

which data of P and V from Figure 10 and 11 the maximum value of the electric current is 93.9 mA at temperature difference 489 K.

4. Conclusion

Successfully for synthesis $Ca_3Co_4O_9$, and $Zn_{0.98}Al_{0.02}O$ by solid-state reaction method and pelleted by the hot-pressing method be used to fabrication thermoelectric cells. The open-circuit voltage of thermoelectric cells was increased with increasing temperature difference from 28–603 K. The 2 pairs p-n junction thermoelectric cells generated maximum open-circuit voltage 87.92 (mV), and the eclectic power is shown about 7.96 (mW) at hot side temperature 976 K in a 30-time circle. The cells can be used at high temperature and stable with used in heat source 1473 K. The thermoelectric cells p-n junction 2 pairs generated maximum voltage about 93.04 mV, power 8 mW and efficiency of 0.229 % at temperature difference 735 K (hot size 976 K) The cells have been feasibilities to fabrication thermoelectric generator. The module has been feasible to fabricate thermoelectric generators and developed a method for fabricated high stability module. In future work, we will improvement of the thermoelectric properties of the materials and thermoelectric modules for the high performance of the module.

Acknowledgments

This work has been funded by Project researchers and research to industry (RRi) PHD59I0003 and the Research Career Development (Grant No. RSA6180070). The ZME-3, XRD, Hotpress, and synthesis equipment were supported Center of Excellence on Alternative Energy and the Netzsch LFA-457 apparatus Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University, Osaka, Japan

References

[1] Choi S M, Lee K H, Lim C H, Seo W S,2011 *ENERG CONVERS MANAGE*. vol. 52 *Issue.*1 pp 335–339
[2] Erturun U, Erermis K, Mossi K 2014 *Appl. Therm. Eng.* vol. 73 pp126–139
[3] Nazri N S, Fudholi A, Bakhtyar B, Yen C H, Ibrahim A, Ruslan M H, Mat S, Sopian K 2018 *Renew. Sustain. Energy Rev.* vol. 92 pp 187–197
[4] Funahashi R, Mikami M, Mihara T, Urata S, Ando N 2006 *J. Appl. Phys.* vol. 99 pp 2012–2015
[5] Kim S 2013 *Appl. Energy.* vol. 102 pp 1458–1463
[6] Chen Z G, Hana G, Yanga L, Cheng L, Zou J 2012 *Prog. Nat. Sci. Mater. Int.* vol. 22 pp 535–549
[7] Huesgen T, Woias P, Kockmann N 2008 *Sens. Actuator A Phys.* vol. 145–146 pp 423–429
[8] Park K, Lee G W, 2013 *Energy*. Vol. 60 pp 87–93
[9] He J, Liu Y, Funahashi R 2011 *Mater. Res.* Vol. 26 pp 1762–1772
[10] Ohtaki M 2010 *Micro Review*. *Special Issue.* pp 1–16
[11] Lan J L, Liu Y C, Zhan B, Lin Y H, Zhang B, Yuan X, Zhang W, Xu W, Nan C W 2013 *Adv. Mater.* Vol. 25 pp 5086–5090
[12] Meng J H, Zhang X X, Wang X D 2014 *J. Power Sources.* Vol. 245 pp 262–269
[13] Wu D, Zhao L D, Tong X, Li W, Wu L, Tan Q, Pei Y, Huang L, Li J F, Zhu Y, Kanatzidis M G, He J 2015 *Energ. Environ. Sci.* Vol. 8 pp 2056–2068
[14] Hsu C T, Huang G Y, Chu H S, Yu B, Yao D J, 2011 *Appl. Energy.* Vol. 88 pp 1291–1297
[15] Li J, Sui J, Pei Y, Barreteau C, Berardan D, Dragoe N, Cai W, He J, Zhao L D 2012 *Energ. Environ. Sci.* Vol. 5 pp 8543–8547
[16] Noudem J G, Kenfaui D, Chateigner D, Gomina M 2012 *Scripta Mater.* Vol. 66 pp 258–260
[17] Muta H, Kurosaki K, Yamanaka S 2004 *J. Alloy. Compd.* Vol. **368** Issues 1–2 pp 22–24
[18] Ohta H 2007 *Materials Today* Vol. **10** pp 44–49
[19] Funahashi R, Kosuga A, Miyasou N, Takeuchi E, Urata S, Lee K, Ohta H, Koumoto K 2007 *Proc. of 2007 International Conf. on Thermoelectrics*, pp.124-128.
[20] Liu C J, Baskhar A, Juan J J 2001 *Appl. Phys. Lett.* Vol. **96**, pp 214101
[21] Ohtaki M, Tsubota T, Eguchi K, Arai H 1996 *J. Appl. Phys.* Vol. **79** pp 1816

[22] Ohtaki M, Araki K, Yamamoto K 2009 *J. Electr. Mater.* Vol. **38** pp 1234
[23] Ma N, Li J F, Zhang B P, Lin Y H, Ren L R, Chen G F 2010 *J. Phys. Chem. Solids* Vol. **71** pp 1344
[24] Kim K H, Shim S H, Shim K B, Niihara K, Hojo J 2005 *J. Am. Ceram. Soc.* Vol. **88**, pp 628
[25] Fergus J W 2012 *J. Eur. Ceram. Soc.* Vol. **32** pp
[26] Ohtaki Mn 2011 *J. Ceram. Soc. Japan* Vol. **119** pp 770
[27] Walia S, Balendhran S, Nili H, Zhuiykov S, Rosengarten G, Wang Q H, Bhaskaran M, Sriram S, Strano M S, Kalantar-zadeh K 2013 *Prog. Mater. Sci.* Vol. 58 pp 1443–1489.
[28] Sondergaard M, Bojesen E D, Borup K A, Christensen S, Christensen M, Iversen B B 2013 *Acta Mater.* Vol. 61 pp 3314–3323
[29] Constantinescu G, Sarabando A R, Rasekh S, Lopes D, Sergiienko S, Amirkhizi P, Frade R J, Kovalevsky V A 2020 *Materials (Basel).* Vol. 13, 1060 pp 1–21
[30] Narjis A, Aakib H E, Boukendil M, Hasnaoui M E, Nkhaili L, Aberkouks A, Outzourhit A 2020 *J. King Saud Univ. Sci.* Vol. 32 pp 1074–1080
[31] Cheng H, Xu X J, Hng H H, Ma J 2009 *Ceram. Int.* Vol. 35 pp 3067–3072
[32] Morkoç H, Özgür Ü 2009. *Zinc oxide: fundamentals. Materials and Device Technology. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,* Weinheim. Chapter 1.
[33] Zhang Z and Mu J 2007 *J Colloid Interface Sci.* Vol. 307 pp 79–82

Materials Research Bulletin 141 (2021) 111359

Contents lists available at ScienceDirect

Materials Research Bulletin

journal homepage: www.elsevier.com/locate/matresbu

Investigation of electron and phonon transport in Bi-doped $CaMnO_3$ for thermoelectric applications

Edi Suprayoga [a,*], Witha B.K. Putri [a], Kunchit Singsoog [b], Supasit Paengson [b,c], Muhammad Y. Hanna [a], Ahmad R.T. Nugraha [a], Dicky R. Munazat [d], Budhy Kurniawan [d], Muhammad Nurhuda [e], Tosawat Seetawan [b,c], Eddwi H. Hasdeo [a,f]

[a] Research Center for Physics, Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Tangerang Selatan 15314, Indonesia
[b] Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000, Thailand
[c] Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000, Thailand
[d] Department of Physics, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia
[e] Department of Physics, Brawijaya University, Malang 65145, Indonesia
[f] Physics and Materials Science Research Unit, University of Luxembourg, L-1511, Luxembourg

ARTICLE INFO

Keywords:
Oxides
Thermoelectrics
Thermal conductivity
Electronic structure

ABSTRACT

The electron and phonon transports in $CaMnO_3$ and in one of its Bi-doped counterparts, namely, $Bi_{0.03}Ca_{0.97}MnO_3$, are investigated using the thermoelectric transport measurements and first-principles calculations. We find that antiferromagnetic insulator $CaMnO_3$ breaks the Wiedemann–Franz law with the Lorenz number reaching four times that of ordinary metals at room temperature. Bismuth doping reduces both the electrical resistivity and Seebeck coefficient of $CaMnO_3$; thus, it recovers the Wiedemann–Franz law behavior. In addition, $Bi_{0.03}Ca_{0.97}MnO_3$ possesses a shorter phonon lifetime according to the transport measurements. As a result, $Bi_{0.03}Ca_{0.97}MnO_3$ exhibits superior thermoelectric properties over pristine $CaMnO_3$ owing to the lower thermal conductivity and electrical resistivity.

1. Introduction

Perovskite oxides have attracted extensive attention in the last decades owing to their rich physical properties [1–3]. Strongly correlated electrons that originate from transition-metal atoms cause various ground states, such as antiferromagnetic (AFM) insulators [4,5], ferromagnetic metals [6], and high-T_c superconductors [7]. These strongly correlated perovskite oxides can, in particular, be applied to sensor technology by utilizing their piezoelectric and giant magnetoresistance [8,9] as well as in energy-harvesting technology, e.g., in solar cells and thermoelectric (TE) devices [10–13].

TE materials are a class of materials that can convert heat into electricity [14,15]. Efficient TE materials are thermally inert while simultaneously being electrically conducting. These requirements provide researchers a challenge in designing TE materials because the moving electrons that constitute current in regular metals also carry heat. According to the Wiedemann–Franz (WF) law, the ratio of electron thermal conductivity κ_e to electrical conductivity σ is proportional to the temperature [16]. Thus, a possible method of improving the TE efficiency is by breaking the WF law. Breaking the WF law might be realized, e.g., by introducing strongly correlated Coulomb interactions [17–19].

Perovskite oxides are considered strongly correlated electronic systems. In this regard, we propose that one of the simplest perovskite oxides, i.e., $CaMnO_3$ (or "CMO") with proper doping can be a potential candidate for nontoxic and easily prepared TE materials. CMO is structurally stable even at temperatures above 900 °C; thus, it is suitable for high-temperature TE materials [20]. At its ground state, CMO behaves as an insulator with an AFM order that originates from the Mott-like correlation [11,21]. The strongly correlated interaction in this system is responsible for the gap opening and AFM ground states of CMO. At higher temperature, its electrical conductivity increases, thus allowing better TE performance. When it is doped with Bi into the Ca site, a double-exchange interaction between two different Mn ions, which is mediated by oxygen, delocalizes electrons, which allows metal ferromagnetic ground states [22]. We must note that whereas electronic

* Corresponding author.
E-mail addresses: edis008@lipi.go.id (E. Suprayoga), t_seetawan@snru.ac.th (T. Seetawan), eddw001@lipi.go.id (E.H. Hasdeo).

https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2021.111359
Received 12 October 2020; Received in revised form 30 March 2021; Accepted 12 April 2021
Available online 19 April 2021
0025-5408/© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.

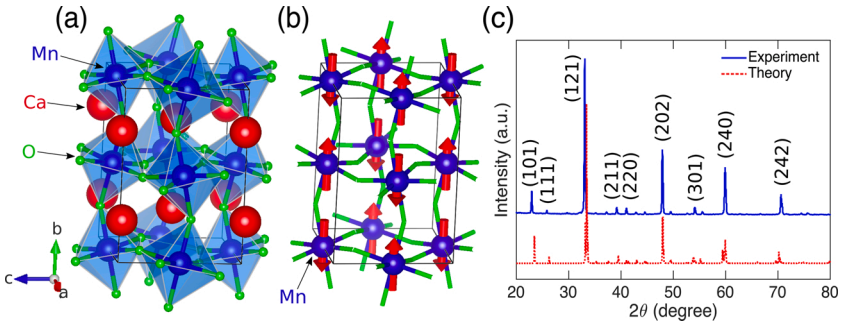


Fig. 1. Characterization of the CMO geometrical structure. (a) Geometrical structure of CMO. The (red) Ca atoms are located at the center of the orthorhombic lattice, the (blue) Mn atoms are at the edges, and the (green) O atoms surround the Mn atoms, making an octahedral structure. (b) CMO exhibits an AFM ground state. (c) XRD pattern of CMO. The (solid blue line) experimental XRD plot is compared with the (red dashed line) theoretical XRD. The orientation of each peak is given in terms of the Miller index. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article).

contribution to the transport properties has been well understood, the phonon contribution to the thermal conductivity and the role of Bi doping in the phonon transport in CMO remain unclear.

The present study aims to investigate the electron and phonon transport properties in CMO and Bi-doped CMO (abbreviated as "BCMO") using a combination of TE transport measurements and first-principles calculations of the Seebeck coefficient, electrical conductivity, and thermal conductivity. We choose $Bi_{0.03}Ca_{0.97}MnO_3$ as BCMO in the present study because of our expectation that this particular compound provides the best TE performance among various compositions of BCMO [13]. The Seebeck coefficients, electrical resistivities, and thermal conductivities are measurable quantities in the experiments compared with the first-principles calculations. By calculating the electronic structure and phonon energy of the materials (and comparing them with the experimental results), we can possibly obtain essential quantities that determine the transport properties of materials, such as the chemical potential, electron lifetime, phonon lifetime, phonon Debye temperature, and sound velocities. As a supplement, we also introduce Raman spectroscopy to understand the role of Bi doping in the phonon transport.

This paper is organized as follows. The experimental and theoretical methods are presented in Sections 2 and 3, respectively. The geometrical CMO structure is confirmed using X-ray diffraction (XRD), as discussed in Section 4.1. The electronic transport properties of CMO and BCMO are presented in Sections 4.2 and 4.3, respectively. The phonon contribution to thermal conductivity is presented in Section 4.4. Finally, conclusions are given in Section 5.

2. Experimental methods

To prepare for the characterization of the TE properties, we synthesized the CMO and BCMO materials using the solid-state reaction and hot-press methods. The raw materials, including $CaCO_3$ (from QReC, purity ≥99%), MnO_2 (Fisher Scientific; purity ≥99.99%), and Bi_2O_3 (QReC, purity ≥99.5%), were mixed using a planetary ball mill (RETSCH PM 400) in ethanol for 12 h. The mixed powder was calcined at 1273 K for 24 h in the atmosphere and then hot-pressed at 1173 K for an hour under 60 MPa pressure in argon atmosphere. The hot-pressed pellets were annealed at 1473 K for 36 h in air. We pulverized the pellets into powder for crystal-structure analysis using the XRD technique (using Shimadzu 6100) with CuKα radiation. The scan speed is 2 °/min, whereas the scan range is within 2θ of 20–80 °.

The Seebeck coefficient (S) and electrical resistivity (ρ) were measured using the four-point probe method at a temperature range of 300–473 K in the atmosphere. The values of S in this experiment were obtained from the formula $S = -\Delta V/\Delta T$, where T is temperature and V is the voltage. We obtain the values of ρ from the formula $\rho = RA/l$, where R is the resistance, A is the cross-sectional area of the material, and l is the probe distance. The thermal conductivity (κ) was measured using the steady-state method according to the relationship $\kappa = -\dot{Q}l/A\Delta T$, where $\dot{Q}$ is the heat rate.

3. Theoretical methods

To obtain accurate geometry and electronic structures of the materials, we perform first-principles density-functional theory (DFT) calculations using the projected augmented wave and spin-polarized bases, as implemented in the `Quantum ESPRESSO` package [23]. To consider the exchange-correlation effects, we employ the revised generalized-gradient approximation proposed by Perdew, Burke, and Ernzerhof, which was implemented in the so-called PBEsol functional [24] and was appropriate for a densely packed solid surface. At the ground state, CMO is an AFM material [25], and it belongs to a *Pnma* space group containing 20 atoms in the unit cell (see Fig. 1). According to a previous study by Molinari et al. [11], we add Coloumb interaction potential $U = 5$ eV on the DFT+U level to account for the localized Mn states. The converged result is obtained using the 6 × 6 ×6 k-mesh sampling in the Monkhorst–Pack scheme and kinetic-energy cutoff of 65 Ry. All atoms are relaxed until all forces are smaller than 1×10^{-5} Ry/a.u. The density of states (DOS), which is defined as the number of states at given energy E, is obtained using the tetrahedron method through the formula $\mathrm{DOS}(E) = \sum_{\mathbf{ik}} \delta(E_{\mathbf{ik}} - E)$ [26], where $E_{\mathbf{ik}}$ is the energy dispersion relationship in the ith electronic-energy band. We also calculate the phonon frequencies and eigenvectors of CMO at the Γ point (center of the Brillouin zone). The force constant is obtained from the density-functional perturbation theory (DFPT)+U scheme [27], whereas the phonon frequencies and eigenvectors can be obtained by solving the dynamic matrix equation.

To understand the role of Bi doping in the electronic transport, we then calculate the electronic structure of BCMO by considering the 2 × 2 ×2 supercell of CMO consisting of 32 Ca atoms. We replace one Ca atom at the center of the supercell with one Bi atom to obtain 3.125% Bi doping. From the electronic structures ($E_{\mathbf{ik}}$) of CMO and BCMO, we can calculate the Seebeck coefficient (S), electrical conductivity (σ), and electronic thermal conductivity (κ_e) at the measurement temperature in the linear Boltzmann transport theory and the relaxation-time approximation (RTA) as implemented in the BoltzTraP package [28]. The equations for S, σ, and κ are expressed as [14,29,30],

$$S = -\frac{1}{\mathrm{qT}} \frac{\sum_{i,\mathbf{k}} (E_{i\mathbf{k}} - \mu) v_{i\mathbf{k}}^2 \frac{\partial f_{i\mathbf{k}}}{\partial E_{i\mathbf{k}}}}{\sum_{i,\mathbf{k}} v_{i\mathbf{k}}^2 \frac{\partial f_{i\mathbf{k}}}{\partial E_{i\mathbf{k}}}}, \tag{1}$$

$$\sigma = -\frac{q^2}{\mathrm{NV}} \sum_{i,\mathbf{k}} \tau v_{i\mathbf{k}}^2 \frac{\partial f_{i\mathbf{k}}}{\partial E_{i\mathbf{k}}}, \tag{2}$$

$$\kappa_e = \frac{1}{\mathrm{NV}} \sum_{i,\mathbf{k}} - \frac{(E_{i\mathbf{k}} - \mu)^2}{T} v_{i\mathbf{k}}^2 \tau \frac{\partial f_{i\mathbf{k}}}{\partial E_{i\mathbf{k}}} - \mathrm{TS}^2\sigma, \tag{3}$$

where $q = \pm 1.602 \times 10^{-19}$C is the fundamental carrier charge of the electron and hole, respectively, T is the average temperature of the material, N is the number of $\mathbf{k}$ points in the Brillouin zone, V is the volume of a unit cell, μ is the Fermi energy, $f_{i\mathbf{k}}$ is the Fermi–Dirac distribution, $v_{i\mathbf{k}}$ is the electronic group velocity at a particular direction,

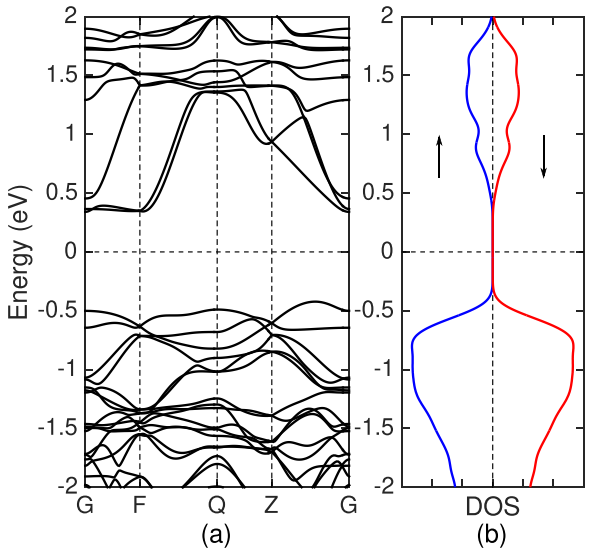


Fig. 2. Electronic structure of CMO. (a) Energy dispersion. (b) Density of states. The blue and red lines refer to the spin-up and spin-down states, respectively. (For interpretation of the references to color in the text, the reader is referred to the web version of this article).

and τ is the relaxation-time constant. We assume that scattering rate τ^{-1} is proportional to the temperature. We should also note that the summations in Eqs. (1)–(3) are performed over not only all possible **k** points but also band index *i*.

Phonon thermal conductivity κ_{ph} is calculated using the Debye–Callaway model and RTA. Its formula is [31]

$$\kappa_{\rm ph} = \frac{k_B}{2\pi^2 \nu}\left(\frac{k_B}{\hbar}\right)^3 T^3 \int_0^{\Theta_D/T} \tau_{\rm ph}(x)\frac{x^4 e^x}{(e^x-1)^2}\,{\rm dx}, \tag{4}$$

where $x = \hbar\omega/k_B T$, k_B is the Boltzmann constant, ν is the effective sound velocity, $\hbar$ is the reduced Plank constant, $\Theta_D = \hbar\omega_D/k_B$ is the Debye temperature with $\hbar\omega_D$ being the largest phonon energy of the system, and τ_{ph} is the phonon relaxation time. In this model, we assume that the Umklapp scattering dominates over the other scattering events, and it takes the following relaxation-time form [32]:

$$\tau_{\rm ph}^{-1}(\omega) = \frac{\hbar\gamma^2}{{\rm M v}^2\Theta_D}\omega^2 T, \tag{5}$$

where γ is the Grüneissen parameter and M is the average atomic mass.

4. Results and discussion

4.1. CMO geometrical and electronic structure

Fig. 1(a) shows the orthorhombic perovskite unit cell of pristine CMO. In this structure, the Mn ions are surrounded by six O ions, making an octahedral coordination. The magnetic properties of this material originate from the 3d orbitals of the Mn^{4+} ions. At the ground state, CMO favors AFM ordering because of the spin configuration of the Mn sublattices [33], as shown in Fig. 1(b). In the present study, we attempt to optimize the geometrical structure using the total energy minimization method. The relaxed structure is compared with the XRD of the CMO sample shown in Fig. 1(c). The blue line shows the experimental results, whereas the red line is obtained from DFT, which are in good agreement with those in the experiment. The calculated lattice constants are $a = 5.3265$Å, $b = 7.4319$Å, and $c = 5.2523$Å, with a discrepancy of approximately 0.5% from the experimental results.

The electronic structure is calculated by considering the relaxed structure. We obtain the electronic-band structure of CMO as shown in Fig. 2(a), which is consistent with the previous calculations [34]. From the result, we obtain an indirect bandgap of approximately 0.76 eV. Compared with our temperature of interest in the range of 300–500 K, the bandgap is relatively small. At the ground state, CMO exhibit an AFM insulating state, which is in good agreement with previous optical spectroscopy results [35]. The DOS of CMO in the spin-up (blue line) and spin-down (red line) cases are shown in Fig. 2(b).

4.2. CMO electronic transport

From the electronic-band structure, we can obtain the charge concentration and group velocity of the electrons to determine the electronic transport properties of the materials, according to Eqs. (1)–(3).

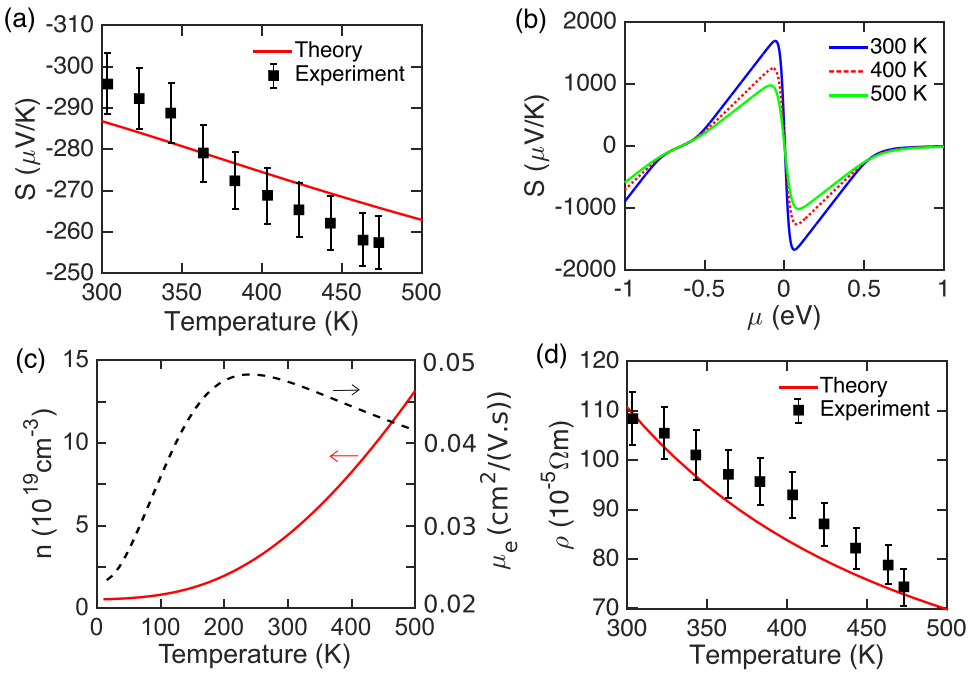


Fig. 3. Transport properties of pristine CMO. (a) The (dots) experimental Seebeck coefficients S are compared with the (red line) theoretical results at chemical potential $\mu = 0.5$ eV. The y-axis is inverted to emphasize the absolute value of S while keeping the negative sign for the n-type semiconductors. (b) Plot of theoretical S as a function of chemical potential μ under RTA. At small μ, the Seebeck coefficient can be optimized to reach ~1600 μV/K. (c) Plot of the (solid red line) carrier concentration that optimizes S and (black dashed line) carrier mobility as a function of temperature. (d) (Dots) experimental resistivity ρ compared with (red line) theoretical resistivity in Eq. (2). We have adopted $\tau^{-1} \propto T$ in the theoretical model. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article).

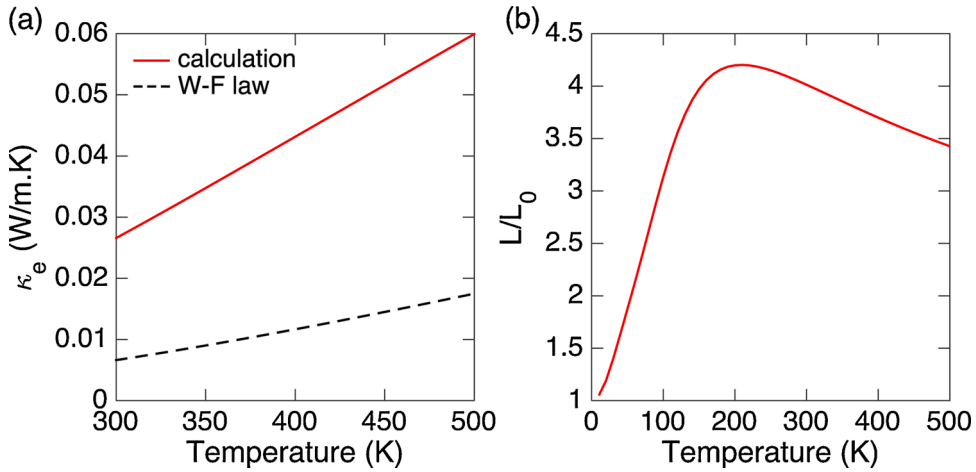


Fig. 4. (a) (solid red line) Electronic thermal conductivity κ_e of pristine CMO as a function of temperature obtained from Eq. (3) compared with the (black dashed line) prediction from the WF law. (b) Calculated Lorenz number as a function of temperature in units of $L_0 = (\pi k_B/e)^2/3$. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article).

The calculated Seebeck coefficients obtained from Eq. (1) are shown in Fig. 3(a) and compared with the experimental results (dots). The Seebeck coefficients modeled in Eq. (1) only depend on Fermi energy μ and the temperature. By fitting this coefficients with the experimental results of S versus T, we obtain Fermi energy $\mu = 0.5$ eV, which is measured from the theoretical charge neutrality point (horizontal dashed line) shown in Fig. 2(a). This result means that the Fermi energy is at the edge of the conduction band. Although we obtain μ from a self-consistent DFT calculation, shifting μ within the gap does not change the geometrical structure at the ground state.

The negative sign of the Seebeck coefficient indicates that CMO is n-doped. The inverse proportionality of $|S|$ with respect to T originates from the semiconducting or insulating nature of CMO [14]. This inverse proportionality also persists in different μ. The sign change of S occurs due to the ambipolar effect following the electron or hole charge as majority or minority carriers [36].

Theoretically, the Seebeck coefficient may be amplified by one order of magnitude if the Fermi energy is located near $\mu = 0$, as shown in Fig. 3(b). Such a high Seebeck coefficient has been obtained in organic perovskites and can be achieved in perovskite oxides [37]. Adjusting the Fermi energy to optimize $|S|$ involves modifying the carrier concentration or doping the system. In CMO, we find that the corresponding carrier concentration at room temperature should be approximately 5×10^{19} cm^{-3}. Furthermore, the carrier mobility (μ_e) can be directly derived from the formula $\mu_e = \sigma/n\ e$, where σ is the electron conductivity, e is the absolute value of the electron charge, and n is the carrier concentration. The carrier concentration and carrier mobility as a function of temperature are plotted and shown in Fig. 3(c), which shows that the mobility values in CMO vary within 0.02–0.05 cm^2/V.s and reach an optimum value at a temperature near 200 K.

We can further determine electrical resistivity $\rho = 1/\sigma$ from Eq. (2) and compare the calculated result with the experimental result. Fig. 3(d) shows ρ as a function of temperature. We obtain $\tau^{-1} = \alpha T + \beta$ with $\alpha = 0.008$ fs^{-1} K^{-1} and $\beta = 0.4$ fs^{-1}. Transport lifetime τ is proportional to the transport mobility and is needed to characterize the number of defects and device performance. τ^{-1} is proportional to the temperature,

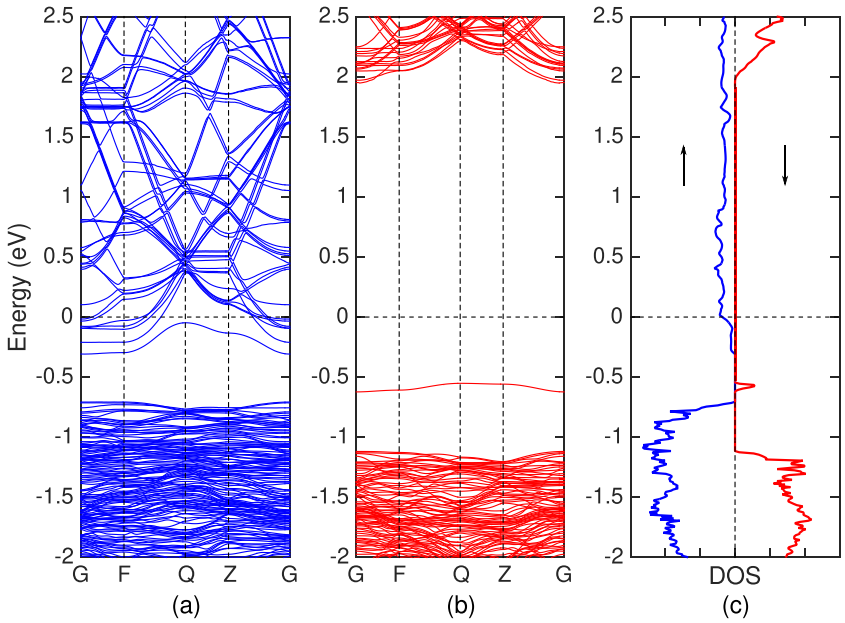


Fig. 5. Electronic band structure of BCMO for (a) spin-up and (b) spin-down states. (c) Density of states of BCMO. The blue and red lines refer to the spin-up and spin-down states, respectively. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article).

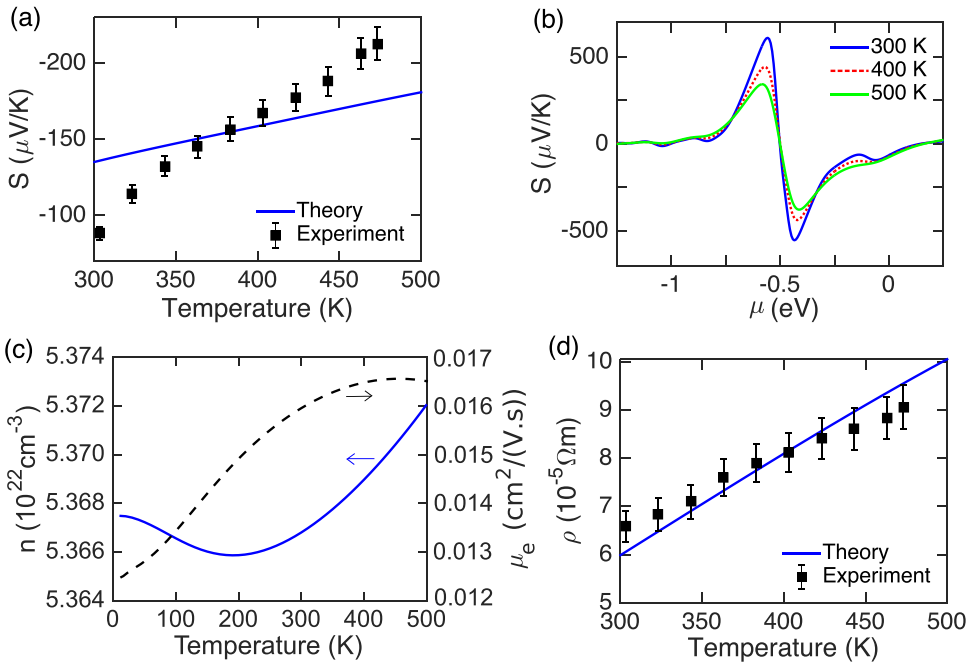


Fig. 6. Transport properties of pristine BCMO. (a) (blue line) Seebeck coefficient S as a function of temperature from Eq. (1) and (dots) the experimental results. (b) Plot of theoretical S as a function of chemical potential μ. (c) Plot of (solid blue line) carrier concentration and (black dashed line) carrier mobility as a function of temperature. (d) (Dots) experimental ρ compared with (blue line) theoretical ρ in Eq. (2). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article).

as expected, in the electron–phonon scattering, i.e., the number of phonons increases due to the thermal excitation. The decrease in ρ as a function of temperature is expected from the Drude model of semiconductors. ρ is inversely proportional to the carrier concentration, whereas the carrier concentration increases due to the thermal excitation.

According to the previously obtained parameters (μ and τ), we show calculated electronic thermal conductivity κ_e from Eq. (3) in Fig. 4(a). We can compare the electron efficacy in the conducting heat versus current using the WF law, i.e., $\kappa_e = L\,T/\rho$, where L is the Lorenz number. For ordinary metals, we have $\kappa_e^{(0)} = L_0 T/\rho$, where $L_0 = (\pi k_B/e)^2/3$. Introducing ρ to that shown in Fig. 3(d), we obtain $\kappa_e^{(0)}$ as indicated by the dashed line shown in Fig. 4(a). The κ_e value is typically approximately four times larger than expected $\kappa_e^{(0)}$ from the WF law with temperature dependence, as shown in Fig. 4(b). These results imply that the localized electrons in the Mn orbitals more efficiently conduct heat than the current, resulting in a drawback for TE application. Violation of the WF law due to strong correlation [17–19] and bipolar effects [38] has been reported. However, the bipolar effects show weak dependence on L/L_0 versus T. Thus, we attribute the breakdown of the WF law to the strong correlation. The relationship of L with the strength of Coulomb interaction U is very instructive to study in detail. However, to understand this phenomenon, an in-depth investigation will be presented elsewhere because it is not of primary importance in the present study where the κ_e value is negligible compared with the total κ value shown in Fig. 8. As shown in Fig. 7, the Bi substitution at the Ca site reduces the L/L_0 ratio, hence the recovery of the metallic nature.

4.3. BCMO electronic structure and transport

One way of improving the TE properties of CMO is by performing atomic substitution of Bi at the Ca site. With this substitution, the two different ions, namely, Mn^{3+} that sits next to the Bi ion and Mn^{4+} near the Ca ions, perform a double exchange (DE) mechanism mediated by oxygen [39]. This DE interaction delocalizes the electrons in the Mn d orbitals and favors the metal ferromagnetic ground state [22], as shown in the DOS of BCMO in Fig. 5(c). From the electronic-band structure results shown in Fig. 5(a) and (b), the Fermi energy lies in the conduction band with an imbalanced spin-up population over the spin-down component. As a result, the electronic transport properties

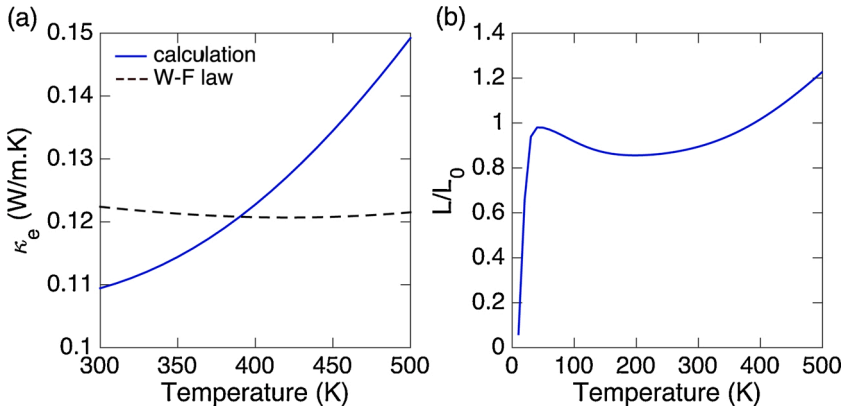


Fig. 7. (a) (Blue solid line) electronic thermal conductivity κ_e of BCMO as a function of temperature from Eq. (3) compared with the (black dashed line) prediction from the WF law. (b) Calculated Lorenz number as a function of temperature compared with $L_0 = (\pi k_B/e)^2/3$. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article).

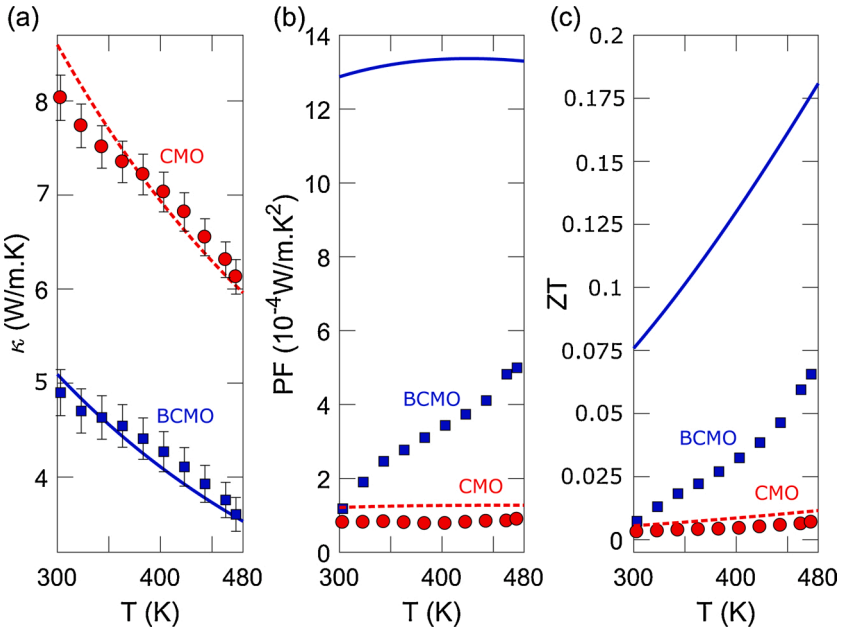


Fig. 8. TE properties of CMO and BCMO. The experimental (theoretical) results are denoted by symbols (lines). The red circles and dashed lines refer to CMO, whereas blue squares and solid lines refer to BCMO. Panel (a) shows experimental thermal conductivity κ and theoretical phonon thermal conductivity κ_{ph} in Eq. (4). The electronic thermal conductivity can be neglected in the fitting because its values are approximately two orders of magnitude smaller than κ_{ph}. In panels (b) and (c), the measured power factor and dimensionless figure of merit, respectively, are compared with the optimized values (or maxima) that can be achieved by the theoretical prediction. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article).

are expected to mimic a metallic Fermi gas. Nevertheless, the strongly correlated nature remains, as shown in the reduced band gap (~0.5 eV) below the Fermi level because of on-site Coulomb interaction U.

In contrast to that of pristine CMO, the Seebeck coefficient of BCMO is proportional to the temperature [see Figs. 6(a) and 3 (a)], as expected from the linear scaling in metal $|S| = \pi^2 k_B T/2e\mu$ [14]. In this case, the Seebeck coefficient does not depend on τ. Thus, we can fit S with the experimental data to obtain μ. We obtain $\mu = -0.25$ eV from the charge neutrality point, which means that the Fermi energy is located at the edge of the conduction band. The optimum Seebeck coefficient is approximately 500 μV/K or approximately four times smaller than that of the pristine sample. This optimum value can be achieved by positioning the Fermi energy near $\mu = -0.5$ eV at the band gap and low temperature, as shown in Fig. 6(b). At room temperature, the carrier concentration of BCMO is approximately 5×10^{22} cm^{-3}, as shown in Fig. 6(c). It has 10^3 times more concentration than pristine CMO because of the Bi doping. We also find that the mobility values of BCMO vary within 0.012–0.017 cm^2/V.s and tend to increase with increasing temperature until reaching a maximum value at a temperature between 400 and 500 K, as shown in Fig. 6(c).

Opposite behavior of CMO with respect to BCMO transport can also be observed from electrical resistivity ρ profile that proportionally increases with T, as shown in Fig. 6(d). For a conventional metal with $\mu \gg k_B T$, the electrical conductivity takes the form of $\sigma = \rho^{-1} = \frac{e^2}{2\pi\hbar^2}\tau\mu$. Thus, the only dependence of ρ on T comes from the temperature dependence of relaxation time (τ). Indeed, by considering the relaxation rate as $\tau^{-1} = \alpha T + \beta$, calculated ρ reproduces the experimental results with $\alpha = 0.013$ fs^{-1} K^{-1} and $\beta = 0.2$ fs^{-1}. We parenthetically note that the scattering rate of BCMO is 1.5 times larger than that of CMO. In other words, the electron lifetime in BCMO is shown to be reduced due to the Bi doping. Notably, despite the reduction in the electronic lifetime, the ρ values of BCMO decrease by one order of magnitude compared with the CMO because of the metallic nature of BCMO. Hence, better TE performance is achieved.

The electronic thermal conductivity of BCMO is shown to be linearly proportional to the temperature. However, this trend cannot be reproduced from the WF law [see Fig. 7(a)] because this system also possesses a Lorenz number that depends on the temperature [Fig. 7(b)]. Nevertheless, the L/L_0 ratio does not strongly depart from unity, which signifies the contribution from the Bi doping to recover the metallic characteristic of CMO. In contrast to pristine CMO, L/L_0 can be less than unity at a temperature below 400 K.

4.4. Phonon contribution to thermal conductivity

Using the simplified Callaway–Debye model in Eq. (4) and assuming that the Umklapp scattering is dominant, we can reproduce the measured thermal conductivity of pristine CMO, as shown in Fig. 8(a). The Debye frequency is assumed to be equal to the largest phonon peak in the Raman spectra (see Appendix A). For pristine CMO, we use the Debye temperature of 800 K and Debye frequency of 557 cm^{-1} from the Raman spectra. We also assume Grüneissen parameter $\gamma = 3.45$ from a previous work [40]. We then obtain effective sound velocity $\nu = 1.38$ km/s, which is typically comparable with a similar work by an Israel group [10]. For BCMO, we use the Debye temperature of 790 K (corresponding to the red-shifted Raman peak of 549 cm^{-1}) and Grüneissen parameter $\gamma = 3.47$. The sound velocity thus obtained for BCMO is $\nu = 0.81$ km/s.

We must note that Bi doping decreases thermal conductivity κ and electrical resistivity ρ. The decrease in ρ by 10 times can overcome the Seebeck coefficient by two times, which makes BCMO power factor $PF = S^2/\rho$ to be superior compared with pristine CMO, as shown in Fig. 8 (b). We show in this figure, that the power factor of BCMO may, in principle, be amplified up to two times compared with that in the experiment if the Fermi level is located at the band gap with $\mu = -0.5$ eV from the charge neutrality, as shown in Fig 6 . The dimensionless figure of merit, $ZT = S^2 T/\rho\kappa$ in Fig. 8(c) shows that the TE performance in CMO can be improved by Bi doping.

Fig. 8(b) and (c) show that our current experiments have not yet reached the optimized values of PF and ZT from the theoretical prediction. We roughly estimate that to approach the optimized (theoretical) PF and ZT, a subfraction of doping within 2.8–3.2% might be needed in the experiment. However, in reality, achieving the optimum doping by atomic substitution is highly complicated. The presence of Bi doping facilitates the DE mechanism. The Bi doping dramatically alters the CMO phase from an AFM insulator to an FM conductor. A slight change in the doping concentration might result in an abrupt change in the electronic-band structure. Thus, tuning the optimum doping concentration according to the theory could be difficult. Moreover, the measurement of carrier concentration can be performed using the Hall effect setup. However, this technique is only applicable to thin films and not to bulk samples. Nevertheless, we expect that the theoretical

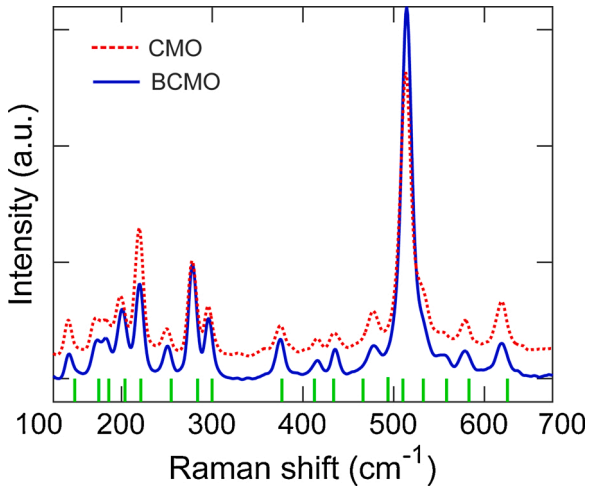


Fig. A.9. Experimental Raman spectroscopy of pristine CMO (red dash line) and BCMO (blue solid line). Short vertical green lines indicate the frequencies of theoretically Raman active modes in CMO. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article).

Table A.1
Raman active modes of CMO and BCMO.

Symmetry	Frequencies (cm^{-1})		
	Theory	Exp. CMO	Exp. BCMO
A_g	148	141	142
B_{2g}	176	171	172
B_{1g}	186	183	184
B_{3g}	203	199	201
B_{2g}	221	220	221
A_g	254	250	251
A_g	284	278	279
A_g	300	295	296
B_{2g}	376	376	375
B_{2g}	413	416	417
B_{3g}	434	434	435
B_{2g}	466	476	477
B_{1g}	494	500	499
A_g	506	513	514
A_g	532	533	531
B_{1g}	558	556	558
B_{1g}	582	580	579
B_{2g}	625	620	619

prediction of optimized PF and *ZT* can trigger further experiments in the future to adjust the doping level (or chemical potential or Fermi energy) so that obtaining optimized (better) values of PF and *ZT* becomes possible.

Our TE measurements show that CMO has a reasonably high Seebeck coefficient of approximately 300 μV/K at room temperature, and optimizing the Seebeck coefficient up to five times is even possible if the chemical potential is correctly tuned (at the band edge). By Bi doping, the electrical resistivity is reduced by an order of magnitude, and the Seebeck coefficient becomes two times smaller than that in pristine CMO, hence significantly improving the power factor. Additionally, the Bi doping adds more phonon scattering path via anharmonicity and increases the atomic average mass. As a result, the phonon lifetimes and thermal conductivity are reduced, as illustrated in the transport measurements. Combined with the reduced electrical resistivity, the TE figure of merit of BCMO is enhanced. Another notable phenomenon is the breakdown of WF law in CMO, where Lorenz number L_0 reaches four times that of conventional metals. The breakdown of the WF law comes from the strongly correlated nature of electrons in CMO, which suggests that the strong electron correlation in CMO separates the heat and charge transport. Moreover, the particular shape of the bands and scattering profiles can significantly differ from the metallic Lorenz value [41]. During the Bi-doping, this Lorenz number recovers from that of ordinary metals.

5. Conclusions

We have investigated the electron and phonon transport properties of $CaMnO_3$ and $Bi_{0.03}Ca_{0.97}MnO_3$ using TE transport measurements and first-principles calculations. Our calculations indicate that $CaMnO_3$ has AFM insulating ground states, which results in a significant Seebeck coefficient and electrical resistivity. The strongly correlated nature of $CaMnO_3$ manifests in the breakdown of the WF law in which the Lorenz number is four times larger than that of ordinary metals. In the Bi-doping, the electrical resistivity and conductivity decreases and increases, respectively, by an order of magnitude, whereas the Seebeck coefficient decreases by two times, providing a more prominent power factor than the pristine one. $Bi_{0.03}Ca_{0.97}MnO_3$ also recovers the correspondence with the WF law. The presence of Bi doping decreases the sound velocity as well as the phonon lifetime. Overall, the Bi doping enhances the TE figure of merit because of the improved electronic transport and phonon thermal-transport degradation.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Declaration of Competing Interest

The authors report no declarations of interest.

Acknowledgments

This research was partially funded by a collaboration grant from the secretariat of Indonesian Institute of Sciences (LIPI) for a visit of the LIPI researchers to Thailand. We acknowledge HPC LIPI for computational facility. M.N. acknowledges a research grant from Brawijaya University No. 3/UN10.F09/PN/2019. B.K. acknowledges Ministry of Research and Technology/National Research and Innovation Agency of Indonesia (Kemenristek/BRIN) with PDUPT 2020 grant [NKB-2799/UN2.RST/HKP.05.00/2020]. W. B.K.P. acknowledges Raman research facilities in LIPI Research Center for Physics. T.S. and K.S. acknowledge TRF Research Career Development GrantRSA6180070.

Appendix A. Raman spectroscopy of CMO and BCMO

In addition to the TE measurements, we experimentally studied the phonon properties of CMO and BCMO via Raman spectroscopy. CMO and BCMO were prepared according to the standard sol–gel method. First, we mixed the stoichiometric reagents of $Ca(NO_3)_2{\cdot}4H_2O$ (Merck, purity ≥99%), $Mn(NO_3)_2{\cdot}4H_2O$ (Merck, purity ≥98.5%), Citric acid $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ (Merck, purity ≥99.5%), Bi_2O_3 (Fluka, purity ≥99.8%), and distilled water. The dried gel was crushed and ground into a powder and then calcined at 923 K for 6 h in air. Then, the powder was die-pressed into square-shaped pellets and sintered at 1273 K. To ensure quality of the final product, another round of sintering was applied at 1473 K for 12 h, which were completed in the air atmosphere. Raman spectra were collected at room temperature using the iHR 320 modular Raman (Horiba Jobin Yvon) spectrometer equipped with a CCD detector and a solid-state laser source that operated at 532 nm wavelength with appropriate filters. The spectrometer had a spectral

resolution of 1.22 cm^{-1}/pixel, 600 g/mm grating, and an objective of 100×.

Fig. A.9 shows the experimental Raman spectra of CMO and BCMO of the unpolarized light. The short lines below the spectra are the theoretical Raman active modes. Our results qualitatively reproduced those of Ref. [4]. We also observed a significant increase in the 513 cm^{-1} mode intensity from the Bi-doping. This peak is was due to defect scattering [4]. Therefore, we can expect an increase in intensity of BCMO. For the details of the modes, Table A.1 lists the complete Raman active modes in CMO and BCMO along with their frequencies.

References

[1] E. Oz, S. Demirel, S. Altin, E. Altin, O. Baglayan, A. Bayri, S. Avci, Fabrication of Ca-Mn-Nb-O compounds and their structural, electrical, magnetic and thermoelectric properties, Mater. Res. Express 5 (2018) 036304.

[2] J. Cong, K. Zhai, Y. Chai, D. Shang, D.D. Khalyavin, R.D. Johnson, D.P. Kozlenko, S. E. Kichanov, A.M. Abakumov, A.A. Tsirlin, L. Dubrovinsky, X. Xu, Z. Sheng, S. V. Ovsyannikov, Y. Sun, Spin-induced multiferroicity in the binary perovskite manganite Mn_2O_3, Nat. Commun. 9 (2018) 2996.

[3] A. Neetika, I. Das, A.K. Dhiman, A.K. Nigam, D. Yadav, S.S. Bhattacharyya, Meena, Transport and magnetic properties of Fe doped $CaMnO_3$, J. Appl. Phys. 112 (2012) 123913.

[4] M.V. Abrashev, J. Bäckström, L. Börjesson, V.N. Popov, R.A. Chakalov, N. Kolev, R. L. Meng, M.N. Iliev, Raman spectroscopy of $CaMnO_3$: mode assignment and relationship between Raman line intensities and structural distortions, Phys. Rev. B 65 (2002) 184301.

[5] C.R. Wiebe, J.E. Greedan, J.S. Gardner, Charge and magnetic ordering in the electron-doped magnetoresistive materials $CaMnO_{3-\delta}(\delta = 0.06, 0.11)$, Phys. Rev. B 64 (2001) 064421.

[6] I.H. Lone, J. Aslam, N.R.E. Radwan, A.H. Bashal, A.F.A. Ajlouni, A. Akhter, Multiferroic ABO_3 transition metal oxides: a rare interaction of ferroelectricity and magnetism, Nanoscale Res. Lett. 14 (2019) 142.

[7] C.N.R. Rao, Perovskite oxides and high-temperature superconductivity, Ferroelectrics 102 (1990) 297–308.

[8] R.K. Zheng, H.U. Habermeier, H.L.W. Chan, C.L. Choy, H.S. Luo, Effects of substrate-induced strain on transport properties of $LaMnO_{3+\delta}$ and $CaMnO_3$ thin films using ferroelectric poling and converse piezoelectric effect, Phys. Rev. B 84 (2010) 104427.

[9] Z. Zeng, M. Greenblatt, M. Croft, Large magnetoresistance in antiferromagnetic $CaMnO_3$, Phys. Rev. B 59 (1999) 8784.

[10] A. Baranovskiy, A. Graff, J. Klose, J. Mayer, Y. Amouyal, On the origin of vibrational properties of calcium manganate based thermoelectric compounds, Nano Energy 47 (2018) 451–462.

[11] M. Molinari, D.A. Tompsett, S.C. Parker, F. Azough, R. Freer, Structural, electronic and thermoelectric behaviour of $CaMnO_3$ and $CaMnO_{(3-\delta)}$, J. Mater. Chem. A 2 (2014) 14109–14117.

[12] T. Seetawan, K. Singsoog, S. Srichai, C. Thanachayanont, V. Amornkitbamrung, P. Chindaprasirt, Thermoelectric energy conversion of p-$Ca_3Co_4O_9$/n-$CaMnO_3$ module, Energy Proc. 61 (2014) 1067–1070.

[13] S. Paengson, P. Pilasuta, K. Singsoog, W. Namhongsa, W. Impho, T. Seetawan, Improvement in thermoelectric properties of $CaMnO_3$ by Bi doping and hot pressing, Mater. Today: Proc. 4 (2017) 6289–6295.

[14] H.J. Goldsmid, Introduction to Thermoelectricity, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010.

[15] M. Zebarjadi, K. Esfarjani, M.S. Dresselhaus, Z.F. Ren, G. Chen, Perspectives on thermoelectrics: from fundamentals to device applications, Energy Environ. Sci. 5 (2012) 5147–5162.

[16] R. Franz, G. Wiedemann, Ueber die wärme-leitungsfähigkeit der metalle, Ann. Phys. 165 (1853) 497–531.

[17] R. Mahajan, M. Barkeshli, S.A. Hartnoll, Non-Fermi liquids and the Wiedemann-Franz law, Phys. Rev. B 88 (2013) 125107.

[18] A. Principi, G. Vignale, Violation of the Wiedemann-Franz law in hydrodynamic electron liquids, Phys. Rev. Lett. 115 (2015) 056603.

[19] A. Lavasani, D. Bulmash, S.D. Sarma, Wiedemann-Franz law and Fermi liquids, Phys. Rev. B 99 (2019) 085104.

[20] Y.H. Lin, J. Lan, C. Nan, Oxide Thermoelectric Materials, Wiley-VCH, 2019.

[21] U. Aschauer, R. Pfenninger, S.M. Selbach, T. Grande, N.A. Spaldin, Strain-controled oxygen vacancy formation and ordering in $CaMnO_3$, Phys. Rev. B 88 (2013) 054111.

[22] P.W. Anderson, H. Hasegawa, Considerations on double exchange, Phys. Rev. 100 (1955) 675–681.

[23] P. Giannozzi, S. Baroni, N. Bonini, M. Calandra, R. Car, C. Cavazzoni, D. Ceresoli, G.L. Chiarotti, M. Cococcioni, I. Dabo, et al., Quantum ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials, J. Phys. Condens. Matter 21 (2009) 395502.

[24] J.P. Perdew, A. Ruzsinszky, G.I. Csonka, O.A. Vydrov, G.E. Scuseria, L. A. Constantin, X. Zhou, K. Burke, Restoring the density-gradient expansion for exchange in solids and surfaces, Phys. Rev. Lett. 100 (2008) 136406.

[25] C.D. Ling, E. Granado, J.J. Neumeier, J.W. Lynn, D.N. Argyriou, Inhomogeneous magnetism in La-doped $CaMnO_3$. I. Mesoscopic phase separation due to lattice-coupled ferromagnetic interactions, Phys. Rev. B 68 (2003) 134439.

[26] P.E. Blöchl, O. Jepsen, O.K. Andersen, Improved tetrahedron method for Brillouin-zone integrations, Phys. Rev. B 49 (1994) 16223–16233.

[27] M. Cococcioni, S. de Gironcoli, Linear response approach to the calculation of the effective interaction parameters in the LDA + U method, Phys. Rev. B 71 (2005) 035105.

[28] G.K.H. Madsen, D.J. Singh, Boltztrap. a code for calculating band-structure dependent quantities, Comput. Phys. Commun. 175 (2006) 67–71.

[29] B. Liao, J. Zhou, B. Qiu, M.S. Dresselhaus, G. Chen, Ab initio study of electron-phonon interaction in phosphorene, Phys. Rev. B 91 (2015) 235419.

[30] W. Li, Electrical transport limited by electron-phonon coupling from Boltzmann transport equation: an ab initio study of Si, Al, and MoS_2, Phys. Rev. B 92 (2015) 075405.

[31] J. Yang, Theory of Thermal Conductivity, Springer, Boston, MA, 2004.

[32] G.A. Slack, S. Galginaitis, Thermal conductivity and phonon scattering by magnetic impurities in $CdTe_3$, Phys. Rev. 133 (1964) A253–A268.

[33] J.B. Goodenough, Theory of the role of covalence in the perovskite-type manganites [La,M(II)]MnO_3, Phys. Rev. 100 (1955) 564.

[34] F.P. Zhang, Q.M. Lu, X. Zhang, J.X. Zhang, First principle investigation of electronic structure of $CaMnO_3$ thermoelectric compound oxide, J. Alloys Compd. 509 (2011) 542–545.

[35] J.H. Jung, K.H. Kim, D.J. Eom, T.W. Noh, E.J. Choi, J. Yu, Y.S. Kwon, Y. Chung, Determination of electronic band structures of $CaMnO_3$ and $LaMnO_3$ using optical-conductivity analyses, Phys. Rev. B 55 (1997) 15489.

[36] N.T. Hung, A.R.T. Nugraha, E.H. Hasdeo, S.S.R. Dresselhaus, Diameter dependence of thermoelectric power of semiconducting carbon nanotubes, Phys. Rev. B 92 (2015) 165426.

[37] T. Ye, X. Wang, X. Li, A.Q. Yan, S. Ramakrishna, J. Xu, Ultra-high Seebeck coefficient and low thermal conductivity of a centimeter-sized perovskite single crystal acquired by a modified fast growth method, J. Mater. Chem. C 5 (2017) 1255–1260.

[38] H. Yoshino, K. Murata, Significant enhancement of electronic thermal conductivity of two-dimensional zero-gap systems by bipolar-diffusion effect, J. Phys. Soc. Jpn. 84 (2015) 024601.

[39] N.N. Loshkareva, W.V. Mostovshchikova, Electron-doped manganites based on $CaMnO_3$, Phys. Metals Metallogr. 113 (2012) 22–42.

[40] A. Srivastava, N.K. Gaur, Bulk modulus and thermodynamic properties of electron-doped calcium manganate-$Ca_{1-x}RE_xMnO_3$, J. Magn. Magn. Mater. 321 (2009) 3854–3865.

[41] X. Wang, V. Askarpour, J. Maassen, M.J.B. Lundstrom, On the calculation of Lorenz numbers for complex thermoelectric materials, J. Appl. Phys. 123 (2018) 055104.

Journal of Polymer Research (2022) 29:235
https://doi.org/10.1007/s10965-022-03087-2

ORIGINAL PAPER

Tunable α-γ-phase of polyvinylidene fluoride to enhance piezoelectric coefficient

Aphisak Kaeopisan[1] · Chanchana Thanachayanon[3] · Hassakorn Wattanasarn[1,2]

Received: 2 March 2022 / Accepted: 12 May 2022
© The Polymer Society, Taipei 2022

Abstract

Ferroelectric polymer composites having different phases with outstanding characteristics of domain movement have been used in various electronic areas. Poly (vinylidene fluoride) (PVDF)—multiwall carbon nanotubes (MWCNT) composites were prepared using film casting technique for optimized properties. The effect of α-γ-phase crystallinity on microstructure, transmittance, dielectric, ferroelectric, and piezoelectric properties of the films were studied. The elemental mapping exhibited distribution of oxygen, carbon, and fluorine in PVDF. A strong interaction of molecules between carbonyl and fluorine containing groups in casting process leading to weakly fluorine bonding was observed from FT-IR results. The PVDF/MWCNT composite translucence was investigated using UV–visible spectroscopy. PVDF showed dipole–dipole interaction of C-F bonding that maximized interfacial polarization and dielectric constant (ε_r). Moreover, dielectric constant could be tuned by MWCNT loading due to C-F and C-H bonding in PVDF. This resulted in a tunable α-γ-phase with reducing or enhancing interfacial polarization. MWCNT loading assisted nucleation in 3 wt% MWCNT sample (P/C 3), increased relative crystal phase content and thermal stability to keep ε_r stable to around 125 °C. The PVDF/MWCNT films showed different remnant polarization (P_r) from MWCNT alone where MWCNT either hinder or enhance dipole arrangement. Furthermore, this article demonstrates that the tunable α-γ-phase can enhance piezoelectric performance. MWCNT content of 0 wt% (P/C 0) and 1 wt% (P/C 1) showed increasing ε_r and P_r with decreasing relative crystal α-γ-phase content. This leads to dipole domains in high α-γ-phase PVDF/MWCNT films where the domains can easily be aligned by applying high DC voltage. While MWCNT content of 0.1 wt% showed a maximum piezoelectric charge coefficient, MWCNT content of 0.3 wt% was tuned and showed an improved piezoelectric voltage coefficient. This study suggests an essential route for developing the mixed phase of PVDF polymer composites for electronic applications.

Keyword α-γ-phase · Poly (vinylidene fluoride) · Ferroelectric property · Dielectric constant · Polymer composites

Introduction

Electroactive polymers have been recognized as piezoelectric materials for actuation and energy harvesting [1]. In general, piezoelectric polymers are outstanding for their inherent properties such as flexibility, strength, lightweight, and high breakdown strength [2]. However, the piezoelectric polymers, for examples, polyvinylidene fluoride (PVDF) or polyvinylidene fluoride trifluoro ethylene (P(VDF-TrFE)) copolymer have low dielectric constants, ε_r. Polymer composites can improve ε_r of the polymer films [3, 4]. Dispersion-strengthened nano powder composites, such as barium zirconate titanate (BZT) – barium calcium titanate (BCT) [5], graphene [6–8], and carbon nanotubes (CNTs) [9, 10] have been applied to flexible ferroelectric devices [1]. PVDF/graphene composites have been widely studied due to their mechanical strength

✉ Hassakorn Wattanasarn
w_hussakorn@snru.ac.th

1 Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon 47000, Thailand

2 Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon 47000, Thailand

3 National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency, 114 Thailand Science Park, Phahonyothin Rd., Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand

Published online: 23 May 2022

and unique electronic structures [11]. The PVDF/graphene composites have been used to enhance piezoelectric efficiency for sensor applications [12, 13] and in self-standing ternary PVDF-grahene-Fe_3O_4 for magnetoelectric, ferroelectricity, dielectric and magneto-dielectric applications [14]. Multi-walled carbon nanotubes (MWCNT) and single walled carbon nanotubes (SWCNT) polymer composite films have also shown good electrical and mechanical properties. MWCNT consist of ultrathin layers of graphene in a cylinder shape with a diameter range of 2 – 25 nm and 0.34 nm inter-layer spacing [15, 16]. Thermal stability of MWCNT is enhanced when added into the polymer films [17]. Behera et al. [18] studied blend composites of PVDF/HDPE (high density polyethylene) modified with graphene nanoplatelet (GNP) loading. It was found that thermal and electrical properties of the blend composites were enhanced for micro-electromechanic and storage capacitor applications. The CNT loading assists nucleation, increases crystal stability, thermal stability and heat resistance of the PVDF/HDPE blend composites [19]. In addition, dielectric constant, ferroelectric, and piezoelectric properties of PVDF films have been found to improve by MWCNT fillers [20–22]. SWCNT are used by researchers and industrial electronic components supplier, where their performance depends on helicity and diameters [23, 24]. MWCNT have also been reported for various capabilities such as improving permeability, homogeneous PVDF solution, and roughness on polymer film surface [25] due to enveloping molecules of PVDF around nanoscale cylindrical MWCNT.

Synthesis and characterization of new composite materials is very important for several applications [26–31]. CNT doped fluoropolymer have been well reported over the past decade. It is known that PVDF crystallinity is composed of three phases. β-phase PVDF film is fabricated for electroactive applications, especially sensor and actuators devices including nanogenerator applications [32, 33]. γ-phase PVDF is widely utilized in electronic devices such as spin valves, sensors and energy storage. The γ-phase is the most thermally stable among all the PVDF phases [34]. However, the γ-phase has weaker piezoelectric effect than the β-phase because of gauche bonding of C-F and C-H in every fourth repeat units [35]. While α-phase exhibits advantages of dielectric constant, thermal stability, and mechanical properties, a mixed phase of PVDF is also used in sensors [36, 37]. Previously, the mixed phase of PVDF is reported by different types of characterization, and with different electrical properties [14]. α or β phases in PVDF films can be achieved at low-temperatures (70 – 80 °C) [38], and also depend on types of solvent used resulting in different mixtures for solution crystallizations. While γ-β-phase in PVDF films provides superior ferroelectric properties [12, 39, 40] which the PVDF films can be modified for nanogenerators. Recently, high γ-β-phase crystallinity of more than 85% in PVDF was obtained by adding graphene and coating on fabrics. Flexible films have been drawn with interactions between molecules leading to γ-β-phase for the electroactive application [12]. A huge number of works has already been reported by different authors on various properties of PVDF films. However, PVDF film fabrication with the mixed phase requires knowledge of dielectric properties, ferroelectric properties, and thermal stability. The understanding of the crystallization, morphology and dipole domain movement of the mixed α-γ-phase also requires attention. For example, dipole orientations at different drawing ratios due to the nano composites loading in the mixed phase formation in the PVDF composites can be further investigated.

In this study, PVDF films were synthesized using a simple solution casting technique, adding MWCNT loading into PVDF and using solvent method prepared at a low temperature. α-phase PVDF slightly shifted to α-γ-phase when adding MWCNT. The α-γ-phase film has weak piezoelectric and ferroelectric properties. This study demonstrates a tunable α-γ-phase for enhancing piezoelectricity performance. Microstructure, dispersion, and atomic bonding factors that promote the ferroelectric properties due to domination of α-γ-phase crystallinity were characterized. The effects on dielectric properties, polarization–electric field loop, conductivity of the composite films, and piezoelectric properties of d_{33} and g_{33} were investigated for prediction of the dipole movement in the α-γ-phase of the PVDF/MWCNT films.

Materials and method

In this study, the PVDF/MWCNT films were fabricated using a simple technique shown in Fig. 1. The polymer films were prepared from polyvinylidene fluoride (PVDF, $(C_2H_2F_2)_x$) powder with a molecular weight of 5,34,000 (by GC), and N-Methyl-2-pyrrolidone [NMP (C_5H_9NO)] as a solvent for PVDF solution. PVDF and NMP were purchased from TOB New Energy Technology Co. Ldt., China. The PVDF solution was prepared by dissolving PVDF powders in NMP solvent at a concentration of 50 g L^{-1}. PVDF and MNP were mixed in a beaker that was completely closed by aluminum foil. The mixtures were, then, stirred at 80 °C for 1 h to ensure complete dissolution to obtain homogenous solution. This is different from other work recently reported at room temperature for 24 h [8, 22]. The PVDF solution was poured over a smooth surface of an aluminum plate on a hotplate to obtain the polymer films. Casting solution was controlled to a thickness of 20 μm on the aluminum plate at 80 °C for 30 min. The PVDF polymer films were hence obtained and cut into a size of $10 \times 20 \times 0.02$ mm^3. Multi-walled Carbon Nano-tubes (MWCNT) (from Hebei Bonster Technology Co., Limited, China) at concentrations of 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, and 0.5 wt% were mixed with NMP. Then, MWCNT/NMP was added to as-prepared PVDF powder by stirring at 80 °C for

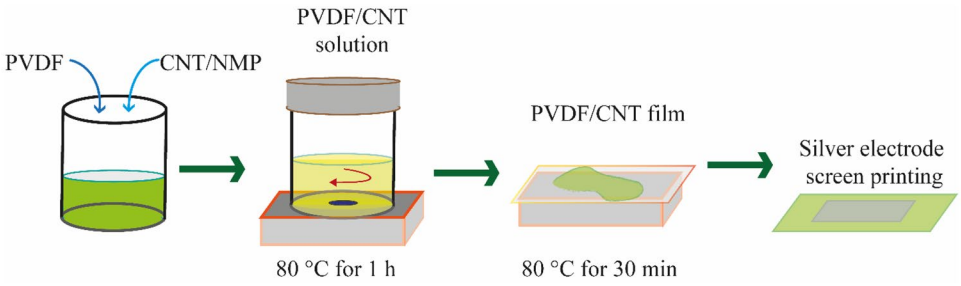


Fig. 1 The fabrication of PVDF/MWCNT polymer composites using solution casting technique

1 h. It was found that the solution color changed from opaque to translucent. The PVDF/MWCNT films were obtained from casting on aluminum hotplate and cooled down at room temperature. Microstructures were studied. The polymer films were coated with silver paste on top and bottom using screen printing technique to study electrical properties.

The synthesized PVDF/MWCNT films were characterized using X-ray diffraction (XRD) (SHIMADZU-LABX-XRD-6100) analysis to evaluate phase transition of the PVDF/MWCNT polymer composites. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) (VERTEX 70) using laser in the wavenumber range of 1500 – 400 cm^{-1} was used to study atomic bonding vibration at the characteristic wavelength of 530 nm. UV–vis spectrophotometer (MATASH 5200) with a scan rate of 60 nm min^{-1} over a range of 190–400 nm showed characteristic absorbance that was used for transmittance calculation. Morphology of PVDF/MWCNT were demonstrated using field emission scanning electron microscopy (JEOL JSM-7610F). Elemental mapping was quantitatively analyzed using Energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) with a large probe current. Dielectric properties with a temperature range of 40 – 250 °C were obtained using an LCR meter at 1, 10, and 100 kHz frequencies. Ferroelectric properties were characterized by switchable polarization from polarization–electric field loop of the films coated with silver using Sawyer–Tower circuit. The measuring circuit was supplied with a sine wave electrical signal voltage by a high voltage amplifier (TREK 20/20c-Hs) with 120 kV mm^{-1} at 50 Hz. The voltage was shown on horizontal axis of the oscilloscope to measure electric field across the films. The voltage across a capacitor was seen on vertical axis of the oscilloscope to observe polarization of the film. In the poling process, the metallized polymer film was applied with an electric field of 75 kV mm^{-1} for 15 min at room temperature for domain alignment. Piezoelectric properties were demonstrated from the longitudinal piezoelectric charge coefficient (d_{33}) measured on a Berlincourt-type quasi-static d_{33} meter (0.25 N, 110 Hz; model YE2730). The longitudinal piezoelectric voltage coefficients (g_{33}) were calculated from $g_{33} = d_{33}/(\varepsilon_r.\varepsilon_0)$ according to [41] when ε_r is a dielectric constant and ε_0 is a permittivity of free space.

Results and discussion

α-γ-phase patterns of MWCNT loading of 0 – 0.5 wt% into PVDF (P/C 0 – P/C 5) were investigated. XRD patterns show peaks from different planes of the samples as shown in Fig. 2(a). Peaks of P/C 0 are observed at 2θ = 17.88°, 18.42°, 20.08°, 26.62°, and 38.96° corresponding to (100), (020), (110), (120), (101), and (131) crystal planes, respectively. This structure corresponds to monoclinic structure of α-phase [42] [43]. The XRD patterns of the PVDF/MWCNT films with loading 0.1 – 0.4 wt% of MWCNT (P/C 1 – P/C 4) show a decrease of α-phase content as shown in Fig. 2. Peaks corresponding to both α and γ phases are observed. The (101) peak (P/C 3) shifts to 20.3° for P/C 4 and shifts back to 20.14° for P/C 5. Intensity of the α-phase peak at 26.62° ((022) plane) decreases and gradually shifts to 26.34° (P/C 4). This is a characteristic of the γ-phase. Decreasing intensity and shifting of the α-phase peak is attributed to the presence of MWCNT content which disperses to bond with C-F and C-H in PVDF and induce strain crystallization phenomenon. A more intense peak can also be seen at 18.5° for (020) plane and 20.14° for (110) plane, indicating the mixed α-γ-phase, i. e., (200) plane at 20.98° (P/C 5) is the characteristics of γ-phase [44]. The results show that phase transition of the PVDF films occurs when MWCNT are loaded. The role of different MWCNT content on the degree of crystallinity of α, γ, and β-phases is explored in this work. Individual mixed phases are analyzed using curve deconvolution of the XRD patterns as shown in Fig. 2(b). The relative α-γ-phase content ($C_{\alpha+\gamma}$) and their contribution to crystallinity ($\chi_{\alpha+\gamma}$) are calculated to predict relative mixed-phase of the PVDF/MWCNT composites. $C_{\alpha+\gamma}$ is determined through the Eq. (1): [12, 45]

$$C_{\alpha+\gamma} = \frac{\sum A_\alpha + \sum A_\gamma}{\sum A_c} \quad (1)$$

when $\sum A_c$, $\sum A_\gamma$, and $\sum A_\alpha$ are peak areas of crystalline PVDF, γ, and α peaks, respectively. The contribution to crystallinity ($\chi_{\alpha+\gamma}$), defined as degree of α-γ-phase in the mixed content of PVDF/MWCNT which is calculated from the following Eq. (2): [12, 45]

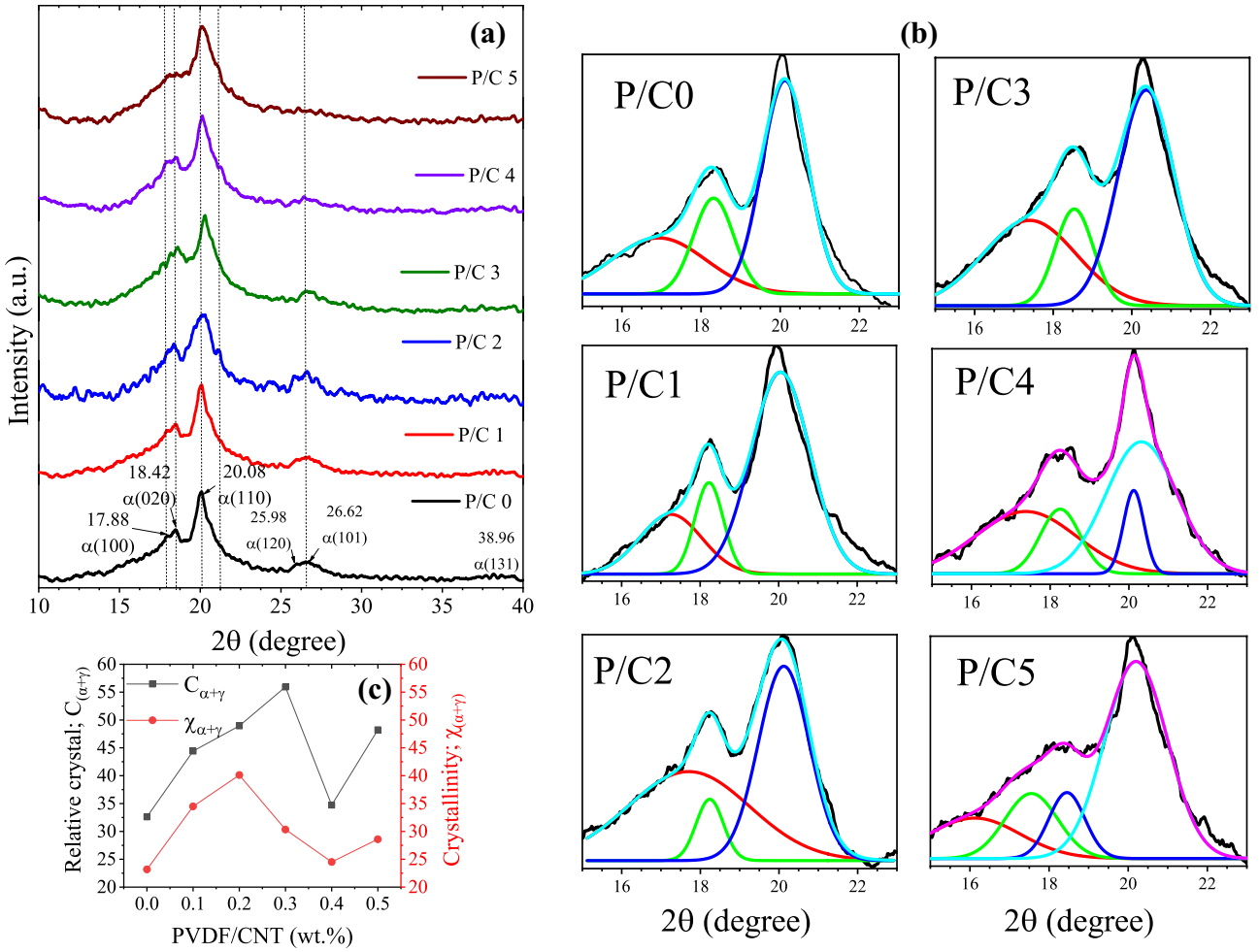


Fig. 2 X-ray diffraction patterns of PVDF (P/C 0) and PVDF as a function of CNT loading, **b** curve deconvolution of XRD pattern in 15–23° (2θ) range of PVDF/MWCNT, and **c** relative crystal phase content ($C_{\alpha+\gamma}$) and crystallinity ($\chi_{\alpha+\gamma}$) of embedded-MWCNT 0.1% (P/C 1), 0.2% (P/C 2), 0.3% (P/C 3), 0.4% (P/C 4), and 0.5% (P/C 5)

$$\chi_{\alpha+\gamma} = C_{\alpha+\gamma} \times \chi_{oc} \tag{2}$$

where χ_{oc} is overall crystallinity degree of PVDF phase, calculated from a formula of $\chi_{oc} = \left(\sum A_c \times 100\%\right) / \left(\sum A_c + \sum A_a\right)$; $\sum A_c$ and $\sum A_a$ are the integral peak areas of crystalline and amorphous phase, respectively.

The $C_{\alpha+\gamma}$ and $\chi_{\alpha+\gamma}$ values were explored to describe absolute contents of the α-γ-phase as shown in Fig. 2(c). The results show that $C_{\alpha+\gamma}$ increases with increasing MWCNT content in P/C 0 – P/C 3 and decreases with increasing MWCNT content in P/C 4 – P/C 5. Maximum $C_{\alpha+\gamma}$ is observed for PVDF/MWCNT of P/C 3 because of high diffraction intensities of both the α and γ phases P/C 3, i. e. see red and green lines for P/C 3 in Fig. 2(b), while $\chi_{\alpha+\gamma}$ value is low. P/C 2 shows a maximum value of $\chi_{\alpha+\gamma}$ due to domination of the α-phase, i. e. see red line for P/C 2 in Fig. 2(b)), with a rather high value of $C_{\alpha+\gamma}$. Furthermore, P/C 5 shows increasing $C_{\alpha+\gamma}$ and $\chi_{\alpha+\gamma}$ values indicating that P/C 5 possesses zigzag orientation of carbon atoms that are better matched with TTTT conformation of PVDF than P/C 4 [46].

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) technique utilizes infrared radiation to excite molecules into a higher vibrational state to identify different functionalities on the PVDF/MWCNT surfaces. The functional group spectra of the MWCNT-added PVDF of P/C 0 – P/C 5 are shown in Fig. 3. The main broad peaks of all spectra are observed at 613, 763, 871, 1176, and 1400 cm^{-1} for C-H bend, C–C Aliphatic vibration, C-F stretch, C-N stretch, and C–C stretch, respectively. The β phase of PVDF may also be predicted from CH_2 rocking peak at 836 cm^{-1} [8]. Low spectra are observed in this work. Meanwhile, the functional groups of MWCNT are identified from molecular vibration of C-O stretching at 1608 cm^{-1} and C–C bending at 613 cm^{-1}. On the contrary, P/C 1 spectrum is different from the others, i. e. 613, 763, and 975 cm^{-1} change to bending vibration

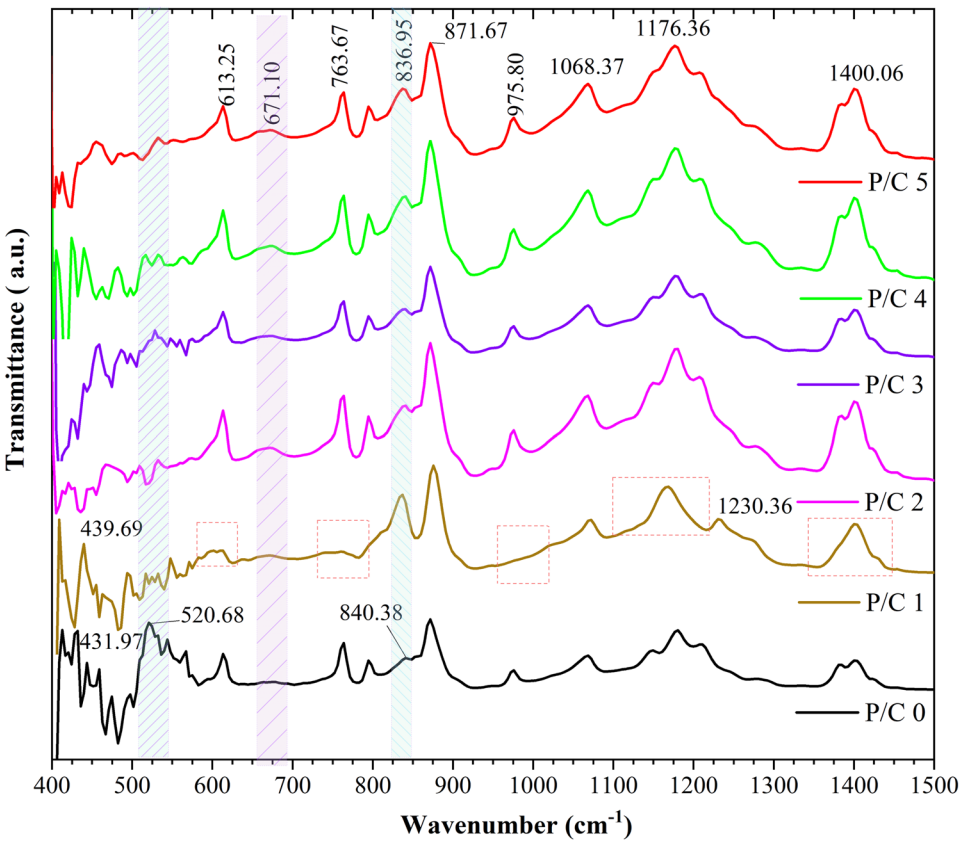


Fig. 3 FT-IR spectra for functional group analysis of PVDF (P/C 0), PVDF/MWCNT 0.1 wt% (P/C 1), PVDF/MWCNT 0.2 wt% (P/C 2), PVDF/MWCNT 0.3 wt% (P/C 3), PVDF/MWCNT 0.4 wt% (P/C 4), and PVDF/MWCNT 0.5 wt% (P/C 5)

mode, the intense peaks at 1176 cm^{-1} of C-N stretch and 1400 cm^{-1} of C–C stretch. Peak intensities increased for P/C 2. This suggests that MWCNT is not sufficiently bonded to the hydrogen bonds. The CH_2 rocking peak at 1230 cm^{-1} is observed in the mixed phases of α and γ phases [43] in agreement with curve deconvolution result of the XRD patterns. The decreasing vibration of molecules in P/C 3 shows that neighbor molecules are closely located and lead to lower vibration. The peaks at 431, 443, and 520 cm^{-1} indicate an increased stability of the C-F stretching. The existence of carbonyl group in MWCNT is found at 450 and 671 cm^{-1} and indicates that the carbonyl group can catch the C-F and C-H groups in PVDF. It is noted that the P/C 4 and P/C 5 samples exhibit different stretching vibration, i. e., showing sufficient MWCNT loading at 431 and 520 cm^{-1} for P/C 4 and P/C 5, respectively.

PVDF/MWCNT polymer film translucence was investigated using UV–visible spectroscopy to obtain transmittance spectra in the wavelength range of 190 nm to 400 nm as illustrated in Fig. 4. Neat PVDF (P/C 0) is activated in the ultraviolet wavelength region and shows characteristic spectral minimum peaks at around 198—213 nm for P/C 0 – P/C 5. The transmittance is increased for PVDF, indicating that the polarization is also dependent on MWCNT content. The increasing transmittance intensity is believed to result from scattering centers of armchair and zigzag configurations of MWCNT in PVDF. Moreover fluorine atoms in PVDF can lead to partial vacancies in the C-H group and polarization depends on the alignment of MWCNT [47]. Subsequently, the transmittance intensities for 30% of P/C 1 reduce to 4%

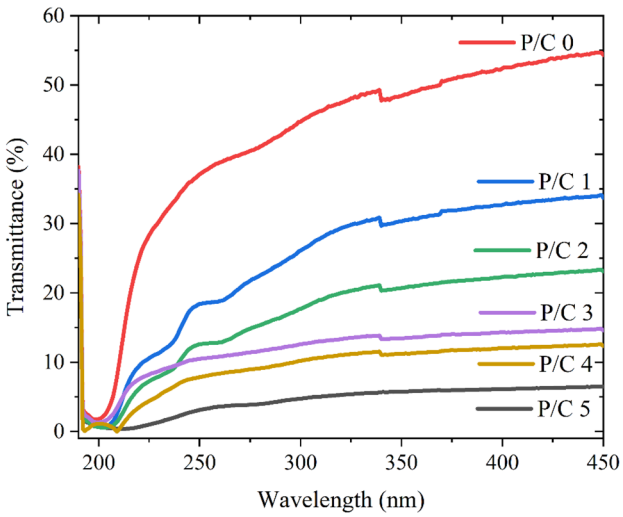


Fig. 4 UV–vis transmittance spectra of PVDF (P/C 0) and embedded-MWCNT at 0.1 – 0.5 wt% (P/C 1 – P/C 5)

of P/C 5 due to the more pronounced MWCNT network structure induced in PVDF/MWCNT containing the C-H group in PVDF [48]. The decreasing transmittance has a good agreement with results from FT-IR of which the effect of molecular vibration of PVDF was induced by MWCNT.

Morphologies of the α-phase PVDF and α-γ-phase PVDF/MWCNT composite surfaces were systematically examined using Scanning Electron Microscope (SEM) and Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX) analysis as shown in Fig. 5. Figure 5(a) shows nanograins of the neat PVDF. The PVDF/MWCNT films exhibit elongated corrugated surface with line defects, i. e., white contrast observed in Fig. 5(b – f). Local grain boundaries caused by solvent evaporation during the film heating process are observed. The density of defect lines increases with increasing MWCNT content added into PVDF matrix [49]. This attributes to the nucleation effect of carbonyl groups in MWCNT on the PVDF crystallization, i. e., faster crystallization. This results in a large concentration of small particles in the PVDF/MWCNT films [50].

To analyse homogeneity of MWCNT distribution in the PVDF films. The EDX mapping and weight ratios of the PVDF/MWCNT are shown in Fig. 5(g – l) (inset). The elemental mapping exhibits distribution of oxygen, carbon, and fluorine in the PVDF films, Fig. 5(g) (inset). The elemental mapping shows that fluorine disperses around carbonyl groups when adding MWCNT content into PVDF as shown in Fig. 5(h – l). Furthermore, it is found that fluorine content changes when adding MWCNT into PVDF, i. e., 36.86 wt% of fluorine in the PVDF decreases to 27.11 wt% of fluorine in P/C 5. This shows that strong interaction of molecules between carbonyl groups and fluorine containing fluorine groups in casting process will inevitably lead to weakly fluorine bonding with carbonyl groups in MWCNT in the PVDF matrix [14]. The results show that carbonyl groups highly affect surface and microstructure of PVDF which may be further tuned for ferroelectric properties of the PVDF/MWCNT films.

Figure 6 shows the dielectric properties of the PVDF/MWCNT films of which dielectric constant (ε_r) and dielectric loss (tan δ) are studied as functions of temperature and variation frequencies. The dielectric constant of PVDF with adding CNT decreases at 40 °C, i. e., 29.8, 22.3, 8.5, and 4.3 for P/C 0, P/C 1, P/C 2, and P/C 3, respectively. The dielectric constant is maximum for the neat PVDF (P/C 0) because the number of interfaces per unit volume and dipole – dipole interaction of C-F bonds in PVDF lead to maximum interfacial polarization as well as dielectric constant [51]. For low MWCNT loading (P/C 1 – P/C 3), the ε_r is determined in nano-domains by individual feature such that MWCNT are not sufficiently in contact with other molecular bonds in PVDF and obstruct the domain movement which induce a decrease in dipolar polarization in the PVDF films. MWCNT assist nucleation in P/C 3, increase the relative crystal phase content (Fig. 2(c)), and stabilize ε_r to around 125 °C as seen in Fig. 6 (P/C 3). ε_r increases to 13.1, and 17.2 for P/C 4, and P/C 5, respectively. Increased MWCNT (P/C 4, and P/C 5) content shows increasing ε_r because of sufficient MWCNT contacts with hydrogen bonds via C-F and C-H bonds in PVDF. This is also expected to enhance free space and the interfacial polarization [14, 52]. Therefore, in the PVDF/MWCNT films, doping MWCNT has a negative influence on the polarization of PVDF. It is predicted that positive charges on H atoms are transferred to C atoms and the negative charges are moved to address around the F atoms. However, the interaction between the positive H atoms in PVDF and C atoms in MWCNT are stronger than that between the negative F atoms and C atom in MWCNT [53]. It is expected that the interacting atoms influence the interfacial polarization and lead to tuning of ε_r. The ε_r at a high temperature with increasing frequency appears as broadening of dielectric peak showing relaxor ferroelectric behavior due to dipolar freezing transition effect at different temperatures and frequency components. Meanwhile, the ε_r of PVDF/MWCNT decreases with increasing frequency. A significant ε_r anomaly increases as observed when heating above 230 °C. Increasing MWCNT content in PVDF shows anomalous ε_r values which reveal the presence of the current leakage in PVDF matrix, with no relation to thermally activated transport properties and with no effects on dielectric constants of the polymer composites. It is noted that the PVDF film at higher temperature is a result of atomic vacancies (C, H, F) which are responsible for phase transition of the PVDF/MWCNT films [54]. PVDF shows a strong dipole moment due to the presence of vibration fluorine atoms in its molecular bonding as found in FTIR results. Moreover, the α-γ-phase PVDF/MWCNT polymer composites (P/C 0, P/C 1, P/C 2, and P/C 3) show the decreasing ε_r values, it is attributed that charge carriers accumulate on interfaces of C-H and C-F bonds and CNT, leading to developing Maxwell–Wagner-Sillars polarization (MWS). The ε_r increases with increasing MWCNT contents (P/C 4 and P/C 5) because of charge carriers accumulation at the interfaces between MWCNT and PVDF indicating the existence of the percolation effect [55].

Dielectric loss exhibits energy deposition phenomenon in polymer films because of applied alternate current field. The variation of the dielectric loss (tan δ) as a function of temperature and frequencies of PVDF/MWCNT is showed in Fig. 6. The tan δ curves decrease with increasing frequency, and strongly increase with increasing temperature (> 200 °C), i. e., tan δ curve decreases of P/C 2, and P/C 3 films are higher than those of the pure PVDF (P/C 0) and P/C 1. Relaxor ferroelectric behavior is expected. The decreased dielectric loss is higher at temperature of 230 °C for P/C 4 and P/C 5. The dielectric loss of PVDF polymer films is modified by adding MWCNT contents.

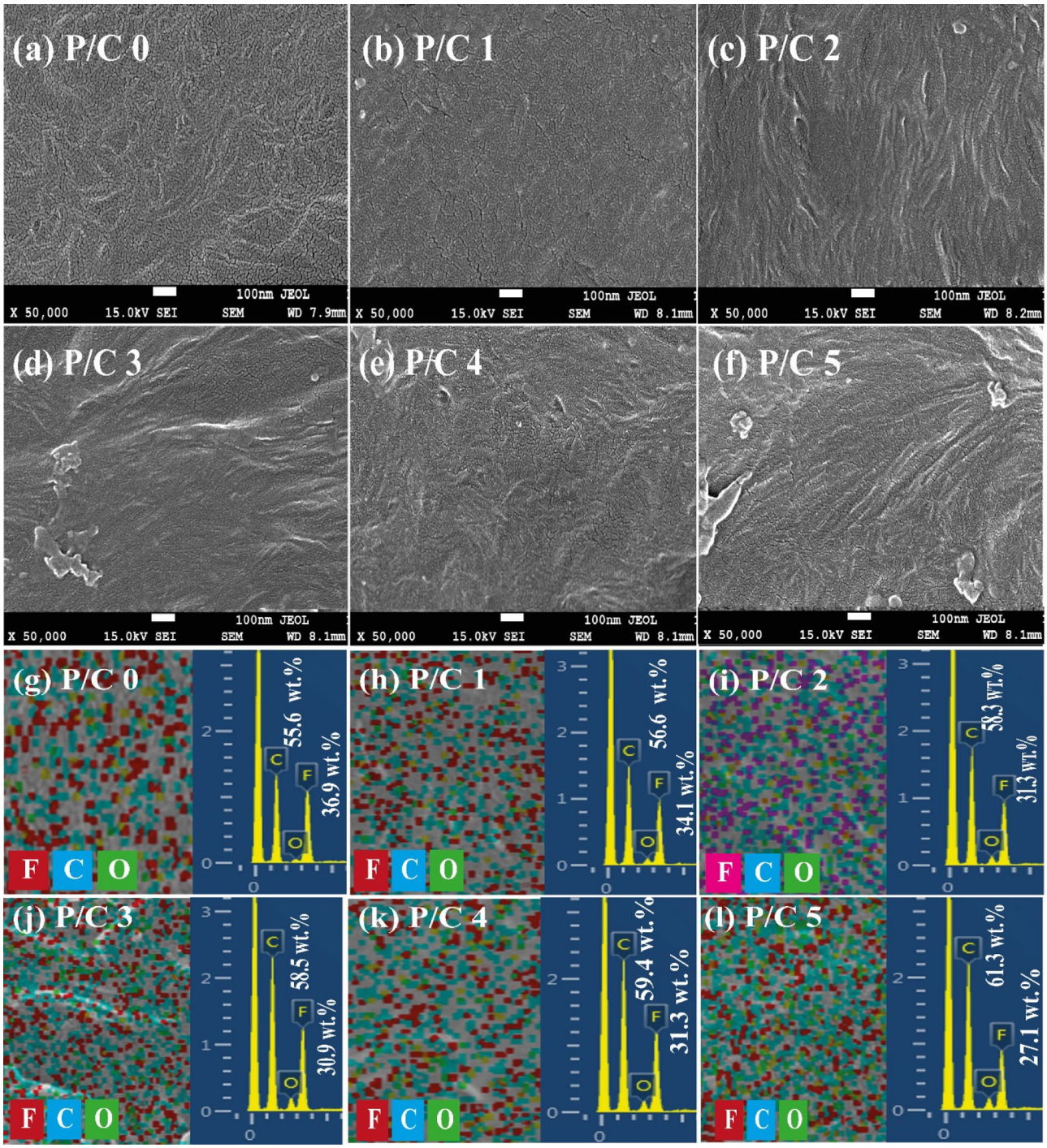


Fig. 5 FE-SEM images showing surface morphologies (**a**) – (**f**), EDX mapping, and spectra of elemental compositions (**g**) – (**l**) of PVDF added-MWCNT 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 wt% (P/C 0, P/C 1, P/C 2, P/C 3, P/C 4, and P/C 5)

Direct factors to modify the dielectric loss in the polymer films comprise three terms, i.e. direct current electrical conduction (current flow), interfacial MWS relaxation, and the Debye relaxation loss [14]. Therefore, the reason of higher dielectric loss is observed in the PVDF/MWCNT film compared to pure PVDF may be due to MWCNT agglomeration with hydrogen bonding charge carriers compiling on the interfaces. It is believed that adding MWCNT into PVDF enhances the interfacial relaxation process.

A dielectric constant of the PVDF/MWCNT polymer film is anomalous when addressing in high temperature region. Generally, at the high temperatures, conduction losses are

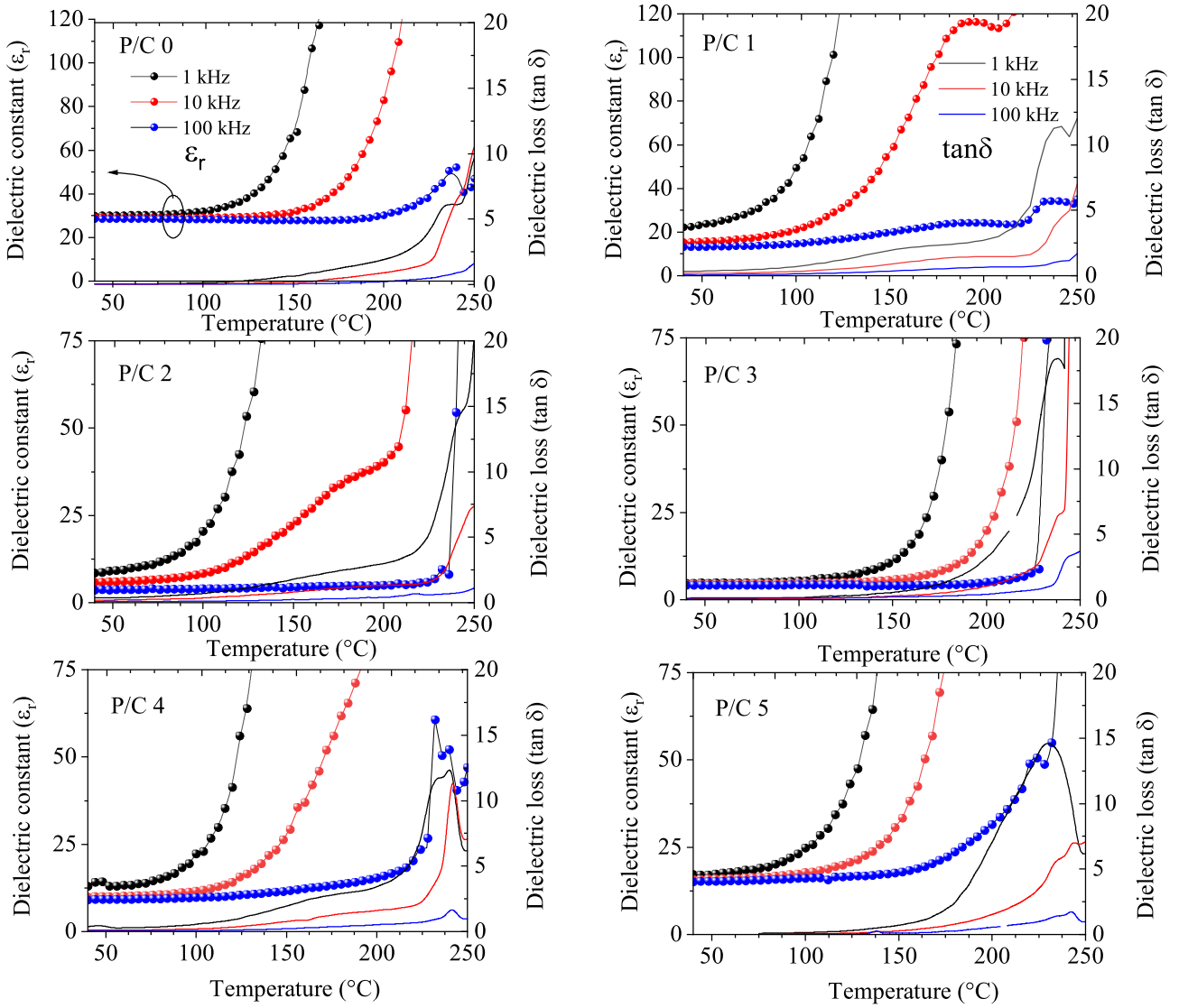


Fig. 6 Temperature dependence of dielectric constants and dielectric losses of the PVDF added-MWCNT 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 wt% (P/C 0, P/C 1, P/C 2, P/C 3, P/C 4, and P/C 5) at 1, 10, and 100 kHz frequency and temperature range is 40 – 250 °C

activated by heat as illustrated in Fig. 7. Direct current conductivity (σ_{dc}) of PVDF/MWCNT is estimated from the resistivity (ρ) by using the relation $\sigma_{dc} = t / (\rho A)$ when t is the film thickness, A is the electrode area on film surface [56]. The dc conductivities of PVDF/MWCNT films are studied as a function of temperature at 100 kHz frequency as shown in Fig. 7(a). It is found that dc conductivity of PVDF (P/C 0) film gradually increases from 4.4 – 6.8 mS m^{-1}, and rapidly decreases when temperature is higher than 98 °C. The σ_{dc} of PVDF decreases with MWCNT loading (P/C 1, P/C 2, and P/C 3). Alternately, the dc conductivity of PVDF slightly elevates with MWCNT loading of P/C 4, and increases more than twice for P/C 5 in a temperature range of 40 to 150 °C. The low σ_{dc} of PVDF/MWCNT is observed when increasing temperature to > 150 °C. This means that hopping of electrons are deterred with decreasing crystallinity of the PVDF polymer. In addition, hopping of electrons is enhanced in a temperature range of 40 – 75 °C and expected to decrease film resistance due to more electrons reaching the crystalline regions of the films [22]. Hence, it leads to enhanced polarization that will possibly increase the conductivity of the PVDF/MWCNT films, as well as the dc conductivity of PVDF that can only occur via electron hopping mechanism.

It is known that electrons can be created by ionization of atomic vacancies as thermally activated transport properties. Then, the hopping of electron can be predicted from

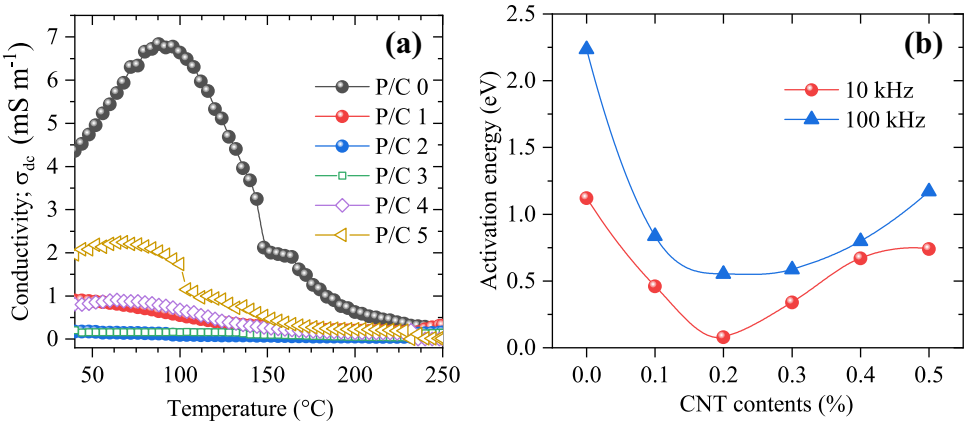


Fig. 7 Electrical properties of PVDF/MWCNT **a** dc conductivity as a function of temperature at 100 kHz and **b** activation energy of PVDF added-MWCNT at 10, and 100 kHz frequencies of PVDF added-MWCNT 0 – 0.5 wt% (P/C 0 – P/C 5)

activation energy (E_a). The activation energy is typically assigned to a single ionization for low values and a double ionization for high values [57, 58]. The value of dc conductivity (σ_{dc}) and inverse of absolute temperature (T) on thermal activation are evaluated for E_a with the Arrhenius law [59] as follows;

$$\sigma_{dc} = \sigma_{int} exp(-\frac{E_a}{k_B T}) \quad (3)$$

when σ_{int} is initial factor of exponential curve, and k_B is the Boltzmann's constant. The E_a values of the PVDF/MWCNT films at 10, and 100 kHz frequencies are shown in Fig. 7(b). It is found that the estimated E_a of the PVDF/MWCNT films at 100 kHz is higher than 10 kHz. The E_a values of PVDF decrease with adding MWCNT content at 100 kHz, i. e., 2.2, 0.8, 0.55, and 0.58 eV for P/C 0, P/C 1, P/C 2, and P/C 3, respectively. In contrast, the activated energy of the PVDF/MWCNT of P/C 4 is raised to 0.8 eV and 1.17 eV with adding MWCNT content of P/C 5. This shows the estimated E_a values associated with single ionization for MWCNT loading of P/C 1, P/C 2, and P/C 3, and double ionization of MWCNT loading for P/C 4 and P/C 5. In addition, it suggests that the relative crystal phase content and crystallinity of the α-γ-phase (seen in Fig. 2(c)) affect E_a and σ_{dc} of P/C 1, P/C 2, and P/C 5.

Ferroelectric behavior of the PVDF/MWCNT films were studied via polarization–electric field hysteresis loop (P-E loop) as shown in Fig. 8. The mechanism of domain switching in the molecules is a ferroelectric nature of the PVDF film. Remnant polarization (P_r) and coercive field (E_c) are directly proportional to piezoelectric responses of the PVDF films as illustrated in Fig. 8 (inset). The domain movement primarily shows presence of fluorine atoms which are more electronegative than the other atoms in the PVDF film [60]. The P-E loop shows P_r value of P/C 0 is 8.4 μC cm^{-2}, while P_r of P/C 1 gradually increases with increasing from MWCNT content of 0.1 wt% (8.7 μC cm^{-2}) and sharply decreases to 4.6 μC cm^{-2} with MWCNT content of 0.2 wt% (P/C 2). Alternatively, the P_r of PVDF escalates with adding MWCNT contents of P/C 3, P/C 4, and P/C 5 to be 5.6, 5, and 6.4 μC cm^{-2}, respectively. In contrast, the E_c value increases (decreasing P_r) with increasing MWCNT content, i. e., particularly P/C 4 and P/C 5 values are obviously higher than the others. It is also found that for P/C 4 and P/C 5 samples, the P_r is close to saturation polarization (P_s). Furthermore, P-E loops shown in Fig. 8 does not match the typical ferroelectrics property, such likely the relaxor ferroelectric with high current leakage. This may be associated with distorted spherulite of which is relative α-γ-phase content. Sufficient carbonyl group can hydrogen bond with C-F and C-H bonds in PVDF and, then, the amorphous phase increased. This decreased free space that is provided for the switching domains, and the reversible polarization is impeded in the modification of ferroelectric behavior of P/C 5 [61–63]. The results indicate that MWCNT loading can not be treated in a useful way to improve domain switching in the PVDF

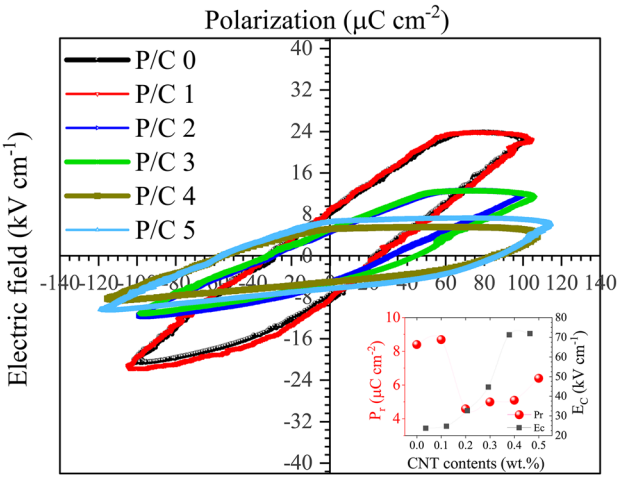


Fig. 8 Polarization–electric field hysteresis loops and remnant polarization with electric coercive field (inset) of PVDF/MWCNT polymer composites with added-MWCNT 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 wt% (P/C 0, P/C 1, P/C 2, P/C 3, P/C 4, and P/C 5)

Table 1 Comparison of dielectric constant, Remnant polarization and piezoelectric charge coefficient of PVDF among α, β, γ-phase, and α-γ-phase of PVDF/MWCNT

	PVDF			PVDF composite	This work (α-γ-phase:P/C 1)
	α-phase	β -phase	γ-phase		
Dielectric constant; ε_r (1 kHz)	14 [63]	7.6 [6] 13 [63]	10 [63]	10.97 [7] 13 [64] 140 [11]	22.3
Remnant polarization; P_r (μC cm^{-2})	2 [65]	5 [63] 8 [66] 140 (pure) [67]	3 [66]	77 [68]	8.4
Piezoelectric charge coefficient; d_{33} (pC N^{-1})	-	-62 (pure) [67] -33 [69]	-	-14 [68] -35 [70]	-10

films. Poling electric field is required for tunable PVDF/MWCNT films to induce ferroelectric property. In addition, comparison of dielectric constant, remnant polarization and piezoelectric charge coefficient of PVDF for α, β, γ-phase, and α-γ-phase of PVDF/MWCNT (P/C 1) are represented in this report. Table 1 shows dielectric and piezoelectric properties of PVDF for α-phase, β -phase, and γ-phase, PVDF composite, and α-γ-phase of PVDF/MWCNT (P/C 1) from this work. The α-γ-phase shows higher ε_r, P_r, and d_{33} than α-phase, and γ-phase of PVDF. This shows that dielectric and piezoelectric properties of the α-γ-phase PVDF/MWCNT can be tuned.

Piezoelectric property is closely related to the amount and alignment of dipole domains in crystalline polymer. The dipole alignment of the PVDF/MWCNT composites can be tuned by poling process. The α-γ-phase films are dominated by both the semi crystallinity and the phase transition under by applied electric field. The PVDF/MWCNT films are poled with electric field of 75 kV mm^{-1} to propose and demonstrate a tunable α-γ-phase for enhancing piezoelectric performance. Piezoelectric voltage coefficient (g_{33}) of the PVDF/MWCNT films is analyzed from piezoelectric charge coefficient (d_{33}) and dielectric constant (ε_r) with formation of a mixture of α-γ-phase. Figure 9 illustrates the d_{33}, ε_r and g_{33} coefficients of the PVDF/MWCNT films. The d_{33} and ε_r values of the films exhibit a similar trend to obtain g_{33} values. Normally, $(CH_2\text{-}CF_2)_x$ is the molecular structure of PVDF for the α-phase structure. When they are applied with high voltage in polling process, the CF_2 dipoles are aligned parallel as electric field direction [71]. After poling electric field, the highest d_{33} and ε_r values of P/C 1 are found correspond to P-E loop result due to effect of adding minimal MWCNT content and dipole alignment. Although, PVDF/

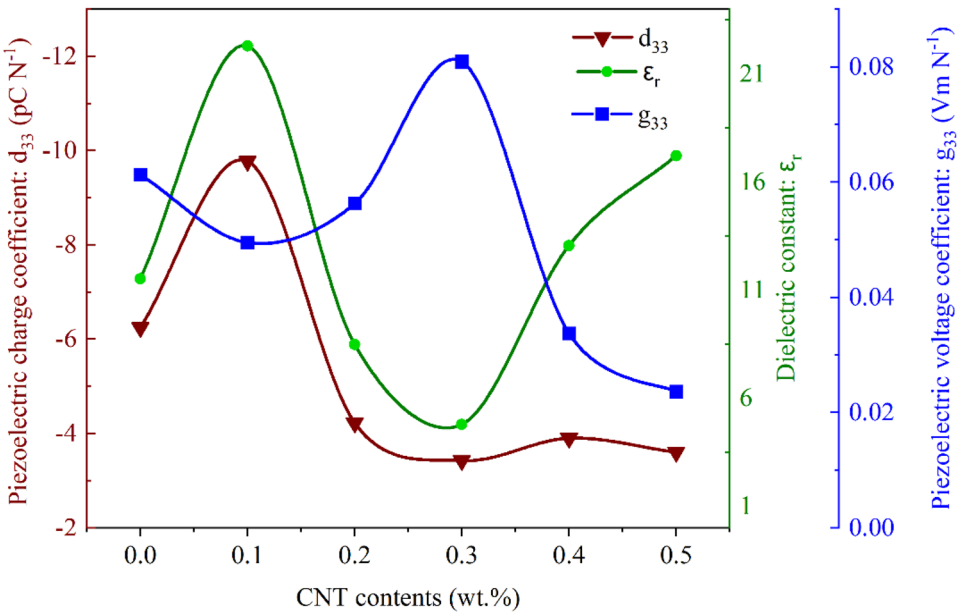


Fig. 9 Piezoelectric properties with piezoelectric charge coefficient (d_{33}), dielectric constant (ε_r), and piezoelectric voltage coefficient (g_{33}) of of PVDF added-MWCNT 0 – 0.5 wt% (P/C 0 – P/C 5)

MWCNT of P/C 3 shows minimum values of d_{33} and ε_r as -3.43 pC N^{-1} and 4.78, respectively, maximum value of g_{33} is obtained in this work. It is noted that high α-γ-phase in P/C 3 dipole domain alignment was properly improved by applied high voltage.

Conclusion

PVDF/MWCNT films were fabricated using solution casting technique. The neat PVDF crystalline film was α-phase. MWCNT loading with low content (P/C 1 – P/C 3) was not sufficient to contact with other molecular bonds in PVDF affecting the development of mixed α-γ-phase of PVDF. Increasing MWCNT contents (P/C 4, and P/C 5) showed sufficient interfacial contact with C-F and C-H bonds in PVDF. This contributed to the distorted spherulites of the amorphous/crystalline interfaces in PVDF. The existence of carbonyl group in MWCNT were observed at 450 and 671 cm^{-1}. The morphologies of PVDF/MWCNT polymer films exhibited homogeneous structure, fractured surface with folded lines leading to an elongated corrugated surface when MWCNT content into PVDF was increased. The elemental mapping exhibited distribution of oxygen, carbon, and fluorine into PVDF. Dielectric properties of PVDF/MWCNT showed relaxor ferroelectric behavior. The ε_r gradually dropped, and then leaked current was observed when heated more than 230 °C. The semi crystallinity and the phase transition occurred under applied external force. It was found in P/C 3 that MWCNT assisted nucleation and, hence, increased relative crystal α-γ phase content. Under high voltage, the domains could be easily aligned, giving thermal stability and ε_r was found to stable to around 125 °C. The tan δ curves strongly increased with increasing temperature due to agglomeration of MWCNT with C-F and C-H bonds in PVDF. The σ_{dc} of PVDF decreased with adding MWCNT (P/C 1 – P/C 3) and increased with increasing MWCNT contents (P/C 4 and P/C 5) due to hopping mechanisms. P-E loops of P/C 0 and P/C 1 showed increasing ε_r and P_r with MWCNT loading due to domination of C-F bond and low relative crystal α-γ-phase content. P_r decreased with increasing MWCNT loading (P/C 1 – P/C 3). High relative α-γ-phase content of P/C 3 showed maximum g_{33} of which the domains were aligned in the same direction. The PVDF/MWCNT polymer films were synthesized with the proper α-γ-phase leading to essential properties of the polymer composite films.

Declarations

Conflicts of interest The authors have no conflicts of interest to declare that are relevant to the content of this article.

References

1. Liu S, Xue S, Zhang W, Zhai J, Chen G (2014) Significantly enhanced dielectric property in PVDF nanocomposites flexible films through a small loading of surface-hydroxylated $Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO_3$ nanotubes. J Mater Chem A 2:18040–18046
2. Dang Z-M, Yuan J-K, Yao S-H, Liao R-J (2013) Flexible nanodielectric materials with high permittivity for power energy storage. Adv Matter 25:6334–6365
3. Zhou Y, Bai Y, Yu K, Kang Y, Wang H (2013) Excellent thermal conductivity and dielectric properties of polyimide composites filled with silica coated self-passivated aluminum fibers and nanoparticles. Appl Phys Lett 102:252903
4. Yuan J, Yao S, Poulin P (2016) Dielectric constant of polymer composites and the routes to high-k or Low-k nanocomposite materials. Polym Nanocom 3–28
5. Riquelme SA, Ramam K (2019) Dielectric and piezoelectric properties of lead free BZT-BCT/PVDF flexible composites for electronic applications. Mater Res Exp 6:116331
6. Ishaq S, Kanwal F, Atiq S, Moussa M, Azhar U, Losic D (2020) Dielectric Properties of Graphene/Titania/Polyvinylidene Fluoride (G/TiO_2/PVDF). Nanocomp Matter 13:205
7. Zheng X (2018) Functionalization of graphene and dielectric property relationships in PVDF/graphene nanosheets composites. Int J Electro Sci 13:1–13
8. Mishra S, Kumaran KT, Sivakumaran R, Pandian SP, Kundu S (2016) Synthesis of PVDF/CNT and their functionalized composites for studying their electrical properties to analyze their applicability in actuation & sensing. Colloids & Surf A 509:684–696
9. Chen G-X, Zhang S, Zhou Z, Li Q (2015) Dielectric properties of poly(vinylidene fluoride) composites based on Bucky gels of carbon nanotubes with ionic liquids. Polym Comp 36:94–101
10. Wang Y, Xing C, Guan J, Li Y (2017) Towards flexible dielectric materials with high dielectric constant and low loss: pvdf nanocomposites with both homogenously dispersed cnts and ionic liquids nanodomains. Polym 9:562
11. He P, Gu H, Wang G, Yang S, Ding G, Liu Z, Xie X (2017) Kinetically enhanced bubble-exfoliation of graphite toward high-yield preparation of high-quality graphene. Chem Mater 29:8578–8582
12. Huang T, Yang S, He P, Sun J, Zhang S, Li D, Meng Y, Zhou J, Tang H, Liang J, Ding G, Xie X (2018) Phase-separation-induced pvdf/graphene coating on fabrics toward flexible piezoelectric sensors. ACS Appl Mater Inter 10:30732–30740
13. Siddiqui S, Kim D-I, Duy LT, Nguyen MT, Muhammad S, Yoon W-S, Lee N-E (2015) High-performance flexible lead-free nanocomposite piezoelectric nanogenerator for biomechanical energy harvesting and storage. Nano Energ 15:177–185
14. Jayakumar O, Abdelhamid E, Kotari V, Mandal B, Rao R, Jagannath J, Naik V, Naik R, Tyagi A (2015) Fabrication of flexible and self-standing inorganic-organic three phase magneto-dielectric PVDF based multiferroic nanocomposite films through a small loading of graphene oxide (GO) and Fe_3O_4 nanoparticles. Dalton Trans 44:15872–15881
15. Ajayan PM (1999) Nanotubes from carbon. Chem Rev 99:1787–1800
16. Balasubramanian K, Burghard M (2005) Chemically functionalized carbon nanotubes. Small 1:180–192
17. Tian R, Zhang Y, Li Z, Huan Y, Li G, Li Y, Li W (2018) Coupling effect of PVDF molar mass and carboxyl content in CNTs on microstructure and thermal properties of CNT/PVDF composites. Mater Res Exp 5:065031
18. Behera K, Yadav M, Chiu F-C, Rhee KY (2019) Graphene Nanoplatelet-Reinforced Poly(vinylidene fluoride)/High Density Polyethylene Blend-Based Nanocomposites with Enhanced Thermal and Electrical Properties. Nanomater 9:361

19. Behera K, Chiu F-C (2020) Evident improvements in the rigidity, toughness, and electrical conductivity of PVDF/HDPE blend with selectively localized carbon nanotube. Polym Testing 90:106736
20. Batra AK, Edwards ME, Guggilla P, Aggarwal MD, Lal RB (2014) Pyroelectric properties of PVDF:MWCNT nanocomposite film for uncooled infrared detectors and medical applications. Int Ferro 158:98–107
21. Wu C-M, Chou M-H, Zeng W-Y (2018) Piezoelectric response of aligned electrospun polyvinylidene fluoride/carbon nanotube nanofibrous membranes. Nanomat (Basel) 8:420
22. Shehata N, Elnabawy E, Abdelkader M, Hassanin HA, Salah M, Nair R, Ahmad Bhat S (2018) Static-aligned piezoelectric poly (vinylidene fluoride) electrospun nanofibers/mwcnt composite membrane: facile method. Polym 10:9
23. Mintmire JW, Dunlap BI, White CT (1992) Are fullerene tubules metallic? Phys Rev Lett 68:631–634
24. Hamada N, Sawada S-I, Oshiyama A (1992) New one-dimensional conductors: Graphitic microtubules. Phys Rev Lett 68:1579–1581
25. Majeed S, Fierro D, Buhr K, Wind J, Du B, Boschetti-de-Fierro A, Abetz V (2012) Multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) mixed polyacrylonitrile (PAN) ultrafiltration membranes. J Membr Sci 403–404:101–109
26. Alzahrani JS, Sharma A, Nazrin SN, Alrowaili ZA, Al-Buriahi MS (2022) Optical and radiation shielding effectiveness of a newly fabricated WO_3 doped TeO_2–B_2O_3 glass system. Rad Phys Chem 193:109968
27. Alrowaili ZA, Ali AM, Al-Baradi AM, Al-Buriahi MS, Wahab EAA, Shaaban KS (2022) A significant role of MoO_3 on the optical, thermal, and radiation shielding characteristics of B_2O_3–P_2O_5–Li_2O glasses. Opt Quantum Electron 54:88
28. Alzahrani JS, Alrowaili ZA, Saleh HH, Hammoud A, Alomairy S, Sriwunkum C, Al-Buriahi MS (2021) Synthesis, physical and nuclear shielding properties of novel Pb–Al alloys. Prog Nuc Energ 142:103992
29. Al-Buriahi MS, Hessien M, Alresheedi F, Al-Baradi AM, Alrowaili ZA, Kebaili I, Olarinoye IO (2022) ZnO– Bi_2O_3 nanopowders: Fabrication, structural, optical, and radiation shielding properties. Ceram Inter 48:3464–3472
30. Al-Buriahi MS, Sriwunkum C, Arslan H, Tonguc BT, Bourham MA (2020) Investigation of barium borate glasses for radiation shielding applications. Appl Phys A 126:68
31. Al-Buriahi MS, Bakhsh EM, Tonguc B, Khan SB (2020) Mechanical and radiation shielding properties of tellurite glasses doped with ZnO and NiO. Ceram Inter 46:19078–19083
32. Pusty M, Sinha L, Shirage PM (2019) A flexible self-poled piezoelectric nanogenerator based on a rGO–Ag/PVDF nanocomposite. New J Chem 43:284–294
33. Yan J, Liu M, Jeong YG, Kang W, Li L, Zhao Y, Deng N, Cheng B, Yang G (2019) Performance enhancements in poly(vinylidene fluoride)-based piezoelectric nanogenerators for efficient energy harvesting. Nano Energ 56:662–692
34. Biswas A, Henkel K, Schmeißer D, Mandal D (2017) Comparison of the thermal stability of the α, β and γ phases in poly(vinylidene fluoride) based on in situ thermal Fourier transform infrared spectroscopy. Phase Transit 90:1205–1213
35. Song R, Yang D, He L (2007) Effect of surface modification of nanosilica on crystallization, thermal and mechanical properties of poly(vinylidene fluoride). J Mater Sci 42:8408–8417
36. Choi S, Jiang Z (2006) A novel wearable sensor device with conductive fabric and PVDF film for monitoring cardiorespiratory signals. Sensor Actuat A-Phys 128:317–326
37. Martins P, Nunes J, Hungerford G, Miranda D, Ferreira A, Sencadas V, Lanceros-Méndez S (2009) Local variation of the dielectric properties of poly(vinylidene fluoride) during the α- to β-phase transformation. Phys Lett A 373:177–180
38. Thomas P, Varughese K, Dwarakanath K, Varma K (2010) Dielectric Properties of Poly(Vinylidene Fluoride)/$CaCu_3Ti_4O_{12}$. Comp Sci Tech 70:539–545
39. Gregorio JR, Cestari M (1994) Effect of crystallization temperature on the crystalline phase content and morphology of poly(vinylidene fluoride). J Polym Sci B Polym Phys 32:859–870
40. Li Q, Wang Q (2016) Ferroelectric Polymers and Their Energy-Related Applications. Macromol Chem Phys 217:1228–1244
41. Han P, Tian J, Yan W (2008) Bridgman growth and properties of PMN–PT-based single crystals. Woodhead Publ 3–37
42. Martins P, Lopes AC, Lanceros-Mendez S (2014) Electroactive phases of poly(vinylidene fluoride): Determination, processing and applications. Prog Polym Sci 39:683–706
43. Gregorio JR (2006) Determination of the α, β, and γ crystalline phases of poly(vinylidene fluoride) films prepared at different conditions. J Appl Polym Sci 100:3272–3279
44. Xia W, Zhang Z (2018) PVDF-based dielectric polymers and their applications in electronic materials. IET Nano 1:17–31
45. Huo H, Jiang S, An L, Feng J (2004) Influence of shear on crystallization behavior of the β phase in isotactic polypropylene with β-nucleating agent. Macromolecules 37:2478–2483
46. Das AK, Bhowmik R, Meikap AK (2017) Surface functionalized carbon nanotube with polyvinylidene fluoride: Preparation, characterization, current-voltage and ferroelectric hysteresis behaviour of polymer nanocomposite films. AIP Adv 7:045110
47. Murakami Y, Einarsson E, Edamura T, Maruyama S (2005) Polarization dependence of the optical absorption of single-walled carbon nanotubes. Phys Rev Lett 94:087402
48. Twinkle KM, Gowsamy JK, Kumar P, Kumar S (2020) Synthesis and characterization of CNT/PVDF paper for electronic and energy storage applications. Emerg Mater 3:181–185
49. Kim S, Song Y, Heller M (2017) Influence of MWCNTs on β-phase PVDF and triboelectric properties. J Nanomater 2017:1–7
50. Chatterjee J, Nash N, Cottinet P-J, Wang B (2012) Synthesis and characterization of poly(vinylidene fluoride)/carbon nanotube composite piezoelectric powders. J Mater Res 27:2352–2359
51. Prateek P, Bhunia R, Garg A, Gupta RK (2019) Poly(vinylpyrrolidone)/Poly(vinylidene fluoride) as guest/host polymer blends: understanding the role of compositional transformation on nanoscale dielectric behavior through a simple solution–process route. ACS Appl Energy Mater 2:6146–6152
52. Liu L, Kong LB, Matitsine S (2008) Tunable effective permittivity of carbon nanotube composites. Appl Phys Lett 93:113106–113106
53. Yu S, Zheng W, Yu W, Zhang Y, Jiang Q, Zhao Z (2009) Formation mechanism of β-phase in PVDF/CNT composite prepared by the sonication method. Macro 42:8870–8874
54. Kang BS, Choi SK (2002) Diffuse dielectric anomaly of $BaTiO_3$ in the temperature range of 400–700°C. Solid State Commun 121:441–446
55. Silakaew K, Thongbai P (2019) Significantly improved dielectric properties of multiwall carbon nanotube-$BaTiO_3$ /PVDF polymer composites by tuning the particle size of the ceramic filler. RSC Adv 9:23498–23507
56. Xu Q, Lanagan MT, Luo W, Zhang L, Xie J, Hao H, Cao M, Yao Z, Liu H (2016) Electrical properties and relaxation behavior of $Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO_3$-$BaTiO_3$ ceramics modified with NaNbO3. J Eur Ceram Soc 36:2469–2477
57. Ang C, Yu Z, Cross L (2000) Oxygen-vacancy-related low-frequency dielectric relaxation and electrical conduction in Bi: $SrTiO_3$. J Chem Phys Rev B 62:228
58. Ciomaga CE, Buscaglia MT, Buscaglia V, Mitoseriu L (2011) Oxygen deficiency and grain boundary-related giant relaxation in Ba(Zr, Ti)$_O$3 ceramics. J Appl Phys 110:114110
59. Kang W-S, Lee S-K, Koh J-H (2015) AC conductivity and dielectric properties of (Bi, Na)Ti_O3–$BaTi_O$3 lead free ceramics. Ceram Int 41:6925–6932

60. Furukawa T (1989) Ferroelectric properties of vinylidene fluoride copolymers. Phase Transit 18:143–211
61. Gomes J, Serrado Nunes J, Sencadas V, Lanceros-Mendez S (2010) Influence of the β-phase content and degree of crystallinity on the piezo- and ferroelectric properties of poly(vinylidene fluoride). Smart Mater Struct 19:065010
62. Muduli SP, Parida S, Rout SK, Rajput S, Kar M (2019) Effect of hot press temperature on β-phase, dielectric and ferroelectric properties of solvent casted Poly(vinyledene fluoride) films. Mater Res Exp 6:095306
63. Li J, Meng Q, Li W, Zhang Z (2011) Influence of crystalline properties on the dielectric and energy storage properties of poly(vinylidene fluoride). J Appl Polym Sci 122:1659–1668
64. Yuan M, Li B, Zhang S, Rajagopalan R, Lanagan MT (2020) High-field dielectric properties of oriented poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene): structure–dielectric property relationship and implications for energy storage applications. ACS Appl Polym Mater 2:1356–1368
65. Li W, Meng Q, Zheng Y, Zhang Z, Xia W, Xu Z (2010) Electric energy storage properties of poly(vinylidene fluoride). Appl Phys Lett 96:192905
66. Hu Y-C, Hsu W-L, Wang Y-T, Ho C-T, Chang P-Z (2014) Enhance the pyroelectricity of polyvinylidene fluoride by graphene-oxide doping. Sensors 14:6877–6890
67. Huang Y, Rui G, Li Q, Allahyarov E, Li R, Fukuto M, Zhong G-J, Xu J-Z, Li Z-M, Taylor PL, Zhu L (2021) Enhanced piezoelectricity from highly polarizable oriented amorphous fractions in biaxially oriented poly(vinylidene fluoride) with pure β crystals. Nat Commun 12:675
68. Chen S, Yao K, Tay FEH, Liow CL (2007) Ferroelectric poly(vinylidene fluoride) thin films on Si substrate with the β phase promoted by hydrated magnesium nitrate. J App Phys 102:104108
69. Burnham-Fay ED, Le T, Tarbutton JA, Ellis JD (2017) Strain characteristics of additive manufactured polyvinylidene fluoride (PVDF) actuators. Sensor Actuat A-Phys 266:85–92
70. Li R, Zhou J, Liu H, Pei J (2017) Effect of Polymer Matrix on the Structure and Electric Properties of Piezoelectric Lead Zirconatetitanate/Polymer Composites. Mater 10:945
71. Ruan L, Yao X, Chang Y, Zhou L, Qin G, Zhang X (2018) Properties and applications of the β phase poly(vinylidene fluoride). Polym 10:2073–4360

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Atmospheric Environment 286 (2022) 119218

Contents lists available at ScienceDirect

Atmospheric Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/atmosenv

Long-term variations and comparison of aerosol optical properties based on MODIS and ground-based data in Thailand

Oradee Pilahome [a], Waichaya Ninssawan [a], Yuttapichai Jankondee [a], Serm Janjai [b], Wilawan Kumharn [a,*]

[a] Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, Thailand
[b] Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom, Thailand

HIGHLIGHTS

- MODIS and ground based AODs were in good agreement with $R^2 = 0.75$.
- Satellite and ground based AODs demonstrate increasing trends in AOD.
- Hypothesis showed 95% confidence interval of AODs retrieved from satellite data fell within the confidence range.
- Higher AOD values were observed between February to April.
- Meteorological parameters and temperature inversion more influenced AOD in February.

ARTICLE INFO

Keywords:
Aerosols
Angstrom exponent
MODIS
Satellite data
Ground-based data

ABSTRACT

Comparison and analysis of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), Aerosol Robotic Network (AERONET), and SKYNET aerosol optical depth (AOD) products were investigated at four AERONET and two SKYNET stations in Thailand from 2006 to 2020. AERONET Level 2.0 and MODIS *Deep Blue* (DB) Collection 6.1 data were applied. Aqua and Terra MODIS AODs (satellite AODs) were compared to AERONET and SKYNET AODs (ground based AODs). Ground-based and satellite AODs were in good agreement, giving a high correlation ($R^2 = 0.75$) in Ubon Ratchathani, associated with biomass burning. The long-term trend in AOD was analyzed. Both satellite and ground based AODs demonstrate increasing trends in AOD over Thailand associated with the urbanized area and traffic congestion. Aerosol particles are categorized into dust, sea salt, and biomass burning, containing fine and coarse modes. A variation between satellite data measurements depended on surface reflectances, such as the large water body surrounding (Songkhla) and the impact of surface albedo (Chiang Mai). Higher AOD values were observed between February to April. In addition, meteorological parameters are directly related to aerosol concentrations, while no significant connection could be developed in the observed values between Angstrom exponent (AE) and Meteorological parameters. Meteorological parameters and temperature inversion more influenced AOD concentrations in February. Nevertheless, the hypothesis showed 95% confidence interval of AODs retrieved from satellite data fell within the confidence range. Therefore, satellite aerosol products are sufficiently accurate for estimating aerosol climatology.

1. Introduction

Aerosol particles play a vital role in global climate change, ecosystem, and human health (Habib et al., 2019; Kumharn et al., 2012; Kuttippurath and Raj, 2021). To date, there has been increasing anxiety about the high aerosol concentration events in the atmosphere in all regions of Thailand, which cause air pollution and health problems. Additionally, the industrial growth in Thailand leads to high levels of air pollution, which needs to improve the situation (Agsorn, 2010). Ground-based and satellite measurements of aerosol optical depth (AOD) have widely been used for aerosol studies. AOD is a parameter for indicating the extinction of a light beam as it passes through a layer of the atmosphere that contains aerosol particles. It is wavelength-dependent and typically decreases with increasing

* Corresponding author. Department of Physics, Faculty of Science and Technology Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000, Thailand.
E-mail addresses: wilawan_kumharn@snru.ac.th, wilawankumharn2015@gmail.com (W. Kumharn).

https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119218
Received 3 February 2022; Received in revised form 30 May 2022; Accepted 4 June 2022
Available online 7 June 2022
1352-2310/© 2022 Elsevier Ltd. All rights reserved.

wavelengths (Bartoszek et al., 2020; Gao et al., 2010; Schmid et al., 1997).

In Thailand, various groups have carried out several studies on satellite AODs (Jantarach et al., 2012; Kanabkaew, 2013; Nichol and Bilal, 2016; Suwanwaree et al., 2014). (Kanabkaew, 2013) examined the statistical model for predicting PM concentration in Chiang Mai using satellite AODs (Suwanwaree et al., 2014). studied the aerosol prediction index (API) for determining and mapping PM_{10} using satellite AODs in 2009 and 2010 during burning seasons in upper northern Thailand (Jantarach et al., 2012). compared satellite AODs retrievals with ground-based measurements in the tropics (Nichol and Bilal, 2016). evaluated the new Aqua MODIS Dark Target Collection 6 AOD retrieval algorithm at 3 km resolution over Asian countries. Much of the current literature on AOD pays attention to using and comparing ground-based and satellite data. These studies indicate a relationship between long-term variations and comparison of aerosol optical properties based on satellite and ground-based data and meteorological parameters in Thailand.

Ground-based and satellite data can be used to determine AOD and AE in the atmosphere; however, various instruments could produce different AOD and AE retrievals within the exact temporal coordinates and geographic location. Recently, AOD and AE data obtained from MODIS sensors aboard two satellites (Terra and Aqua) operated by the US National Aeronautics and Space Administration (NASA) have widely been used for aerosol climatology (Mehta et al., 2016). Since many parts of Thailand lack ground-based data due to inadequate/unreliable station networks, satellite data have become essential sources for wide spatial and temporal understanding aerosols properties. However, low sensitivity of the sensor, high surface reflectivity, cloud, and low AOD could limit satellite data describing aerosol properties. Characterization of surface reflectance becomes comparatively more critical in reducing aerosol loading. Therefore, surface reflectance remains one of the essential inputs to aerosol retrieval from satellite data, especially over land surfaces. The DB algorithm utilizes blue wavelength measurements from MODIS instruments, providing helpful information about aerosol properties over bright-reflecting land surfaces. Our aerosol retrievals were obtained using the MODIS collection 6.1 DB algorithm. This study investigated AOD and AE through statistical inter-comparison analysis between satellite and ground-based products at six sites (Chiang Mai, Bangkok, Phimai, Nakhon Pathom, Ubon Ratchathani, Songkhla) in Thailand. In addition, the relationship between meteorological parameters and aerosol optical properties was examined. These results would better understand AOD climatology and its impact on tropical regions' global climate changes and human health.

2. Data collection

Thailand is divided into four central regions, each grouping of provinces (North, Central region, North-east, and South). Chiang Mai is the largest city in the north (Andronache, 2004), a mountainous area surrounded by high mountains and forests. Nakhon Pathom is a city in the center of a basin through which channels and rivers run. Ubon Ratchathani is a significant city in the northeast. Phimai is in Nakhon Ratchasima Province, which is about 60 km from Nakhon Ratchasima downtown, one of the four major cities in the northeast. Songkhla is in the South of the Malay Peninsula, bounded to the north by Kra Isthmus. Ground-based AOD monitoring uses Sun-photometer and Sky radiometer. The AERONET networks in Thailand are in Nakhon Pathom (13.82°N, 100.04°E), Chiang Mai (18.77°N, 98.97°E), Ubon Ratchathani (15.24°N, 104.87°E), and Songkhla (7.18°N, 100.60°E). Skynet networks are in the Bureau of Royal Rainmaking and Agricultural Aviation (BRRAA), Rang Ka Yai, Phimai, Nakhon Ratchasima (15.18°N, 102.56°E), and the meteorological department, Bangkok (13.66°N, 100.60°E) since 2005 (Fig. 1).

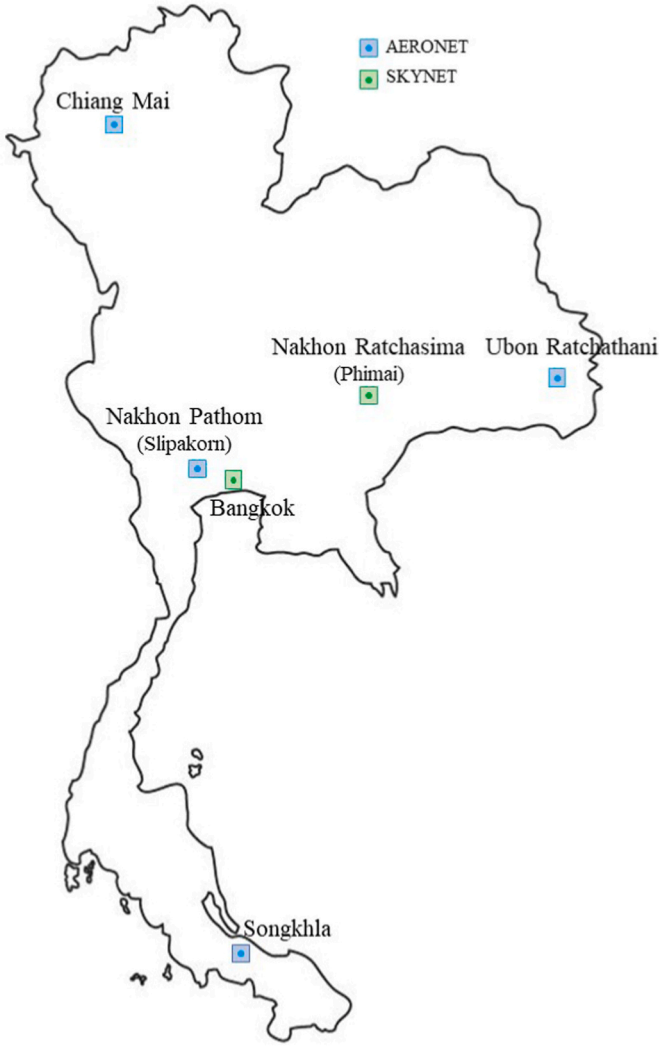


Fig. 1. Spatial distribution of synoptic stations in Thailand.

2.1. Ground-based and satellite data

Ground-based aerosol particles measurement using the Sun-photometer were collected from the AERONET networks at 340, 380, 440, 500, 675, 870, and 1020 nm (Giles, 2020). There are three levels in the last Version AOD data, which are Level 1.0 (unscreened), Level 1.5 (cloud-screened and quality controlled), and Level 2.0 (quality-assured) downloaded from https://aeronet.gsfc.nasa.gov/website. The AERONET research community adopt and validate new measurement technique and algorithms for AERONET products. Another AOD data were obtained from SKYNET networks, an observation network-related aerosol-cloud-radiation interaction under the WCRP/GAME project, focusing on East Asia. Data collections are available on http://atmos3.cr.chiba-u.jp/skynet/website. Satellite data retrieval was obtained from MODIS, installed on Terra and Aqua satellites, belonging to the NASA earth observing system since 1999. MODIS DB collection 6.1 Level 2 AOD products (MOD04_L2 for Terra product and MYD04_L2 for Aqua) has been used with the spatial resolution of a 10x10 1-km pixel array (at nadir) retrieved and downloaded from https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/products website.

Meteorological parameters (mean temperature, rainfall, RH, and wind speed) were obtained from the Thai meteorological department at local sites from 2006 to 2020.

3. Methodology and analysis

3.1. AOD and AE calculation

AOD is the wavelength dependence that varies depending on the size, type, and chemical composition. The Angstrom equation describes the wavelength dependence (Angstrom, 1929), which is closely associated with the aerosol size distribution. Therefore, AOD can be written as follows:

$$\tau = \beta\lambda^{-\alpha} \quad (1)$$

Where τ is the AOD; β is the Angstrom turbidity; λ is the wavelength, and α is the Angstrom exponent (AE).

AE values are typically considered the independent parameter related to the size of particles (Cachorro et al., 1993, 2001; Kambezidis et al., 2001; Kumharn, 2010; Shifrin, 1995; Toledano et al., 2007).

3.2. Satellite AODs interpolation

Validation of satellite AODs at 550 nm is addressed by comparing the ground based AODs. Ground-based AODs 198 are retrieved at six visible channels (380, 440, 500, 675, 870, and 1020 nm) with the interpolated product at 550 199 nm. A quadratic equation is an equation having the form:

$$AOD_{550} = a_0 + a_1\lambda + a_2\lambda^2 \quad (2)$$

where λ represents the wavelength. a_0, a_1, and a_2 are real numbers and a≠0.

3.3. Linear regression

Linear regression is a fundamental and commonly used predictive analysis applied for ground-based and satellite AODs as equation (3).

$$AOD_{satellite} = m \times AOD_{ground\ based} + c \quad (3)$$

where c is the intercept and m is a slope. $AOD_{satellite}$ illustrates satellite AODs. R^2 is the square of the correlation coefficient that represents the correlation between ground-based and satellite AODs. Linear trends in the time series during the study were obtained at each site.

4. Results and discussions

4.1. Validation of ground-based and satellite data

Satellite AODs have been compared against the ground-based observations, as demonstrated in Fig. 2. Terra's orbit passes from North to South in the morning (10.30 a.m.), while Aqua passes South to North at about 1.30 p.m. Therefore, we used a pair of DB and AERONET AOD data samples considered collocated with a temporal window of ±30 min for AERONET, and the spatial distance is within 0.1°(latitude/longitude). In the MODIS C6.1 validation, the validation of MODIS 10 km products against AERONET AOD data, with a 1 × 1-pixel sampling area (10 × 10 km^2 for the 10 km product). The correlation coefficients between satellite and ground based AODs are equal to or above 0.74 in Chiang Mai, Phimai, and Ubon Ratchathani. The highest correlation between Aqua MODIS and ground-based AODs has been found in Ubon Ratchathani with $R^2 = 0.73$, slope = 1.03, and Mean bias error (MBE) = 0.17, and the highest correlation between Terra MODIS and ground-based AODs has also been observed in Ubon Ratchathani with R^2 = 0.75, slope = 1.12, and MBE = 0.19. These results are likely related to the similar AOD retrieval algorithms obtained from two instruments. The lowest satellite and ground based AODs correlation coefficients are found over Nakhon Pathom. A station with a low correlation (0.5) may be due to a high level of air pollution or complex surface elements,

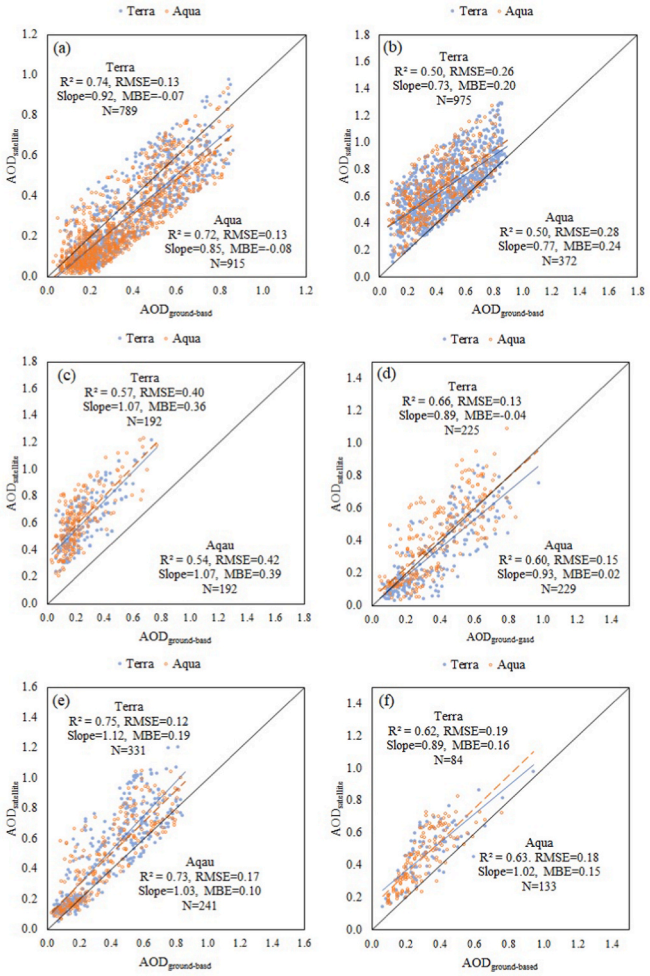


Fig. 2. Linear regression between ground based and satellite AODs in (a) Chiang Mai (b) Nakhon Pathom (c) Bangkok (d) Phimai (e) Ubon Ratchathani (f) Songkhla.

affecting lower sensitivity to aerosol properties (Cheng et al., 2006). The correlation coefficients of Terra MODIS and ground-based AODs are like those of Aqua MODIS and ground-based AODs at all sites. The satellite data underestimated AOD values that are more obvious in Chiang Mai and Phimai due to the impact of geography and surface albedo. The lowest single scattering albedo values were observed in Chiang Mai, which has the highest absorption (Janjai et al., 2012). The satellite data retrieval substantially overestimated AODs in Bangkok, Nakhon Pathom, Ubon Ratchathani, and Songkhla. This could be attributed to Songkhla's large water body, located in the South, affecting surface reflectivity. Bangkok and Nakhon Pathom, where Bangkok is the capital city of Thailand, and Nakhon Pathom is next to Bangkok, were detected with high AOD values, mainly due to human activity and transportation. Satellite AOD values are underestimated in low AOD conditions and slightly overestimated in medium or high AOD conditions (Gupta et al., 2022; Stirnberg et al., 2018). In addition, areas with significant differences between spectrometers such as complex surfaces, complex aerosol types, and bright surfaces were underestimated and overestimated (Filonchyk et al., 2019). As shown in Fig. 3, the satellite AEs are overestimated. This overestimation is slightly more significant in all stations except Chiang Mai. In addition, SKYNET networks (Bangkok and Phimai) have been operated for some years, and sometimes the instrument is broken, leading to missing data. *Our results gave a weak correlation (0.50-0.66) at all stations. The highest correlation between Terra MODIS and ground-based AEs has been found in Chiang Mai with R^2=0.66,*

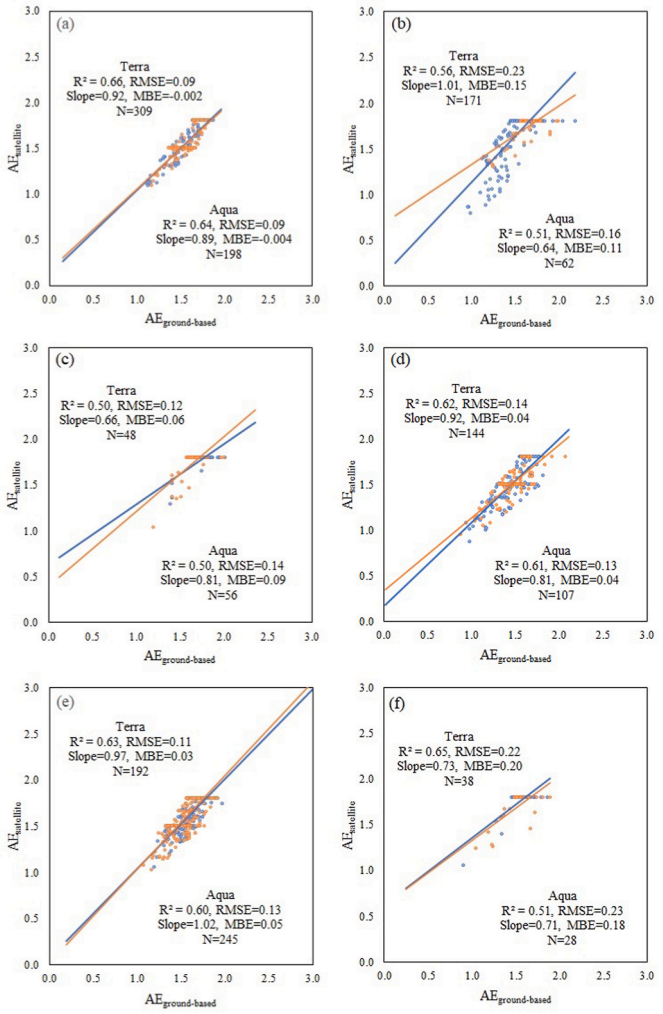


Fig. 3. Linear regression between ground based and satellite AEs in (a) Chiang Mai (b) Nakhon Pathom (c) Bangkok (d) Phimai (e) Ubon Ratchathani (f) Songkhla.

*slope=0.92, and MBE=-0.002. However, many previous works also used AERONET and MODIS AE for analysis (*Rupakheti et al., 2019; Sabetghadam et al., 2021; You et al., 2017*).*

4.2. AOD

Fig. 4 shows the monthly mean AOD obtained from satellite and ground-based data in (a) Chiang Mai, (b) Nakhon Pathom, (c) Bangkok, (d) Phimai, (e) Ubon Ratchathani, and (f) Songkhla. Seasonal variations in satellite and ground-based AODs at all stations show similar patterns, with an average of 0.41 for ground-based data and 0.53 for satellite data. Monthly ground based AOD values vary in Chiang Mai (0.12–0.72), Nakhon Pathom (0.13–0.63), Bangkok (0.43–1.29), Phimai (0.24–0.80), Ubon Ratchathani (0.15–0.67), and Songkhla (0.17–0.46). Monthly satellite AOD values vary in Chiang Mai (0.12–0.75), Nakhon Pathom (0.51–0.90), Bangkok (0.40–1.17), Phimai (0.17–0.83), Ubon Ratchathani (0.19–1.05), and Songkhla (0.38–0.98). The annual average of AOD for ground-based in Chiang Mai, Nakhon Pathom, Bangkok, Phimai, Ubon Ratchathani, and Songkhla are 0.42, 0.40, 0.60, 0.44, 0.38, and 0.24, respectively. Annual average of AOD for Terra are 0.41 (Chiang Mai), 0.70 (Nakhon Pathom), 0.70 (Bangkok), 0.40 (Phimai), 0.54 (Ubon Ratchathani), and 0.51 (Songkhla). The annual average of AODs for Aqua are 0.32 (Chiang Mai), 0.68 (Nakhon Pathom), 0.65 (Bangkok), 0.41 (Phimai), 0.50 (Ubon Ratchathani), and 0.50

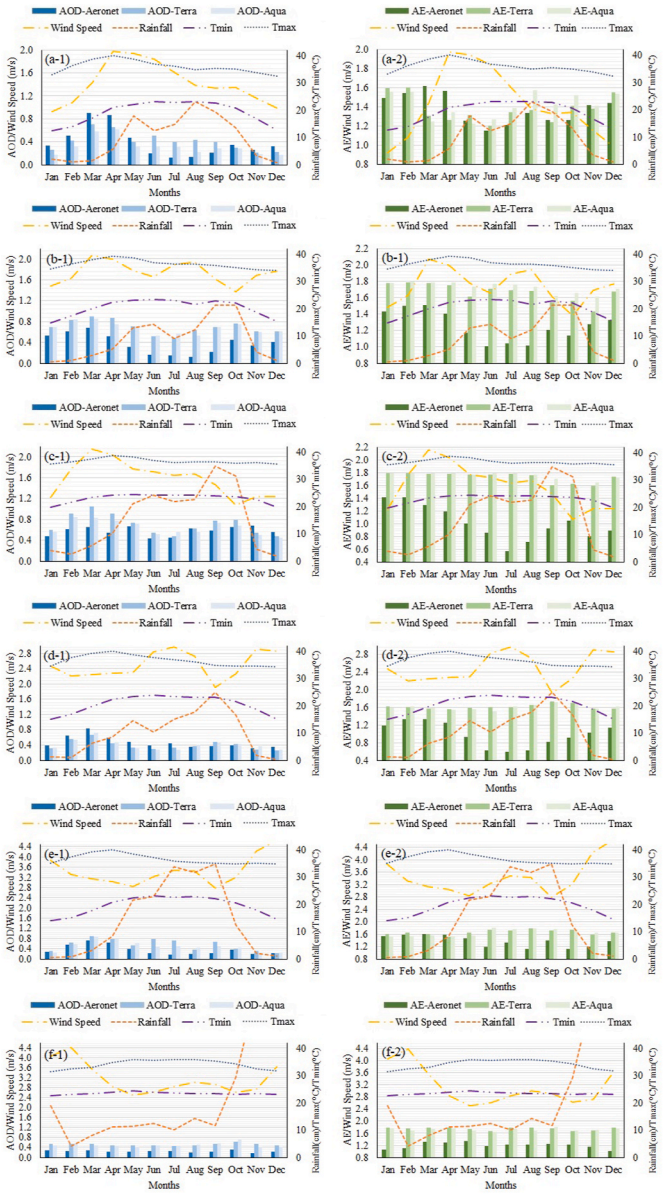


Fig. 4. Time series of monthly mean AOD and AE derived from satellite and ground based data in (a) Chiang Mai (b) Nakhon Pathom (c) Bangkok (d) Phimai (e) Ubon Ratchathani (f) Songkhla.

(Songkhla). Fig. 4 shows the monthly average of AOD for each site. Higher values of ground based and satellite AODs are observed from February to April (summer) compared with June to July (rainy season), except for Songkhla. The highest AOD value was detected at Bangkok station in April (0.91), while the lowest was observed at Phimai station (0.45). Songkhla is fewer variations of ground based AODs ranging from 0.16 to 0.36, and aerosol concentrations remain low and constant for a whole year. Low ground based and satellite AODs values were detected from June to July, which is likely due to increased rainfall and decreased atmosphere aerosol particles. Satellite and ground based AODs show high AOD values in Bangkok compared to Songkhla. Population growth, rapid urbanization, and economic development in Bangkok contribute to increased aerosol levels in the atmosphere. In contrast, a light industry with a small density of population and less human activity in Songkhla controlled aerosol particles formation, resulting in low AOD values. However, Aqua MODIS AOD annual values are slightly different from Terra MODIS AOD values because of instrument calibration or the difference in aerosol and cloud conditions. In addition, the MODIS

satellite (aboard Terra and Aqua) passes over Thailand at different times.

Illustrated in Fig. 5 is a regression analysis of satellite AODs against ground based AODs over the six sites from 2006 to 2020. Terra and Aqua MODIS, and ground based AODs have positive trends at all stations, except in Phimai (Fig. 5). In a positive direction, Aqua and Terra MODIS, and ground based AODs indicate data stability over this site. It is evident from Fig. 4 that variation in satellite AOD values is more significant. However, aerosol trends are obtained from different spectral radiometers depending on processing, calibration, and retrieval algorithms. In addition, meteorological parameters, cloud cover, anthropogenic activities, and sensors sensitivity also affect data generation.

Notably, the long-term trend indicates that the difference between satellite AODs is site-dependent which could be used for the long-term satellite performance. Both satellite and ground-based measurements indicate increasing trends in AOD over Thailand, primarily due to transportation, construction, factories, and biomass burning. The high aerosol level gradually rises toward 0.29 (an increase from 0.23 in 2006 to 0.52 in 2020) for ground-based data in Nakhon Pathom and 0.16 (from 0.66 in 2006 to 0.82 in 2020) for satellite measurements in Bangkok. As a result, satellite AOD values increased by 10.84% on average in 15 years. Similarly, there has been a gradual rise in aerosol levels for ground-based data by 6.05% in 15 years.

4.3. AE

AE uses as an indicator of aerosol size distribution. Fig. 6 represents AE retrieved from ground-based and satellite data at six stations from 2006 to 2020. Analysis shows that AERONET AEs range from 0.90 to 1.66. Kumharn and Hanprasert (2016) reported frequency distribution of AE values in Thailand ranging from 0.8 to 1.6, agreeing with AERONET results. Ground-based SKYNET AEs (0.62–1.14) show lower values than satellite AEs (1.00–1.66) for all stations. However, some AE values retrieved from AERONET AEs have been found high compared to satellite data in Chiang Mai. A possible explanation for this might be that Chiang Mai is the second biggest city in Thailand and is surrounded by mountains and forests, which leads to lower albedo. Low AE values (0.90–1.44) have also been found from SKYNET in Bangkok (population density of about 6,718 people per km), associated with the fine mode. It is encouraging to compare this figure with Kumharn et al. (2020), who found that fine-mode aerosols showed apparent domination in the Central regions. In addition, fossil fuel consumption increased in Bangkok due to population growth and rapid urbanization, leading to many secondary anthropogenic aerosols. Aqua MODIS AEs in Chiang Mai (1.28–1.52), Nakhon Pathom (1.68–1.79), Bangkok (1.60–1.78), Phimai (1.57–1.70), Ubon Ratchathani (1.55–1.68), Songkhla (1.61–1.80) have been observed. Terra MODIS AEs in Chiang Mai, Nakhon Pathom, Bangkok, Phimai, Ubon Ratchathani, and Songkhla range from 1.38 to 1.53, 1.65–1.73, 1.59–1.77, 1.55–1.66, 1.57–1.70, and 1.64–1.80, respectively. Fig. 7 shows the frequency histogram of AE in two different frequency modes. AE frequency distribution is split into 11 groupings of 0.2 intervals. Higher AERONET AE is 56% in the range of 1.0–1.6, 30% ranges from 1.4 to 1.6, 20% is between 1.2 and 1.4, and 10% is below 1.0. MODIS AEs were observed between 1.4 and 1.8 is more than 80%. The wide range of daily frequency distribution of AE values implies the presence of different types of aerosols. High AE values indicate the dominance of fine particles. In contrast, low AE values show that aerosols consist mainly of coarse particles associated with biomass

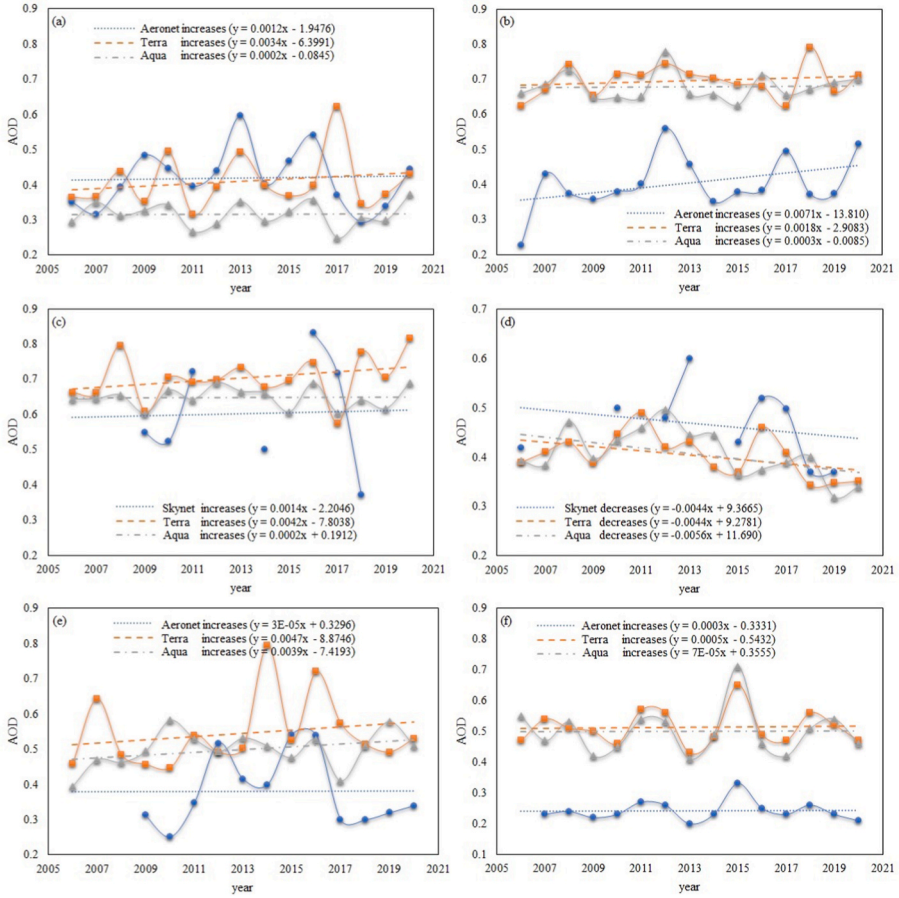


Fig. 5. Time series of year mean AOD derived from satellite and ground based data in (a) Chiang Mai (b) Nakhon Pathom (c) Bangkok (d) Phimai (e) Ubon Ratchathani (f) Songkhla.

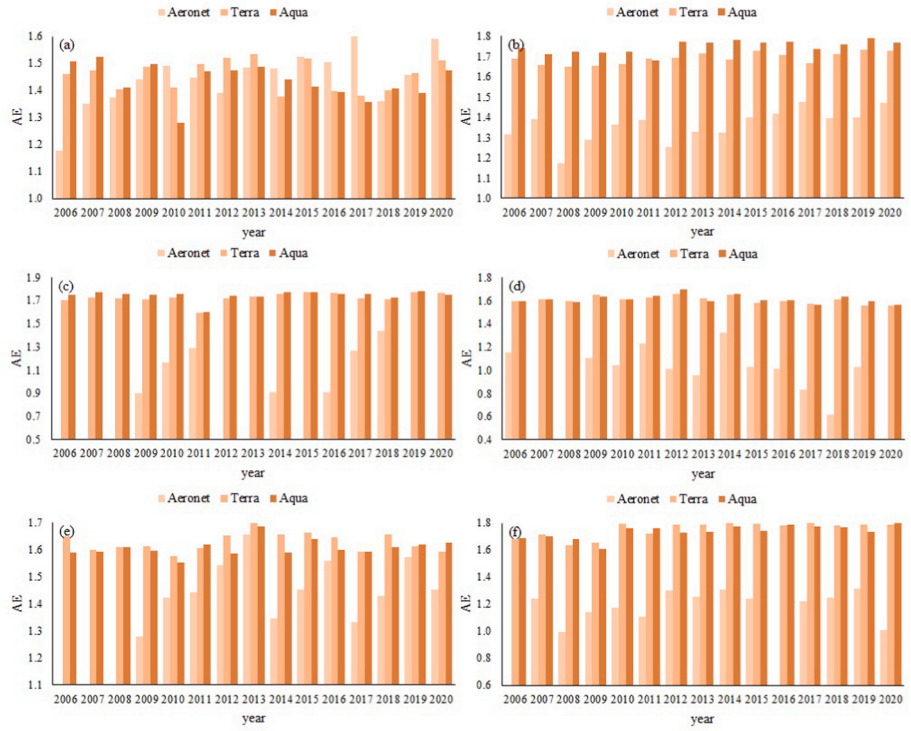


Fig. 6. AE variability in (a) Chiang Mai (b) Nakhon Pathom (c) Bangkok (d) Phimai (e) Ubon Ratchathani (f) Songkhla from satellite and ground baseddata for the years 2006–2020.

burning in the dry season. This finding is consistent with Kumharn et al. (2020), who found aerosol type can be categorized into anthropogenic pollution, biomass-burning smoke, and mineral dust. However, high and low AE values may come from fine mode aerosols during high-temperature periods (Lyamani et al., 2006).

4.4. AOD, AE, and climate variables

In Thailand, seasons are defined as follows: winter (October–January), rainy (June–September), and summer (February–May). Mention above, higher AOD values are observed between February to April. However, the worst air pollution in Thailand is observed from December to February (winter) (Chalermpong et al., 2021; Kliengchuay et al., 2021), while the *peak AOD* is recorded in summer (Kumharn and Hanprasert, 2016; Kumharn et al., 2020). Air pollution *in winter* remains in the air for more extended periods than during the summer. However, harmful emissions from human activities in winter are low throughout the year. This result may be explained by the fact that AODs measure the extinction of solar radiation by aerosol particles in a vertical column from the Earth's surface to the top of the atmosphere. Therefore, local atmospheric and weather conditions significantly impact air pollution levels (Dejchanchaiwong et al., 2020). Our work infers that high aerosol concentrations were observed from February to April. On the question of AOD, this study found that Thailand's haze has worsened due increase in aerosol particles caused by factors such as the transportation industry and biomass burning since 2015. Hence, this section examines AOD, AE, and climate variables during high concentrations of aerosol particles (February to April) for 2015–2020. Fig. 8 presents the results obtained from the preliminary analysis of AOD and AE from February to April at each station. As shown in Fig. 8, three months average of ground based AODs is 0.58, while Terra AOD value is 0.71 and Aqua is 0.66. High AOD from the ground is in Chiangmai at 0.90 and from Terra satellite is in Bangkok at 1.05.

The three-month average of ground-based and satellite AEs ranges from 1.07 to 1.62 and 1.29–1.80, respectively. The lower values of AE indicate the large diameter of the aerosol particles associated with dust. In comparison, higher values of the AE show the presence of fine particles in the environment, resulting from biomass burning, sea-salt aerosols, and anthropogenic activities. High ground AEs show high values in Ubon Ratchathani and Chiangmai associated with coarse mode and low values in Bangkok, Nakhon Pathom, and Songkhla associated with fine mode, mainly due to exhaust from car engines, power plants, and agricultural waste burning from neighboring countries (Kumharn et al., 2020). Several lines of evidence suggest that the significant theories of high aerosols concentration in the winter months are the temperature inversion effect of agricultural burning, either locally or from surrounding countries (Dejchanchaiwong et al., 2020; Kayes and Kabir, 2019). Mind temperature inversions in Bangkok obtained from the Integrated Global Radiosonde Archive are observed with a high between 1,230–3,660 m, as shown in Fig. 9. Surface temperature inversions play a significant role in air quality during the winter months with a firm surface inversion. The temperature inversions trap a layer of cold air with pollution close to the ground for days or even weeks at a time (Ji et al., 2019; Khalesi and Mansouri Daneshvar, 2020). During the 2015–2020 haze period, the higher aerosol concentrations are also connected with the climate conditions that induce thermal inversions and light winds.

During high aerosol concentrations, the meteorological parameters such as high maximum temperature, low minimum temperature, light wind speed, and less or non-rainfall significantly impact aerosol concentrations in the atmosphere (He et al., 2017; Kayes and Kabir, 2019). The lower minimum temperature was recorded in February (14.06 °C) at Chiang Mai station; however, maximum and minimum temperatures changed slightly at all stations. The average wind speed is 2.40 m/s, and lower values are observed at Chiangmai station in February (1.09 m/s). Low wind speed may have resulted in aerosol particles *suspended* for *long* periods in the atmosphere, not affecting aerosol diffusion on their sedimentation. In addition, aerosol concentration increases due to the northeast monsoon that brings cooler temperatures and no/less chance of rainfall for most of Thailand. However, the average rainfall at all

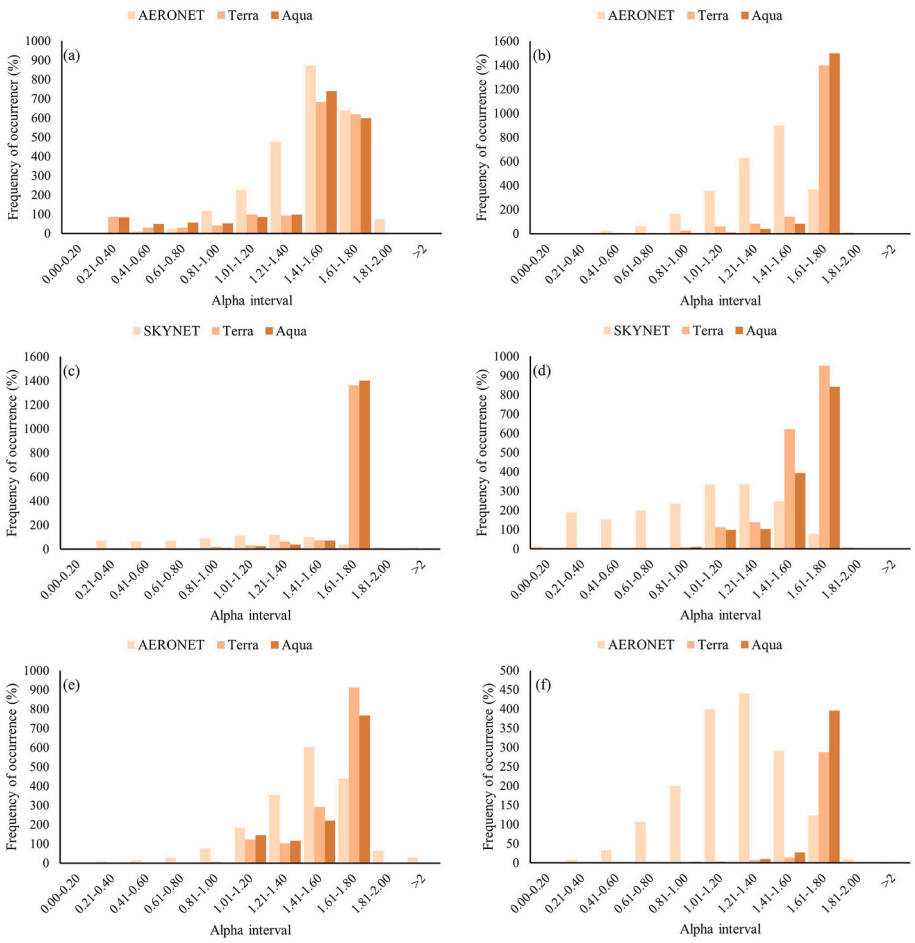


Fig. 7. The frequency histogram of AE in a) Chiang Mai (b) Nakhon Pathom (c) Bangkok (d) Phimai (e) Ubon Ratchathani (f) Songkhla from satellite and ground baseddata for the years 2006–2020.

stations (except in Songkhla) is detected as more petite than 10.91 mm/month in February. From the observations, it was found that climate variables (low minimum temperature (<14 °C), high maximum temperate (>36 °C), light wind speed (<1 m/s), and less or non-rainfall (<10 mm/month)) are related to the aerosol size distribution and aerosol loading in the atmosphere. However, no significant impact of meteorological parameters on AE has been found.

5. Conclusions

Satellite and ground based AODs in different locations were investigated at six stations in Thailand from 2006 to 2020. The validation of the data obtained from AERONET and SKYNET ground networks was also carried out. Long-term observations have reported similar AOD trends between satellite and ground-based measurements. Satellite AODs illustrated a high correlation at most sites, indicating good agreement with ground-based observations. Satellite and ground based AODs vary depending on the season, locations, and aerosol type, with a confidence level of about 87%. Ground-based sites were used to verify sites for satellite data retrievals. Satellite data retrievals are also likely to be well-represented in Ubon Ratchathani, giving an overestimation of AOD between 1.0 and 2.0. Satellite AODs can provide a good representation of the AOD climatology almost at all sites. Generally, there is a tendency towards the gradual rise in aerosol concentration in all stations for ground-based data except in Phimai. Satellite data tend to underestimate AOD in Chiang Mai and overestimate AOD in Nakhon Pathom, Bangkok, and Songkhla. The ample water surrounding Songkhla seemed to affect the daytime satellite data, giving larger values than AERONET measurements. Seasonal AOD variation showed a clear annual pattern with maximum summer and minimum rainy season. High AOD values contribute to the hygroscopic growth of aerosols, secondary aerosols, and pollutants. In summer, the country's whole territory is exposed to aerosol particles from North, Northeast, and neighboring countries, increasing AOD. In the rainy season, aerosol particles are scavenging because of the activity of the Southeast Monsoon, resulting in an AOD decrease. Low AOD values characterize the Phimai site, related to the station's landscape nature. Based on analysing high AOD, it was found in Bangkok and Nakhon Pathom, which are the most polluted sites. Ground-based AEs showed lower values than satellite AEs except in Chiang Mai. Higher ground-based AEs show that aerosols consist mainly of coarse particles associated with biomass burning. The high aerosol levels covering from 2015 to 2020 were found in February with low minimum temperature (<14.06 °C), high maximum temperature (>36.26 °C), less rainfall (<10 mm/month), and light wind speed (<1.09 m/s), leading to high aerosol concentrations. Higher values of AE are associated with low AODs, and lower values of AE are related to high AODs. The variation in AE is primarily because of variation in AOD, which indicates that the anthropogenic aerosols contribute substantially to AOD (Deep et al., 2021). MODIS combined with AERONET and SKYNET has massive potential to ensure complex estimation of AOD, significantly reducing measurement uncertainties of AOD. To solve these issues, the expansion of monitoring networks of AERONET and SKYNET stations is essential. The results presented in this study are crucial, providing a guideline for satellite retrievals to give reliable data over a particular geographic location and AOD range over the tropic. Furthermore, in comparison to MODIS with ground-based instruments,

Fig. 8. AOD, AE, and Climate variables in a) Chiang Mai (b) Nakhon Pathom (c) Bangkok (d) Phimai (e) Ubon Ratchathani (f) Songkhla from satellite and ground based data for the years 2015–2020.

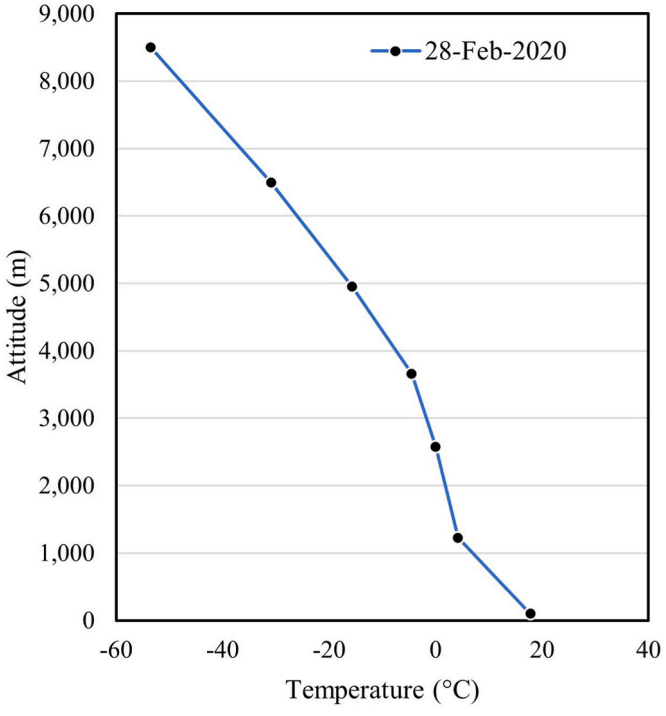


Fig. 9. Temperature inversion on February 28, 2020 in Bangkok obtained from the Integrated Global Radiosonde Archive.

our knowledge of aerosols climatology over Thailand is immensely encouraging.

CRediT authorship contribution statement

Oradee Pilahome: Methodology, Assoc. Prof. Dr, Visualization, Assoc. Prof. Dr, Software, Validation, Formal analysis, Investigation. **Waichaya Ninssawan:** Software, Investigation. **Yuttapichai Jankondee:** Investigation. **Serm Janjai:** Prof. Dr. **Wilawan Kumharn:** Conceptualization, Assoc. Prof. Dr, Methodology, Assoc. Prof. Dr, Writing – original draft, Assoc. Prof. Dr, Writing – review & editing, Assoc. Prof. Dr, Visualization, Assoc. Prof. Dr, Supervision, Assoc. Prof. Dr.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgment

This research project is supported by the National Research Council of Thailand (NRCT): (Contact No. N41A650116). In addition, we thank our colleagues from Silpakorn University for providing AERONET V-ASD data and the Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University, for operating SKYNET V-ASD data which provided data for the research.

References

Agsorn, S., 2010. Meteorological Observations in Thailand. Final Report of JMA/WMO Workshop on Quality Management in Surface, Climate and Upper-Air Observations in RA II (Asia), pp. 170–173. Tokyo.

Andronache, C., 2004. Precipitation removal of ultrafine aerosol particles from the atmospheric boundary layer. J. Geophys. Res. Atmos. 109.

Angstrom, A., 1929. On the atmospheric transmission of Sun radiation and on dust in the air. Geogr. Ann. 11, 156–166.

Bartoszek, K., Matuszko, D., Soroka, J., 2020. Relationships between cloudiness, aerosol optical thickness, and sunshine duration in Poland. Atmos. Res. 245, 105097.

Cachorro, V.E., De Frutos, A.M., Gonzalez, M.J., 1993. Analysis of the Relationships between Junge Size Distribution and Angstrom Turbidity Parameters from Spectral Measurements of Atmospheric Aerosol Extinction, 27 A. Atmospheric Environment - Part A General Topics, pp. 1585–1591.

Cachorro, V.E., Vergaz, R., De Frutos, A.M., 2001. A quantitative comparison of Å turbidity parameter retrieved in different spectral ranges based on spectroradiometer solar radiation measurements. Atmos. Environ. 35, 5117–5124.

Chalermpong, S., Thaithatkul, P., Anuchitchanchai, O., Sanghatawatana, P., 2021. Land use regression modeling for fine particulate matters in Bangkok, Thailand, using time-variant predictors: effects of seasonal factors, open biomass burning, and traffic-related factors. Atmos. Environ. 246, 118128.

Cheng, T., Liu, Y., Lu, D., Xu, Y., Li, H., 2006. Aerosol properties and radiative forcing in Hunshan Dake desert, northern China. Atmos. Environ. 40, 2169–2179.

Deep, A., et al., 2021. Aerosols optical depth and Ångström exponent over different regions in Garhwal Himalaya, India. Environ. Monit. Assess. 193, 324, 324.

Dejchanchaiwong, R., et al., 2020. Impact of transport of fine and ultrafine particles from open biomass burning on air quality during 2019 Bangkok haze episode. J. Environ. Sci. 97, 149–161.

Filonchyk, M., et al., 2019. Combined use of satellite and surface observations to study aerosol optical depth in different regions of China. Sci. Rep. 9, 6174.

Gao, W., Slusser, J., Schmoldt, D., Kerr, J., 2010. The Brewer Spectrophotometer. *UV Radiation in Global Climate Change*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 160–191.

Giles, D.M., (2020).

Gupta, G., Venkat Ratnam, M., Madhavan, B.L., Narayanamurthy, C.S., 2022. Long-term trends in Aerosol Optical Depth across the globe obtained using multi-satellite measurements. Atmos. Environ., 118953

Habib, A., et al., 2019. Estimation and inter-comparison of dust aerosols based on MODIS, MISR and AERONET retrievals over Asian desert regions. J. Environ. Sci. 76, 154–166.

He, J., et al., 2017. Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during 2014–2015 in major Chinese cities. Environ. Pollut. 223, 484–496.

Janjai, S., Nunez, M., Masiri, I., Wattan, R., Buntoung, S., Jantarach, T., Promsen, W., 2012. Aerosol optical properties at four sites in Thailand. Atmos. Clim. Sci. 2, 441–453.

Jantarach, T., Masiri, I., Janjai, S., 2012. Comparison of MODIS aerosol optical depth retrievals with ground-based measurements in the tropics. Procedia Eng. 32, 392–398.

Ji, F., et al., 2019. Projected change in characteristics of near surface temperature inversions for southeast Australia. Clim. Dynam. 52, 1487–1503.
Kambezidis, H.D., Adamopoulos, A.D., Zevgolis, D., 2001. Determination of Ångström and Schüepp's parameters from groundbased spectral measurements of beam irradiance in the ultraviolet and visible spectrum in Athens, Greece. Pure Appl. Geophys. 158, 821–838.
Kanabkaew, T., 2013. Prediction of hourly particulate matter concentrations in Chiangmai, Thailand using MODIS aerosol optical depth and ground-based meteorological data. EnvironmentAsia 6, 65–70.
Kayes, I., Kabir, M.M., 2019. The relationships between meteorological parameters and air pollutants in an urban environment. Global J. Environ. Sci. Manag.
Khalesi, B., Mansouri Daneshvar, M.R., 2020. Comprehensive temporal analysis of temperature inversions across urban atmospheric boundary layer of Tehran within 2014–2018. Model. Earth Sys. Environ. 6, 967–982.
Kliengchuay, W., Worakhunpiset, S., Limpanont, Y., Meeyai, A.C., Tantrakarnapa, K., 2021. Influence of the meteorological conditions and some pollutants on PM10 concentrations in Lamphun, Thailand. J. Environ. Health Sci. Eng. 19, 237–249.
Kumharn, W., 2010. Assessing the Role of Brewer Spectrophotometer in Determining Aerosol Optical Properties in the UK and Tropics. *School of Earth, Atmospheric and Environmental Sciences*, The University of Manchester, Manchester, p. 226.
Kumharn, W., Hanprasert, K., 2016. Aerosol optical properties in ultraviolet ranges and respiratory diseases in Thailand. Atmos. Environ. 142, 221–228.
Kumharn, W., Janjai, S., Irie, H., Pilahome, O., 2020. Aerosol size distribution using Thailand ground-based instruments and climate variables. Theor. Appl. Climatol. 142, 599–611.
Kumharn, W., Rimmer, J.S., Smedley, A.R.D., Ying, T.Y., Webb, A.R., 2012. Aerosol optical depth and the global brewer network: a study using UK and Malaysia based brewer spectrophotometers. J. Atmos. Ocean. Technol. 29, 857–866.
Kuttippurath, J., Raj, S., 2021. Two decades of aerosol observations by AATSR, MISR, MODIS and MERRA-2 over India and Indian Ocean. Rem. Sens. Environ. 257, 112363.
Lyamani, H., Olmo, F.J., Alcántara, A., Alados-Arboledas, L., 2006. Atmospheric aerosols during the 2003 heat wave in southeastern Spain I: spectral optical depth. Atmos. Environ. 40, 6453–6464.
Mehta, M., Singh, R., Singh, A., Singh, N., 2016. Anshumali, Recent global aerosol optical depth variations and trends — a comparative study using MODIS and MISR level 3 datasets. Rem. Sens. Environ. 181, 137–150.
Nichol, J., Bilal, M., 2016. Validation of MODIS 3 km resolution aerosol optical depth retrievals over Asia. Rem. Sens. 8, 328.
Rupakheti, D., et al., 2019. Aerosol optical depth climatology over Central Asian countries based on Aqua-MODIS Collection 6.1 data: aerosol variations and sources. Atmos. Environ. 207, 205–214.
Sabetghadam, S., Alizadeh, O., Khoshsima, M., Pierleoni, A., 2021. Aerosol properties, trends and classification of key types over the Middle East from satellite-derived atmospheric optical data. Atmos. Environ. 246, 118100.
Schmid, B., Matzler, C., Heimo, A., Kampfer, N., 1997. Retrieval of optical depth and particle size distribution of tropospheric and stratospheric aerosols by means of Sun photometry. Geosci. Rem. Sens, IEEE Transac. 35, 172–182.
Shifrin, K.S., 1995. Simple relationships for the Ångström parameter of disperse systems. Appl. Opt. 34, 4480–4485.
Stirnberg, R., Cermak, J., Andersen, H., 2018. An analysis of factors influencing the relationship between satellite-derived AOD and ground-level PM10. Rem. Sens. 10, 1353.
Suwanwaree, P., Phayungwiwatthanakoon, C., Dasananda, S., 2014. Application of new MODIS-based aerosol index for air pollution severity assessment and mapping in upper northern Thailand. Environ. Asia 7, 133–141.
Toledano, C., et al., 2007. Aerosol optical depth and Ångström exponent climatology at El Arenosillo AERONET site (Huelva, Spain). Q. J. R. Meteorol. Soc. 133, 795–807.
You, Y., et al., 2020. Variation of the aerosol optical properties and validation of MODIS AOD products over the eastern edge of the Tibetan Plateau based on ground-based remote sensing. 2017, Atmos. Environ. 223, 117257.

รวมบทคัดย่องานวิจัยนักศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
"สื่อสารสร้างสรรค์พลังวิทย์ 2"

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ประจำปีงบประมาณ 2565