

Journal of Science and Technology Buriram Rajabhat University

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์



มหาวิทยาลัย
ราชภัฏบุรีรัมย์

คณะวิทยาศาสตร์
Faculty of
Science

ปีที่ 7
ฉบับที่ 1

เดือน มกราคม - มิถุนายน 2566

ISSN 2774-0839 (Print)
ISSN 2774-0757 (Online)

บทบรรณาธิการ

วารสาร “วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์” หรือ Journal of Science and Technology Buriram Rajabhat University เป็นวารสารที่ตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิชาการ บทความวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ครอบคลุมเนื้อหาด้านวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ส่งเสริมอาจารย์ นักศึกษา นักวิจัย รวมถึงนักวิชาการทั่วไปได้มีโอกาสเผยแพร่ผลงานวิชาการและผลงานวิจัย รวมทั้งพัฒนาคุณภาพวารสารอย่างต่อเนื่องเพื่อทำให้เป็นวารสารที่มีคุณภาพ

วารสาร “วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์” ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 กำหนดเผยแพร่เดือน มกราคม ถึง เดือน มิถุนายน 2566 มีบทความนำเสนอทั้งหมด 8 เรื่อง ทั้งนี้หากพิจารณาจากเนื้อหาของบทความ จะเห็นได้ว่ามีความหลากหลาย แต่ทุกบทความที่เลือกมาครั้งนี้มีความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมที่สำคัญร่วมกัน คือ การใช้อย่างมีประสิทธิภาพเชิงคุณภาพที่เน้นเทคโนโลยีช่วยส่งเสริมคุณภาพชีวิต และให้ความสำคัญในการเรียนรู้ในแต่ละด้านซึ่งเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในฉบับร่วมด้วย

โดยผลงานบทความวิชาการและบทความวิจัยทุกงานยังคงไว้ซึ่งคุณภาพจากการกลั่นกรองของผู้ทรงคุณวุฒิที่ทำการประเมินงานคุณภาพตามลำดับขั้นตอนของการตรวจสอบคุณภาพของงานวิชาการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้นในด้านเนื้อหาและความถูกต้องของรูปแบบการพิมพ์ หากรูปแบบการพิมพ์ไม่ถูกต้องตามหลักเกณฑ์ กองบรรณาธิการจะไม่รับพิจารณาต้นฉบับ หากผ่านการพิจารณาบทความจะเข้าสู่การประเมินบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในสาขา จากหลากหลายสถาบันอย่างน้อย 3 ท่าน โดยการประเมินคุณภาพของบทความจะเป็นแบบ double blinded กล่าวคือ ผู้นิพนธ์และผู้ประเมินจะไม่ทราบตัวตนและไม่ถูกเปิดเผยข้อมูลให้ทราบ

บทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารถือว่าเป็นลิขสิทธิ์ของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ สำหรับข้อเขียนและข้อคิดเห็นใด ๆ ในวารสารนี้เป็นความคิดเห็นส่วนตัวและเป็นการรับผิดชอบของผู้นิพนธ์ทั้งสิ้น ไม่ใช่ความเห็นของกองบรรณาธิการ และกองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป หากมีประเด็นทางกฎหมายเกี่ยวกับเนื้อหา ผู้นิพนธ์จะต้องเป็นผู้รับผิดชอบ และถ้ามีการศึกษาวิจัยในมนุษย์ ผู้นิพนธ์จะต้องแนบหนังสือรับรองที่ได้รับอนุญาตให้ทำการวิจัยในมนุษย์จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ (ethics committee) และระบุหมายเลขหรือรหัสการรับรองลงในบทความ หากมีการศึกษาวิจัยในสัตว์ทดลอง เช่น ในหนูทดลอง การวิจัยนั้นจะต้องผ่านการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการใช้สัตว์ทดลอง

กองบรรณาธิการหวังว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ทางวิชาการสำหรับผู้อ่านทุกท่าน หากท่านใดประสงค์จะส่งบทความเพื่อเผยแพร่ กองบรรณาธิการยินดีรับตีพิมพ์ โดยทุกบทความต้องผ่านการพิจารณาการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ หากท่านมีข้อเสนอแนะประการใด กองบรรณาธิการยินดีรับคำเพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพวารสารให้มีมาตรฐานยิ่งขึ้น

บรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ มาลีณี จุฑาปะมา อธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา รักการศิลป์ รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร ชื่นชูจิตร์ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

บรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1. ศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนอมทอง | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 4. รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หีบแก้ว | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกตุจันทร์ จำปาไชยศรี | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี ปานชา | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ |
| 8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ประยุทธ์ กุศลรัตน์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา |
| 9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัช อารีราษฎร์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม |
| 10. อาจารย์ ดร. สุนันทา กลิ่นถาวร | มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม |
| 11. ผศ.ดร.ธินันท์ สอนแก้ว | มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง |

บรรณาธิการ

อาจารย์ ดร.ทิพวัลย์ แสนคำ

รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธีรา สุนทรารักษ์

กองบรรณาธิการ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ จำรัสธนสารย์
2. อาจารย์ ดร.ชาตวิฑูฒิ ธนาจิรันธร
3. อาจารย์กิตติคุณ บุญเกตุ
4. อาจารย์พุทธชาติ ลิ้มศิริเรืองไร

ผู้ทรงคุณวุฒิประจำฉบับ

- | | |
|---|---|
| 1. ศาสตราจารย์ ดร.วิทยา อมรกิจบำรุง | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 3. ศาสตราจารย์ ดร.ธีระชัย บงการณ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 4. รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิพงษ์ วงศ์ฤกษ์ดี | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร.อัฐสิทธิ์ ทับทิมแท้ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 6. รองศาสตราจารย์ ดร.สามารถ ใจเต็ม | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ |
| 7. รองศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา วงศ์ชนะบุญ | มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต |
| 8. รองศาสตราจารย์ ดร.กุลวดี โรจน์ไพศาลกิจ | มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ |
| 9. รองศาสตราจารย์ ดร.กันต์ อินทวงศ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ |
| 10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราตรี คำโมง | มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ |
| 11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรัช อารีราษฎร์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม |
| 12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เมตตา เถาว์ชาติ | มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม |
| 13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรปภา อารีราษฎร์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม |
| 14. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประวีร์ณ สุพรรณอ่วม | มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี |
| 15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เดือนฉาย ไชยบุตร | มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ |
| 16. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษเนศ อุปชัย | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วิทยาเขตขอนแก่น |
| 17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษร เมืองทิพย์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี |
| 18. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร ชื่นชูจิตร์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ |
| 19. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ จีวัฒนา | มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ |
| 20. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา | มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ |
| 21. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาพันธ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ |
| 22. อาจารย์ ดร.อนันต์ เคนท้าว | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 23. อาจารย์ฤทธิรงค์ แจ่มอิม | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา |

สารบัญ

เรื่อง

หน้า

การพัฒนาารูปแบบสารสนเทศที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน	1
จิตรารภรณ์ ธาราพิทักษ์วงศ์	

ความหลากหลายทางพันธุกรรมของแมลงชีปะขาว (อันดับ Ephemeroptera) ในกลุ่มแม่น้ำโขงของประเทศไทย	19
นฤมล ประครองรักษ์ บุญเสฐียร บุญสูง และ มณฑิรา มณฑาทอง	

มมในการจุ่มซีเซียมโบรไมด์ที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพ ซีเซียมเลดโบรไมด์เพอรอฟสไกต์โซลาร์เซลล์.....	33
วัลลภ หอมระหัด จุฑานันท์ ขานวงศ์ ธริยา เสนากลาง อีระวิทย์ พลโคกกอง ปฐพงษ์ เทียมตรี และ ภัทรพงษ์ ขำคม	

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่เหลวสมุนไพรจากสารสกัดหมากสู่มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ชุมชน.....	47
สุภาพร วิสูงเร เสาวภา ชุมณี กัญญารัตน์ เดือนหงาย ศุมาลีน ตีจันทร์ ผกามาศ ประเท้ง นวรัตน์ มีชัย ศิริกุล กล่ำกุล และ นันธิยะ ศรีแก้ว	

การออกแบบและสร้างเครื่องแล่ปลาแบบใบมีดคู่สำหรับธุรกิจชุมชน.....	59
วิทยา หนูช่างสิงห์ และ ธนภัทร มะณีแสง	

การพัฒนาระบบตลาดดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการตลาดของผลผลิตลำไย อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน.....	79
บุษราภรณ์ มหัทธชัย และ ชรินทร์ มหัทธชัย	

Quality of life in the outbreak of COVID-19 and related factors in public health students in Thailand. A Case Study of Public Health Students, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University.....	95
Chawiwan Yord-in Maneenuch Haisirikul and Thanart Armartmuntri	

สารบัญ

เรื่อง

หน้า

การเพาะเลี้ยงเมล็ดและการศึกษาผลของ BA และ NAA ต่อการพัฒนาเป็นต้น ที่สมบูรณ์ของเอื้องเทียนสามดอก.....	113
เกศริน หยี ธวัชชัย ทรดี อติกานต์ ปล่อยทุม และ จิราภรณ์ นิคมทัศน	

การพัฒนาารูปแบบสารสนเทศที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน
อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน

The Development of Appropriate Information Format to Enhance the
Sustainable Tourism Potential in Mae Wang District, Chiang Mai Province with
the Participation of the Community Members

จิตรารณ ธาราพิทักษ์วงศ์

Jittaporn Tarapitakwong

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

E-Mail: jittaporn@g.cmu.ac.th

Received : December 9, 2022

Revised : May 29, 2023

Accepted : June 24, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำฐานข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถาน แหล่งผลิตภัณฑ์
หัตถกรรมชุมชน และเพื่อพัฒนารูปแบบสารสนเทศที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่าง
ยั่งยืน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน สำหรับเผยแพร่ระบบสารสนเทศ
การท่องเที่ยวผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตให้นักท่องเที่ยวและประชาชนที่สนใจ ด้วยกระบวนการ SDLC
ในรูปแบบ Adapted Waterfall งานวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มผู้เกี่ยวข้อง
ด้านการท่องเที่ยว ได้แก่ หน่วยงานราชการ ประชาชนกลุ่มวิสาหกิจชุมชน และผู้นำชุมชนในตำบลแม่วิน
อำเภอแม่วาง มาวิเคราะห์ ออกแบบ และสร้างฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งสำรวจรูปแบบ
การบูรณาการระบบสารสนเทศที่เหมาะสม ในการนำเสนอสถานที่ท่องเที่ยวที่สามารถแสดงข้อมูล
บรรยากาศ และเส้นทางเดินทาง เพื่อจัดทำแผนที่การท่องเที่ยวเชิงโบราณสถาน เชิงวัฒนธรรม และ
เชิงศิลปะหัตถกรรมในชุมชน โดยสามารถนำเสนอข้อมูลทั้งที่เป็นข้อความ รูปภาพ สื่อประสม
เพื่อถ่ายทอดบรรยากาศ และเส้นทางเดินทางไปยังสถานที่ท่องเที่ยวผ่านการอ่านคิวอาร์โค้ด
นอกจากนี้ ยังสามารถติดตั้งแอปพลิเคชันแผนที่ในการเดินทางไปยังสถานที่สนใจบนสมาร์ตโฟน ผ่าน
การอ่านคิวอาร์โค้ด หรือสามารถใช้แผนที่เดินทางผ่านทาง เว็บไซต์ หลังจากการพัฒนาารบบ
สารสนเทศ ติดตั้งระบบ และทดลองใช้งาน ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจในการใช้ระบบสารสนเทศ
จากการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีการแจกแบบสอบถามความพึงพอใจให้แก่ นักท่องเที่ยว และผู้มี

ส่วนเกี่ยวข้องในการร่วมทำเวทีชุมชน รวมทั้งสิ้น 100 คน พบว่าความพึงพอใจในภาพรวมจากการใช้ระบบสารสนเทศ คือ 4.72 ซึ่งเป็นความพึงพอใจในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ : ระบบสารสนเทศ การท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน การมีส่วนร่วมของชุมชน

ABSTRACT

The objectives of this research were to create a database of tourist attractions that are archaeological sites and sources of community handicraft products and to develop appropriate information formats to enhance the sustainable tourism potential in Mae Wang District, Chiang Mai province. This was achieved through the community participation and the dissemination of the tourism information system via the Internet to tourists and the general public who are interested. The study was conducted using the SDLC process, specifically the Adapted Waterfall Model. The research commenced with a study and collection of data from various tourism-related groups, including governmental agencies, the chairmen of the community enterprise groups, and community leaders in Mae Wang District. These data were then analyzed, designed, and used to build electronic databases for data storage. Additionally, a survey was conducted to identify the most suitable model for integrating an information system in presenting tourist attractions, including ancient sites, cultural and arts experiences, and handicrafts in the community. This model would provide comprehensive information about the atmosphere and directions for traveling in various formats such as texts, images, and multimedia to convey the atmosphere of each tourist destination. The information can be accessed by reading QR codes. Furthermore, a mobile map application was developed to facilitate the search for places of interest. Travelers can either scan QR codes or utilize the travel maps on the website of the information system. To evaluate the effectiveness of the information system in enhancing tourism potential, data on tourist satisfaction were collected through a survey involving 100 participants in the community forum. The overall satisfaction level in using the information system was found to be 4.72, indicating a high level of satisfaction.

Keywords: Information System, Sustainable Tourism, Community Participation

บทนำ

ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ มีสภาพเป็นป่าดิบเขาและที่ราบลุ่มเป็นบางส่วน เป็นพื้นที่สำหรับที่อยู่อาศัย ประมาณ 20% เป็นพื้นที่สำหรับการเกษตร จำนวน 30% เป็นพื้นที่ป่าเขา จำนวน 40% และมีพื้นที่ส่วนอื่นอีกจำนวน 10% ประกอบด้วย 19 หมู่บ้าน (องค์การบริหารส่วนตำบลแม่วิน, 2562) มีสภาพภูมิสังคมที่หลากหลายทางชีวภาพ โดยมีโครงการหลวง โครงการวิจัยทางการเกษตร แหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ แหล่งท่องเที่ยวทางวัฒนธรรม มีผลิตภัณฑ์ชุมชนและผลผลิตอันเกิดจากวัฒนธรรมที่สามารถก่อให้เกิดประโยชน์ทางการพาณิชย์ (Culture for Sales) สามารถพัฒนาเป็นชุมชนการท่องเที่ยวที่มีคุณภาพ แต่เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูง สลับซับซ้อน มีสภาพเป็นป่าดิบเขาและที่ราบลุ่มเป็นบางส่วน คนในชุมชนส่วนมากเป็นกลุ่มชาติพันธุ์ รวมทั้งยังไม่มีมีการประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวในชุมชนมากนัก ทำให้นักท่องเที่ยวไม่ค่อยรู้จักแหล่งท่องเที่ยวและไม่รู้เส้นทางในการเดินทาง นักท่องเที่ยวที่มาเยือนโดยส่วนมากจะมาอยู่กับบริษัทนำเที่ยว ซึ่งจะมีการวางแผนโปรแกรมการท่องเที่ยวเฉพาะที่ได้ทำสัญญากับผู้ประกอบการบางรายเท่านั้น จากปัญหาดังกล่าว จึงมีการประกาศใช้แผนพัฒนาอำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ สืบเนื่องมาจากการวิเคราะห์สภาพปัญหาและความต้องการของประชาชนในพื้นที่ พบว่าด้านการท่องเที่ยวเป็นประเด็นปัญหาหนึ่งที่ประชาชนในเขตพื้นที่ต้องการให้มีการส่งเสริมและสนับสนุน เพื่อช่วยยกระดับทางเศรษฐกิจของชุมชนให้ดีขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาจังหวัดและแผนพัฒนาท้องถิ่น (การปกครองอำเภอแม่วาง, 2560) ประกอบกับรัฐบาลมีนโยบายการส่งเสริมอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวเชิงบูรณาการ เพื่อช่วยในการกระตุ้นการสร้างการแข่งขันทางเศรษฐกิจของชุมชน ส่งเสริมการสร้างรายได้จากการท่องเที่ยว โดยใช้ประโยชน์จากอัตลักษณ์และเอกลักษณ์แห่งความเป็นไทยที่สะท้อนวัฒนธรรมท้องถิ่นและวิถีชีวิตชุมชน อาทิ การท่องเที่ยวเชื่อมโยงกับหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเป็นการกระจายรายได้ ไปสู่คนในชุมชนและท้องถิ่นทั่วประเทศอย่างทั่วถึงและเป็นธรรม (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2559) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการจัดทำฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูลประวัติความเป็นมาของสถานที่ท่องเที่ยว แหล่งผลิตหัตถกรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นในชุมชน โบราณสถาน ภาพบรรยากาศ และสื่อประสมที่แสดงถึงบรรยากาศของสถานที่ท่องเที่ยว ซึ่งจะช่วยให้ข้อมูลและประวัติความเป็นมาของสถานที่ท่องเที่ยวไม่สูญหายเป็นศูนย์กลางในการเก็บรวบรวมข้อมูล และทำการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อพัฒนาศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน โดยใช้ประโยชน์จากฐานข้อมูลที่ได้เพื่อนำมาเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ ซึ่งจะทำให้นักท่องเที่ยวเข้าถึงข้อมูลได้สะดวกและรวดเร็วผ่านระบบสารสนเทศที่ได้พัฒนาขึ้น อีกทั้งในการทำวิจัยครั้งนี้ จะทำการนำเสนอข้อมูลโดยทำการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบผสานโลกเสมือน (Augmented reality; AR) เพื่อช่วยในการเผยแพร่และประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวอีกทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อจัดทำฐานข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวชุมชน แหล่งผลิตภัณฑ์หัตถกรรมในชุมชน และโบราณสถาน ของชุมชนตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่
2. เพื่อพัฒนารูปแบบสารสนเทศที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาสารสนเทศเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. ระบบฐานข้อมูล (Database System)

ระบบฐานข้อมูล คือ ระบบที่รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกันเข้าไว้ด้วยกันอย่างมีระบบ มีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลต่าง ๆ ที่ชัดเจน ในระบบฐานข้อมูลจะประกอบด้วยแฟ้มข้อมูลหลายแฟ้ม ที่มีข้อมูลเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันเข้าไว้ด้วยกันอย่างเป็นระบบ และเปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานและดูแลรักษาป้องกันข้อมูลเหล่านั้น ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีซอฟต์แวร์ที่เปรียบเสมือนสื่อกลางระหว่างผู้ใช้และโปรแกรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ฐานข้อมูล เรียกว่า ระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System; DBMS) มีหน้าที่ช่วยให้ผู้ใช้เข้าถึงข้อมูลได้ง่ายสะดวกและมีประสิทธิภาพ การเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้อาจเป็นการสร้างฐานข้อมูล การแก้ไข หรือการตั้งคำถามเพื่อให้ได้ข้อมูลมา โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องรับรู้เกี่ยวกับรายละเอียดภายในโครงสร้างของฐานข้อมูล (ศุภชัย จิระรังสิน, 2559)

2. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ (System Analysis and Design)

การวิเคราะห์และออกแบบระบบ คือ วิธีการที่ใช้ในการสร้างระบบสารสนเทศ มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างแบบจำลองเชิงตรรกะของระบบงานใหม่และหาความต้องการทางธุรกิจ ตลอดจนช่วยในการแก้ไขระบบสารสนเทศเดิมที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้น ในการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อนำไปใช้ในองค์กรหรือธุรกิจ โดยทั่วไปจะใช้เครื่องมือเพื่อช่วยในวิเคราะห์และออกแบบระบบ ซึ่งก็คือ วงจรการพัฒนาแบบ (System Development Life Cycle; SDLC) (โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์, 2560)

3. ระบบสารสนเทศ (Information Systems)

ระบบสารสนเทศ คือ ระบบงานที่มีการนำองค์ประกอบต่าง ๆ ของเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology; IT) เข้ามาใช้ในการรวบรวมข้อมูล ประมวลผลข้อมูล จัดเก็บข้อมูล และเรียกใช้ข้อมูลเพื่อสร้างเป็นผลลัพธ์ คือ สารสนเทศที่องค์กรต้องการ ระบบสารสนเทศจึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการทำงานด้านต่าง ๆ เช่น ด้านการประมวลผลทางธุรกิจที่เกิดขึ้นประจำวัน การนำเสนอข้อมูลด้วยรายงานชนิดต่าง ๆ หรือการนำไปช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อแก้ปัญหาทางธุรกิจ จะเห็นได้ว่าการนำระบบสารสนเทศไปใช้งานด้านต่าง ๆ มีคุณลักษณะและความต้องการที่แตกต่างกัน จึงเป็น

สาเหตุที่สำคัญที่นักวิเคราะห์ระบบจำเป็นต้องทราบถึงรายละเอียดของระบบการทำงานแต่ละประเภท (โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์, 2560)

4. เทคโนโลยีเสมือนจริง (Augmented Reality)

เทคโนโลยีเสมือนจริง เป็นประเภทหนึ่งของเทคโนโลยีความจริงเสมือนที่มีการนำระบบความจริงเสมือนมาผนวกกับเทคโนโลยีภาพเพื่อสร้างสิ่งที่เสมือนจริงให้กับผู้ใช้และเป็นนวัตกรรมหรือเทคโนโลยีที่มีมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2004 จัดเป็นแขนงหนึ่งของงานวิจัยด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ว่าด้วยการเพิ่มภาพเสมือนของโมเดลสามมิติ ที่สร้างจากคอมพิวเตอร์ลงไปในภาพที่ถ่ายมาจากกล้องถ่ายภาพวิดีโอที่ค้นหรือกล้องในสมาร์ตโฟนแบบเฟรมต่อเฟรมด้วยเทคนิคทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก (นิติศักดิ์ เจริญรูป, 2560)

ขอบเขตการวิจัย

1. ขอบเขตเนื้อหา ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวชุมชน แหล่งผลิตหัตถกรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นในชุมชน และโบราณสถานของชุมชนจากคนในชุมชน โดยรูปแบบของระบบสารสนเทศที่ได้จะแสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ท่องเที่ยว รายละเอียดความเป็นมาตลอดจนนำเทคโนโลยีสื่อประสมมาช่วยในการนำเสนอภาพสถานที่ ภาพบรรยากาศเพื่อให้เห็นถึงสภาพจริงของสถานที่ท่องเที่ยว และเส้นทางในการเดินทางท่องเที่ยวในชุมชน
2. ขอบเขตพื้นที่วิจัย ได้แก่ ดำเนินการวิจัยในพื้นที่ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 9 หมู่บ้านต้นแบบ

วิธีการดำเนินการวิจัย

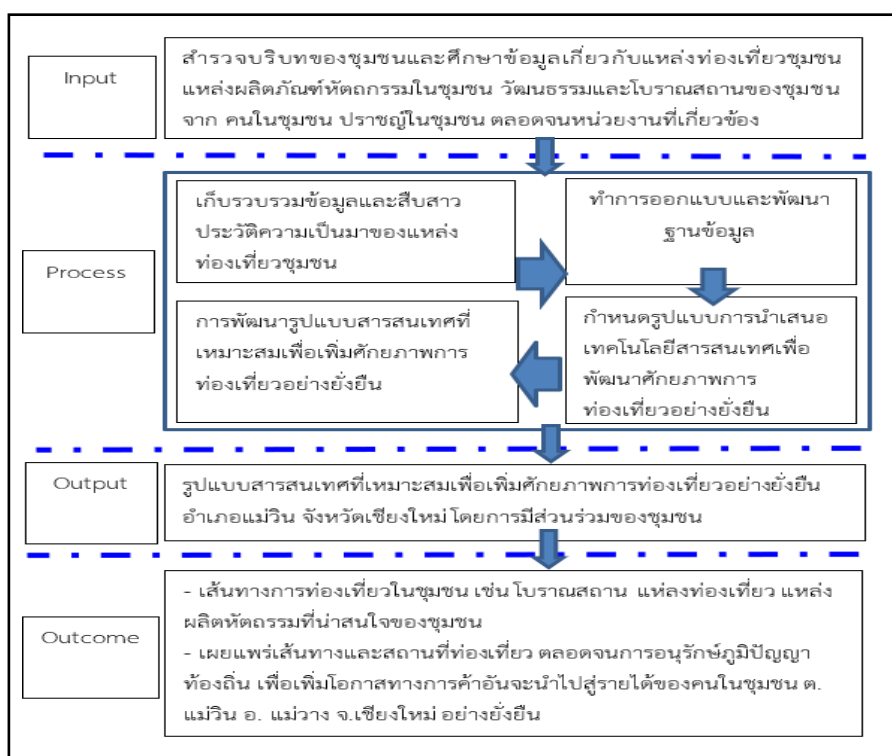
ประชากรกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ คนในชุมชนที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสถานที่ท่องเที่ยวในชุมชนตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ และผู้ทดลองใช้งานระบบสารสนเทศ

กลุ่มตัวอย่าง คือ คนในชุมชนที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสถานที่ท่องเที่ยวในชุมชนตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 45 คน โดยมีการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยไม่ใช้หลักความน่าจะเป็น (Non-probability) ซึ่งผู้วิจัยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) ได้แก่ ผู้นำชุมชน จำนวน 10 คน ราษฎรหรือผู้รู้ที่ประจำอยู่ในสถานที่ท่องเที่ยวในแต่ละที่ จำนวน 15 คน ผู้ประกอบการ จำนวน 15 คน เจ้าหน้าที่ในหน่วยงานทางราชการที่เกี่ยวข้อง จำนวน 5 คน ผู้ทดลองใช้งานระบบสารสนเทศ (บุคคลทั่วไป/นักท่องเที่ยว) ที่มีอายุระหว่าง 21- 45 ปี จำนวน 100 คน โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental Sampling)

ขั้นตอนการดำเนินงาน

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนารูปแบบสารสนเทศที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน เพื่อใช้ในการส่งเสริมการท่องเที่ยวและมุ่งหวังในการรวบรวม และเผยแพร่องค์ความรู้ของชุมชนไปสู่บุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยกระบวนการการมีส่วนร่วม (Participatory Action Research; PAR) ของคนในชุมชน เพื่อส่งเสริมให้ชุมชนได้มีโอกาสพัฒนาศักยภาพชุมชน โดยใช้วงจรชีวิตการพัฒนาระบบแบบ Adapted Waterfall (Kendall, K.E., & Kendall, J.E., 2011) ซึ่งแต่ละขั้นตอนสามารถย้อนกลับมายังขั้นตอนก่อนหน้าเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดได้ (โอกาส เอี่ยมสิริวงศ์, 2560) โดยมีกรอบแนวคิดในการวิจัย ดังภาพประกอบ 1 และมีวิธีการวิจัยดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

1. การวางแผน โดยการเก็บรวบรวมสถานที่ท่องเที่ยวที่ต้องการประชาสัมพันธ์ และจัดจำแนกประเภทของสถานที่ รวมถึงข้อมูลประวัติความเป็นมาของสถานที่ท่องเที่ยว โดยจัดเวทีชุมชนเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกลุ่มผู้วิจัยและกลุ่มผู้เกี่ยวข้อง และใช้แบบสัมภาษณ์สำหรับหารูปแบบของ

ระบบสารสนเทศที่เหมาะสมและตรงกับบริบทของชุมชน รวมถึงรูปแบบของการนำเสนอข้อมูลของแหล่งท่องเที่ยว นั้น ๆ เพื่อใช้ในการประชาสัมพันธ์ จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 45 คน ได้แก่ ผู้นำชุมชนจำนวน 10 คน ประชาชนหรือผู้ที่ประจำอยู่ในสถานที่ท่องเที่ยวในแต่ละที่ จำนวน 15 คน ผู้ประกอบการจำนวน 15 คน เจ้าหน้าที่ในหน่วยงานทางราชการที่เกี่ยวข้อง จำนวน 5 คน

2. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ โดยนำข้อมูลและองค์ความรู้ต่าง ๆ ที่เก็บรวบรวมมาทำการวิเคราะห์เพื่อทำการแปลงคำอธิบายต่าง ๆ ของทางเลือกที่เป็นคำตอบของการแก้ปัญหาให้เป็นข้อกำหนดคุณลักษณะทั้งเชิงตรรกะ (logical) และเชิงกายภาพ (physical) รวมถึงการออกแบบฐานข้อมูล ระดับแนวคิดเกิดเป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (E-R Diagram) แผนภาพบริบท (Context Diagram) แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) และออกแบบส่วนประสานงานผู้ใช้ระบบร่วมกับชุมชนเพื่อเตรียมความพร้อมในการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนโดยการมีส่วนร่วมของชุมชน

3. การพัฒนาระบบสารสนเทศ โดยการสร้างต้นแบบระบบสารสนเทศเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนโดยการมีส่วนร่วมของชุมชน โดยจัดทำฐานข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลของระบบทำการพัฒนาและลงรหัสในการจัดการกับส่วนประสานงานกับผู้ใช้ การทำ Image AR สำหรับพัฒนาสื่อประสมเพื่อนำเสนอข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว จากนั้นทำการติดตั้งระบบและทดลองใช้งานระบบสารสนเทศ

4. สำนวจความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบสารสนเทศเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน โดยใช้แบบสอบถามในการสำรวจ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

4.1 สำนวจความพึงพอใจด้วยการแจกแบบสอบถามแก่ผู้ทดลองใช้งานระบบสารสนเทศที่มีอายุระหว่าง 21- 45 ปี จำนวน 100 คน โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ

4.2 วิเคราะห์และแปลผลแบบสอบถาม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านสถิติในการหาค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยมีผลจากการวิเคราะห์ข้อมูล และสรุปรายละเอียดผลการประเมิน

เครื่องมือในการวิจัย

เครื่องมือในการวิจัย แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

1. แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งมีโครงสร้าง (Semi-structured Interview) เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลในการจัดแบ่งประเภทของสถานที่ท่องเที่ยว สถานที่ท่องเที่ยว รวมถึงผู้ที่สามารถให้ข้อมูลและประวัติความเป็นมาของสถานที่ท่องเที่ยว จากการสร้างคำถามปลายเปิดที่มีรูปแบบและตอบคำถามแบบเรียงความสั้น ๆ การสัมภาษณ์เป็นการสนทนากลุ่มโดยเจาะประเด็น (Focus group discussions) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศ

2. แบบสอบถาม (Questionnaire) ในการวิจัยครั้งนี้ใช้แบบสอบถามเพื่อสอบถามการใช้งานระบบสารสนเทศจากกลุ่มตัวอย่างที่ทดลองใช้งานระบบสารสนเทศ เพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนแบบมีส่วนร่วมชุมชนตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อให้ทราบระดับความพึงพอใจในการทำงานแต่ละด้านของระบบ พร้อมทั้งรวบรวมข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากผู้ทดลองใช้งานระบบเพื่อการแก้ไขและปรับปรุงระบบต่อไป

3. เครื่องมือในการพัฒนาระบบสารสนเทศ ใช้ซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซเป็นระบบจัดการฐานข้อมูล ใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปในการพัฒนาและลงรหัสในการจัดการกับส่วนประสานงานกับผู้ใช้การทำ Image AR สำหรับพัฒนาสื่อประสมเพื่อนำเสนอข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวสร้างจากแอปพลิเคชันวิดีโอ (Vidioti)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การสำรวจภาคสนาม โดยการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม แบบสัมภาษณ์ และการจัดกิจกรรมกลุ่มเพื่อเก็บข้อมูลเชิงลึกและจำแนกประเภทของสถานที่ท่องเที่ยวในชุมชน โดยเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง คือ คนในชุมชนที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสถานที่ท่องเที่ยวในชุมชนตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 45 คน และผู้ทดลองใช้งานระบบสารสนเทศที่มีอายุระหว่าง 21 - 45 ปี จำนวน 100 คน

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) โดยนำผลที่ได้พิจารณาเทียบกับเกณฑ์ประเมิน ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51-5.00 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ มากที่สุด

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51-4.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ มาก

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51-3.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ ปานกลาง

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51-2.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ น้อย

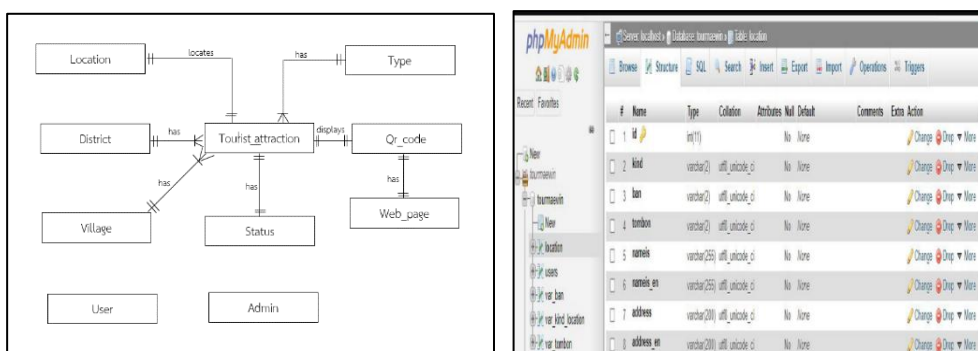
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00-1.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ น้อยที่สุด

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยได้จำแนกผลตามวัตถุประสงค์ 2 ข้อ รายละเอียดดังนี้

1. ผลการจัดทำฐานข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวชุมชน แหล่งผลิตภัณฑ์หัตถกรรมในชุมชนและโบราณสถาน ของชุมชนตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

ผู้วิจัยได้จัดเวทีแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกลุ่มนักวิจัยและกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผู้นำชุมชน ปราชญ์หรือผู้รู้ในชุมชน เจ้าหน้าที่ในหน่วยงานทางราชการที่เกี่ยวข้อง กลุ่มผู้ประกอบการ ในตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อรวบรวมข้อมูลและนำข้อมูลมาวิเคราะห์วางแผนการออกแบบฐานข้อมูลระดับแนวคิดเกิดเป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ และดำเนินการสร้างฐานข้อมูลของระบบโดยใช้ซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซ ดังภาพประกอบ 2



(ก) แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล

(ข) ฐานข้อมูลของระบบ

ภาพประกอบ 2 แสดงแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล และฐานข้อมูลของระบบ

2. ผลการพัฒนารูปแบบสารสนเทศที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน

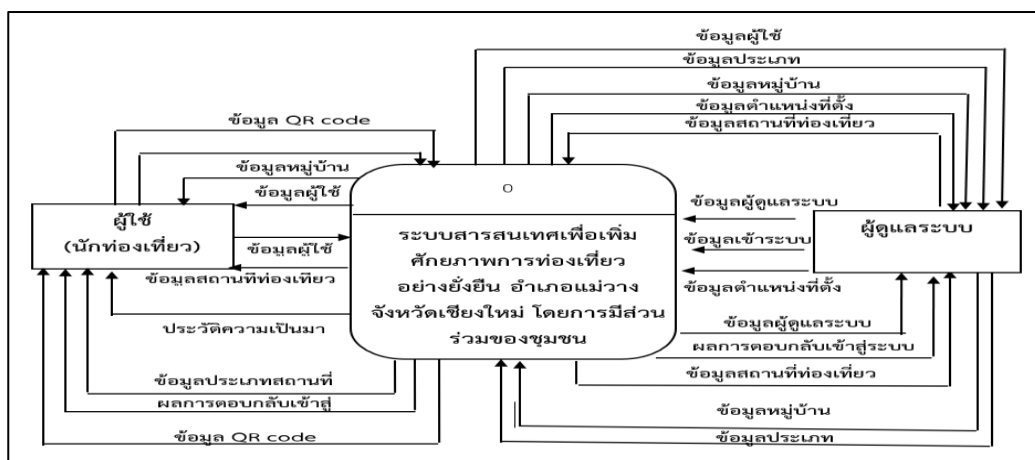
การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชนได้มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

2.1 การศึกษารูปแบบระบบสารสนเทศที่เหมาะสมโดยชุมชนมีส่วนร่วม ผู้วิจัยใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากการประชุมจัดเวทีแลกเปลี่ยนเรียนรู้โดยใช้แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งมีโครงสร้างเพื่อสอบถามถึงรูปแบบการนำเสนอข้อมูลและการเข้าถึงข้อมูลของสถานที่ท่องเที่ยวในชุมชน เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบสารสนเทศให้ตรงตามความต้องการของชุมชน พบว่าผู้เข้าร่วมประชุมต้องการรูปแบบของสารสนเทศที่มีการนำเสนอข้อมูลของสถานที่ท่องเที่ยวผ่านเว็บไซต์โดยแสดงเส้นทางการท่องเที่ยวในลักษณะของแผนที่ในชุมชนคล้าย ๆ กับการแสดงแผนที่ใน Google map โดยแสดงข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว ภาพบรรยากาศที่มีการเคลื่อนไหว แหล่งอำนวยความสะดวกที่อยู่ใกล้สถานที่ท่องเที่ยว ได้แก่ ที่พัก โรงพยาบาล/สาธารณสุขชุมชน หน่วยงานราชการ ร้านอาหาร เป็นต้น

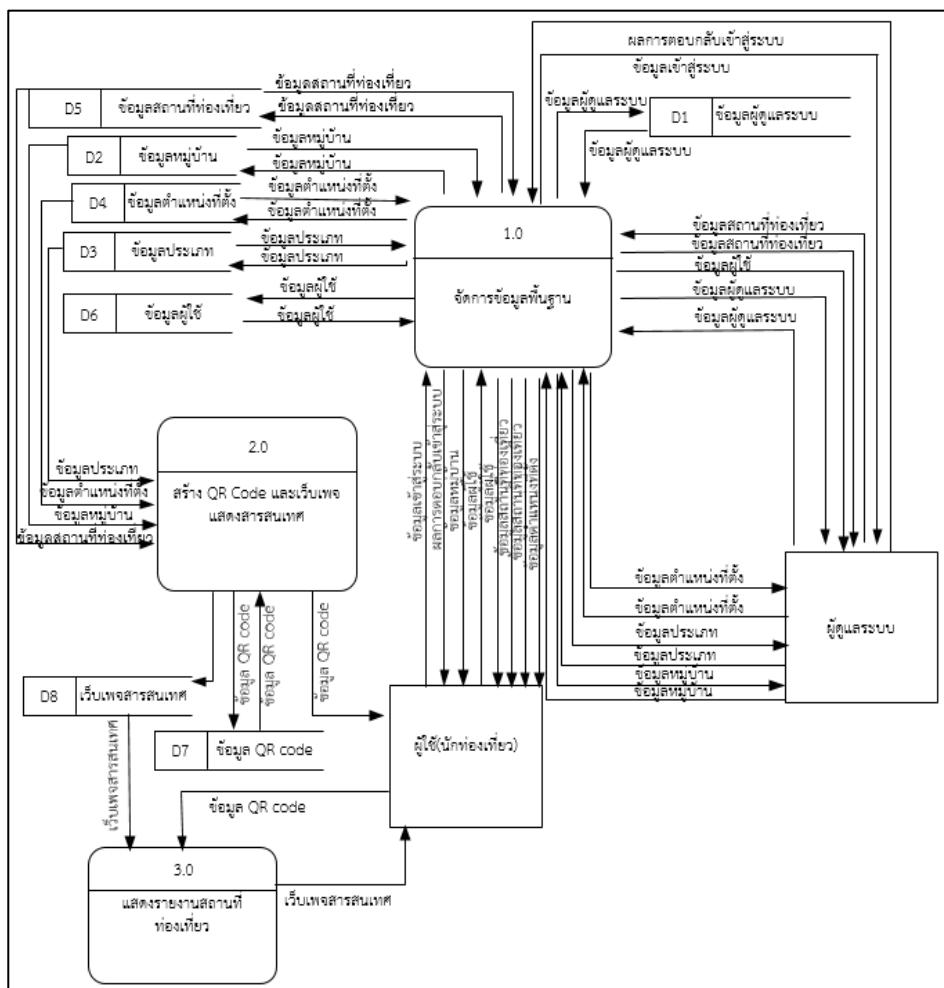
โดยระบบสารสนเทศสามารถรองรับข้อมูลทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีการนำเสนอข้อมูลผ่านคิวอาร์โค้ด และติดตั้งระบบสารสนเทศบนสมาร์ตโฟนเพื่อความสะดวกต่อการใช้งานของนักท่องเที่ยว

2.2 การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน มีขั้นตอนดังนี้

2.2.1 การวิเคราะห์กระบวนการทำงานของระบบสารสนเทศเพื่อให้ทราบถึงงานดำเนินงานหลักที่จะเกิดขึ้นในระบบสารสนเทศ ทิศทางการไหลของข้อมูล และแหล่งจัดเก็บข้อมูล ซึ่งผู้ใช้ระบบแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) ผู้ดูแลระบบ สามารถจัดการข้อมูลพื้นฐานของระบบ 2) ผู้ใช้ (นักท่องเที่ยว) สามารถเข้าถึงสารสนเทศของแหล่งท่องเที่ยวที่ถูกกำหนดและสร้างเส้นทางไว้ โดยการทำงานหลักของระบบสารสนเทศแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ 1) การจัดการข้อมูลพื้นฐาน 2) การสร้างคิวอาร์โค้ดและเว็บเพจแสดงสารสนเทศ 3) แสดงรายงานสถานที่ท่องเที่ยว ด้วยการอธิบายการทำงานของระบบสารสนเทศจากแผนภาพบริบท ดังภาพประกอบ 3 และแผนภาพกระแสข้อมูล ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 3 แสดงแผนภาพบริบท



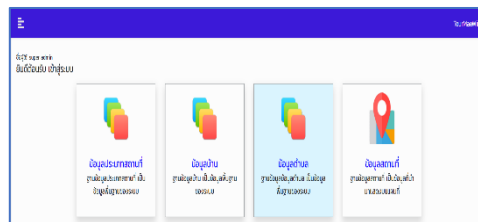
ภาพประกอบ 4 แสดงแผนภาพกระแสข้อมูล

2.2.2 การพัฒนาระบบสารสนเทศได้ดำเนินการตามผลการวิเคราะห์กระบวนการทำงานหลัก ที่ได้แสดงไว้ดังภาพประกอบ 3 และภาพประกอบ 4 มาเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบสารสนเทศ ในการนี้ได้ใช้เครื่องมือในการพัฒนาและลงรหัสเพื่อการจัดการกับส่วนประสานการทำงาน ด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูปโดยได้แบ่งส่วนประสานการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ

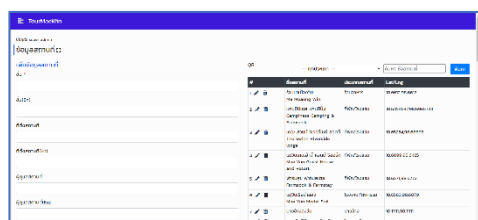
1) ส่วนประสานการทำงานของผู้ดูแลระบบเพื่อจัดการข้อมูลพื้นฐานของระบบ และการสร้างคิวอาร์โค้ดเพื่อใช้ในการเข้าถึงรายละเอียดของข้อมูลสถานที่ที่ได้จัดเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ดังภาพประกอบ 5



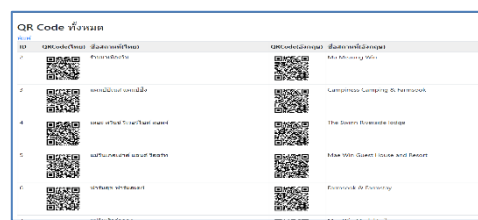
(ก) รูปการ login เข้าสู่ระบบ



(ข) รูปการเลือกส่วนเชื่อมการดำเนินงาน



(ค) รูปการจัดการข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว

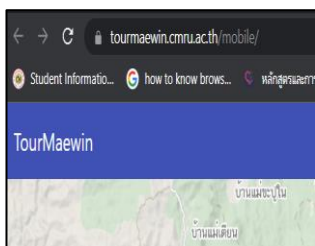


(ง) คิวอาร์โค้ดที่ระบบสร้างเมื่อบันทึกข้อมูล

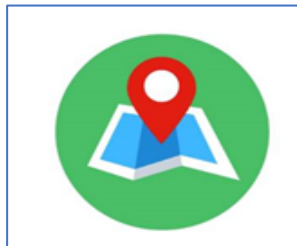
ภาพประกอบ 5 แสดงตัวอย่างส่วนประสานการทำงานของผู้ดูแลระบบ

2) ส่วนประสานการทำงานของผู้ใช้ (นักท่องเที่ยว) ในส่วนนี้ได้ทำการนำเสนอข้อมูลสถานที่ทั้งในรูปแบบที่เป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยมีการเข้าถึงข้อมูลเพื่อนำเสนอรายงานดังนี้

2.1) การนำเสนอข้อมูลด้วยการเรียกใช้งานระบบสารสนเทศ สามารถเข้าถึงข้อมูลผ่านการใช้งานระบบสารสนเทศได้ 3 ช่องทาง คือ (ก) เรียกใช้ URL ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (ข) การติดตั้งแอปพลิเคชันไว้บนสมาร์ตโฟน (ค) โดยการสแกนผ่านคิวอาร์โค้ด ดังภาพประกอบ 6 เมื่อเข้าใช้งานระบบสารสนเทศผ่านช่องทางที่กำหนดไว้ ระบบจะแสดงผลพิกัดของสถานที่ และแผนที่สำหรับการเดินทาง ดังภาพประกอบ 7 หากเลือกดูรายละเอียดข้อมูลสถานที่ระบบจะนำเสนอข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวส่วนภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ดังภาพประกอบ 8



(ก) พิมพ์ชื่อ URL ผ่าน Web Browser

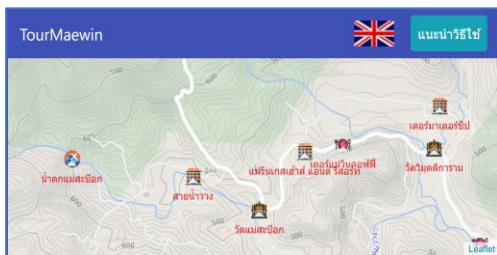


(ข) ใช้แอปพลิเคชันผ่านสมาร์ตโฟน

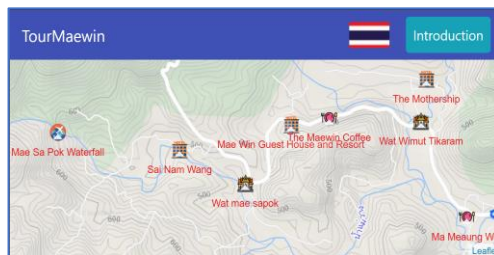


(ค) การสแกนผ่านคิวอาร์โค้ด

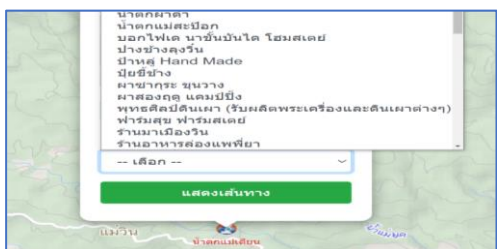
ภาพประกอบ 6 การเข้าใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อการท่องเที่ยว ผ่าน 3 ช่องทาง



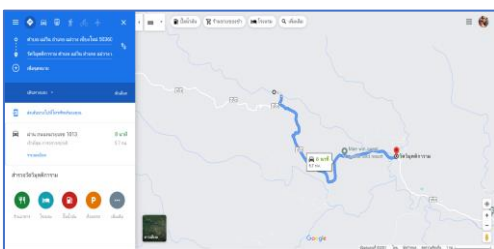
(ก) แสดงพิกัดของสถานที่เป็นภาษาไทย



(ข) แสดงพิกัดของสถานที่เป็นภาษาอังกฤษ



(ค) แสดงการเลือกสถานที่ท่องเที่ยว

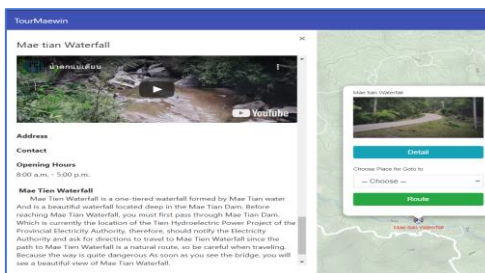


(ง) แสดงเส้นทางการเดินทางและเวลาในการเดินทาง

ภาพประกอบ 7 แสดงพิกัดของสถานที่ และแผนที่สำหรับการเดินทาง



(ก) การนำเสนอข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวส่วนภาษาไทย



(ข) การนำเสนอข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวส่วนภาษาอังกฤษ

ภาพประกอบ 8 การนำเสนอข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวส่วนภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

2.2) การนำเสนอข้อมูลจากเอกสาร/แผ่นพับที่ใช้ในการประชาสัมพันธ์ ด้วยวิธีการสแกนผ่านคิวอาร์โคดที่ถูกสร้างขึ้นจากการบันทึกข้อมูลสถานที่ (ภาพประกอบ 5 (ง)) เพื่อแสดงภาพบรรยากาศของสถานที่ท่องเที่ยวผ่านสื่อประสม ดังภาพประกอบ 9 และภาพประกอบ 10 ซึ่งนักท่องเที่ยวสามารถใช้งานระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมสแกนคิวอาร์โคด ทั่วไป อาทิเช่น ในโปรแกรมสนทนาไลน์ (Line) ในโปรแกรมเฟซบุ๊ก (Facebook) หรือในโปรแกรมสแกนคิวอาร์โคดในสมาร์ทโฟน



ภาพประกอบ 9 การนำเสนอสถานที่ท่องเที่ยวโดยใช้คิวอาร์โคดช่วยในการประชาสัมพันธ์



ภาพประกอบ 10 สื่อประสมนำเสนอบรรยากาศและรายละเอียดข้อมูลทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

2.3) การนำเสนอข้อมูลด้วยการสแกนภาพของสถานที่ท่องเที่ยวผ่านแอปพลิเคชันที่ติดตั้งไว้บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในรูปแบบ Image AR เพื่อแสดงรายละเอียดข้อมูลสื่อประสมและภาพบรรยากาศของสถานที่ท่องเที่ยว โดยใช้เครื่องมือสำหรับการพัฒนาจากแอปพลิเคชันวีดิโนติ ดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 การนำเสนอรายละเอียดสถานที่ท่องเที่ยวด้วยการใช้ Image AR

2.3 การวิเคราะห์ความพึงพอใจในการใช้งานระบบสารสนเทศที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน อ.แม่จาง จ.เชียงใหม่ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการสำรวจความพึงพอใจในการใช้งานระบบสารสนเทศ ได้แก่ ผู้ทดลองใช้งานระบบ ที่มีอายุระหว่าง 21- 45 ปี จำนวน 100 คน โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบสอบถาม การเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจในการใช้งานระบบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านสถิติ จากการคำนวณหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยมีผลจากการวิเคราะห์ข้อมูล และสรุปรายละเอียดผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลความพึงพอใจจากผู้ทดลองใช้งานระบบ (n=100)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความพึงพอใจ
1. ความพึงพอใจด้านเนื้อหา	4.61	0.52	มากที่สุด
2. ความพึงพอใจด้านการออกแบบและการจัดการรูปแบบ	4.67	0.51	มากที่สุด
3 ระดับความพึงพอใจด้านการใช้งาน	4.75	0.34	มากที่สุด
4 ความพึงพอใจในเรื่องความสะดวกในการใช้ระบบสารสนเทศ	4.84	0.37	มากที่สุด
เฉลี่ย	4.72	0.44	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 ผลความพึงพอใจในการใช้งานระบบสารสนเทศในภาพรวม มีค่าเฉลี่ยคิดเป็น 4.72 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.44 จัดอยู่ในระดับความพึงพอใจมากที่สุด โดยเรียงลำดับความพึงพอใจมากไปน้อย คือ ความพึงพอใจในเรื่องความสะดวกในการใช้ระบบสารสนเทศ มีค่าเฉลี่ย 4.84

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.37 รองลงมาคือ ความพึงพอใจด้านการใช้งาน มีค่าเฉลี่ย 4.75 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.34 ถัดมาเป็นความพึงพอใจด้านการออกแบบและการจัดการรูปแบบ มีค่าเฉลี่ย 4.67 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.51 และความพึงพอใจด้านเนื้อหา มีค่าเฉลี่ย 4.61 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.52

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาบริบทของชุมชนตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่ามีแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ แหล่งท่องเที่ยวทางวัฒนธรรม แหล่งท่องเที่ยวเชิงศิลปหัตถกรรมและเกษตรกรรม มีผลิตภัณฑ์ชุมชนและผลผลิตอันเกิดจากวัฒนธรรมที่สามารถก่อให้เกิดประโยชน์ทางการพาณิชย์ และพัฒนาเป็นชุมชนการท่องเที่ยวที่มีคุณภาพได้ แต่ด้วยความที่ยังไม่มีการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลและวางโครงสร้างของการจัดการกับฐานข้อมูลของแหล่งท่องเที่ยวเหล่านี้ จึงทำให้ข้อมูลอยู่กระจัดกระจาย บางองค์ความรู้สูญหาย ยากต่อการประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยว จึงส่งผลให้ไม่มีนักท่องเที่ยวเข้ามาในชุมชน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำฐานข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวชุมชน แหล่งผลิตภัณฑ์หัตถกรรมในชุมชน และโบราณสถาน ของชุมชนตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อเป็นศูนย์กลางในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการที่จะพัฒนาต่อยอดส่งเสริมการท่องเที่ยวของชุมชนให้เป็นที่รู้จักและสามารถนำไปเผยแพร่ให้กับบุคคลทั่วไปและนักท่องเที่ยวได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเดชณัย จุ้ยชุม และดิชิตชัย เมตตาริกานนท์ (2560) ที่ได้ทำการถอดองค์ความรู้และจัดเก็บข้อมูลองค์ความรู้เพื่อไม่ให้สูญหายและนำไปเพิ่มโอกาสการสร้างรายได้แก่ชุมชนอย่างยั่งยืน และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ นิภาพร ทรัพย์ศรีสุขชัย และคณะ (2560) ที่ทำการเก็บรวบรวมองค์ความรู้เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ขององค์กร จากนั้นผู้วิจัยจึงได้ร่วมมือกับชุมชนในหารูปแบบในการประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวที่เหมาะสมกับบริบทของชุมชนและทำการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน อ.แม่วาง จ.เชียงใหม่ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มโอกาสการสร้างรายได้แก่ชุมชนอย่างยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ดวงพร อ่อนหวาน และคณะ (2559) พจนา สวนศรีและคณะ (2557) และจิตราภรณ์ ธาราพิทักษ์วงศ์ และคณะ (2562) ที่ให้ผู้เกี่ยวข้องในชุมชนร่วมกันหารูปแบบเพื่อนำเสนอและประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวในชุมชน ซึ่งมีความยั่งยืนมากกว่าการส่งเสริมการท่องเที่ยวโดยการพึ่งพิงองค์กรอื่นโดยที่ชุมชนไม่มีส่วนร่วม หากชุมชนไม่ขยับเข้ามาเรียนรู้และจัดการด้วยตัวเอง ให้ความรอบรู้เท่าทันและเพิ่มความหลากหลายของช่องทางก็จะมีความเสี่ยงเรื่องความยั่งยืน โดยในการนำเสนอรูปแบบการท่องเที่ยวในครั้งนี้ได้นำวิธีการประยุกต์เทคโนโลยีแบบผสานโลกเสมือนมาใช้เป็นแบบอย่างในการพัฒนาและประชาสัมพันธ์ เพื่อให้นักท่องเที่ยวได้รับรู้ข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวและเห็นบรรยากาศของสถานที่ท่องเที่ยวผ่านทางสื่อ/คลิปในการนำเสนอบรรยากาศของสถานที่จริงซึ่งจะทำให้เกิดความน่าสนใจมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธารทิพย์ รัตนวิจารณ์

และชนิชา พงษ์สนธิ (2559) นิติศักดิ์ เจริญรูป (2560) และสุรพงษ์ วิริยะและคณะ (2560) ที่ได้นำเอาวิธีการประยุกต์เทคโนโลยีแบบผสานโลกเสมือนมาใช้เป็นแบบอย่างในการพัฒนา พบว่าความคิดเห็นของกลุ่มนักท่องเที่ยวมีความพึงพอใจในการใช้แผนที่ที่สร้างขึ้นสำหรับนักท่องเที่ยวมีค่าระดับคะแนนเฉลี่ยระดับมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ คมกฤษ จิระบุตร และคณะ (2560) จิตราภรณ์ ธาราพิทักษ์วงศ์ และคณะ (2562) และ อัคราวุฒิ ศรีประไหม และพนัสนิธิร์ ลิ้มปิ่นทน (2560)

ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้

1. การนำระบบสารสนเทศเพื่อพัฒนาศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนแบบมีส่วนร่วมของชุมชนตำบลแม่วีน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ไปใช้งานให้มีประสิทธิภาพเพื่อช่วยส่งเสริมการท่องเที่ยว จำเป็นต้องมีแหล่งท่องเที่ยวของชุมชนในระบบฐานให้ครบในทุกหมู่บ้านจึงจะทำให้นักท่องเที่ยวเห็นถึงความหลากหลายและความคุ้มค่าต่อการเดินทางมายังชุมชน
2. การประเมินผลการใช้งานควรแยกกลุ่มการประเมินผลเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ดูแลระบบ กลุ่มผู้ดูแลสถานที่ท่องเที่ยว และกลุ่มนักท่องเที่ยว เพื่อจะได้เห็นผลการประเมินแยกตามกลุ่มของคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยว
3. การประเมินผลการใช้งานระบบสารสนเทศที่ได้ทำการนำเสนอรายงานด้วยข้อความภาษาอังกฤษควรกำหนดกลุ่มตัวอย่างที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญในการตอบแบบสอบถาม

เอกสารอ้างอิง

- การปกครองอำเภอแม่วาง. (2560). *แผนพัฒนาท้องถิ่นสี่ปี (พ.ศ. 2561-2564)*. สืบค้นจาก <http://www.maewang.go.th>
- คมกฤษ จิระบุตร และคณะ. (2560). การสร้างสื่อแผนที่ท่องเที่ยว โดยใช้เทคโนโลยี Augmented Reality เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยว อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย. *การประชุมสัมมนาวิชาการ การนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 17* (น.2456-2565) . มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.
- จิตราภรณ์ ธาราพิทักษ์วงศ์ และคณะ. (2562). *การบูรณาการเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนแบบมีส่วนร่วมชุมชนตำบลสันกำแพง อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่*. (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.
- ดวงพร อ่อนหวาน และคณะ. (2559). *แผนงานวิจัยการสร้างเสริมความเข้มแข็งให้ชุมชนบนพื้นที่สูงโดยใช้การท่องเที่ยวโดยชุมชนเป็นเครื่องมือ กรณีศึกษาอำเภอกัลยาณิวัฒนา จังหวัดเชียงใหม่*

- (ระยะที่ 2) (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ : สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- เดชดนัย จั๋ยชุม และดิชิตชัย เมตตาริกานนท์. (2560). การพัฒนาฐานข้อมูลเกี่ยวกับภูมิปัญญาศิลปวัฒนธรรมท้องถิ่น ในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, 11(1), 187-201.
- ธารทิพย์ รัตนวิจารณ์ และชนิชา พงษ์สนิต. (2559). โลกเสมือนจริงที่กลายเป็น “โลกสมจริง” ในภาคอุตสาหกรรมการผลิต. *วารสารการสื่อสารและการจัดการ*, 2(3), 97-114.
- นิติศักดิ์ เจริญรูป. (2560). การประยุกต์ใช้ความเป็นจริงเสริมเพื่อนำเสนอข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว : กรณีศึกษาวัดพระแก้ว จังหวัดเชียงราย. *วารสารวิทยาการจัดการสมัยใหม่*, 10(1), 13-30.
- นิภาพร ทรัพย์ศรีสุขชัย สิทธิพงษ์ พุทธวงษ์ ศรทัศน์ อินทรบุตร และนิเวศ จิระวิจิตชัย. (2560). ระบบบริหารจัดการองค์ความรู้องค์กร ของการประปาส่วนภูมิภาค. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี*, 11(4), 65-73.
- พจนา สวนศรี และคณะ. (2559). *ศึกษาค้นคว้าและแนวทางการพัฒนาตลาด การท่องเที่ยวโดยชุมชนในประเทศไทยและกลุ่มประเทศอาเซียน* (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ : สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ศุภชัย จิระรังสี. (2559). *ระบบฐานข้อมูล Oracle Database 12c จากเริ่มต้นสู่มืออาชีพ*. กรุงเทพฯ : เทรณลิสต์.
- สุรพงษ์ วิริยะ อนันตทรัพย์ สุขประดิษฐ์ และรชา ทองคงอยู่. (2560). การพัฒนาเทคโนโลยีการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมเสมือนจริงในจังหวัดนครสวรรค์. *รายงานสืบเนื่องในการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4* (น.1253-1260). มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2559). *สรุปสาระสำคัญแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่สิบสอง พ.ศ. 2560-2564*. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติสำนักนายกรัฐมนตรี.
- องค์การบริหารส่วนตำบลแม่วิน. (2562). *ข้อมูลทั่วไปขององค์การบริหารส่วนตำบล*. สืบค้นจาก <http://www.maewin.net/>
- อัคราภูมิ ศรีประไหม และพจน์ศิริรินทร์ ลิ้มปิ่นนันทน์. (2560). เทคโนโลยีเสมือนจริงส่งเสริมการท่องเที่ยววัฒนธรรม. *The 5th ASEAN Undergraduate Conference in Computing (AUC²)* (น.44-48). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร
- โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. (2560). *การวิเคราะห์และออกแบบระบบ*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- Kendall, K.E., & Kendall, J.E. (2011). *System analysis & design (8th ed.)*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.

ความหลากหลายทางพันธุกรรมของแมลงชีปะขาว (อันดับ Ephemeroptera)
ในกลุ่มแม่น้ำโขงของประเทศไทย

Genetic diversity of mayflies (Order Ephemeroptera)
in the Mekong River Basin of Thailand

นฤมล ประครองรักษ์¹ บุญเสฐียร บุญสูง² และ มณฑิรา มณฑาทอง^{1*}

Narumon Prakrongrak¹, Boonsatien Boonsoong² and Monthira Monthatong^{1*}

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น¹

Department of Biology, Faculty of Science, Khon Kaen University¹

ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์²

Department of Zoology, Faculty of Science, Kasetsart University²

Email: monmon@kku.ac.th

Received : February 15, 2023

Revised : May 29, 2023

Accepted : June 2, 2023

บทคัดย่อ

แมลงชีปะขาว เป็นแมลงกลุ่มหนึ่งที่มีความสำคัญในการใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำในธรรมชาติ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของแมลงชีปะขาวในกลุ่มแม่น้ำโขงของประเทศไทย โดยใช้ยีน cytochrome c oxidase (*COI*) ร่วมกับยีน 12S ribosomal RNA (*12S rRNA*) ตัวอย่างแมลงชีปะขาว จำนวน 38 ตัวอย่าง จากลักษณะทางสัณฐานวิทยาสามารถระบุได้ถึงระดับสกุลจำนวน 10 สกุล ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมและความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการจากตัวอย่างของแมลงชีปะขาว ด้วยโปรแกรม MEGA พบว่าแมลงชีปะขาวทั้ง 10 สกุลมีค่า Intraspecific genetic divergence ของยีน *COI* มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00-1.42% โดยมีเฉลี่ยเท่ากับ 0.66% และค่า interspecific genetic divergence ของยีน *COI* มีค่าอยู่ระหว่าง 17.8-28.9% โดยมีเฉลี่ยเท่ากับ 24.0% ส่วนค่า Intraspecific genetic divergence ของยีน *12S rRNA* มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00-1.26% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.32% และค่า interspecific genetic divergence ของยีน *12S rRNA* มีค่าอยู่ระหว่าง 14.1-47.1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.1% จากสายสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการโดยวิธี Maximum Likelihood (ML) analysis พบว่าทั้งยีน *COI* และ *12S rRNA* สามารถแยกแมลงชีปะขาวชีปะขาวจำนวน 38 ตัวอย่าง ออกเป็น 14 ชนิดได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้สายสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของยีน *12S rRNA* ยังสามารถแบ่งกลุ่มแมลงชีปะขาวได้ 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่วงศ์ Heptageniidae วงศ์ Caenidae และวงศ์ Leptophlebiidae ออกได้อย่างชัดเจน

คำสำคัญ: แมลงชีปะขาว ความหลากหลายทางพันธุกรรม *COI 12S rRNA*

ABSTRACT

Mayflies are important aquatic insects that are used as bioindicators for water quality. This study investigated the genetic diversity of mayflies in the Mekong River Basin of Thailand using the cytochrome c oxidase (COI) gene and the 12s ribosomal RNA (12S rRNA) gene. Thirty-eight specimens of mayfly larvae were collected and morphologically classified to the lowest taxa. They belonged to ten genera. Genetic diversity and phylogenetic relationships were analyzed using the Maximum Likelihood (ML) method in MEGA. The intraspecific genetic divergence in COI sequences within mayfly genera ranged from 0.00% to 1.12%, with a mean value of 0.66%. The interspecific genetic divergence in COI sequences within mayfly genera ranged from 17.8% to 28.9%, with a mean value of 24.0%. The intraspecific genetic divergence in 12S rRNA sequences ranged from 0.00% to 0.86%, with a mean value of 0.32%. The interspecific genetic divergence in 12S rRNA sequences ranged from 14.1% to 47.1%, with a mean value of 34.1%. The phylogenetic relationships of the COI and 12S rRNA genes revealed that both genes were able to distinguish the mayflies in this study into 10 genera, which were monophyletic. Furthermore, the 12S rRNA gene was clearly classified among the mayflies of the family Heptageniidae, Caenidae, and Leptophlebiidae.

Keywords: Mayflies, genetic diversity, *CO*, *12S rRNA*

บทนำ

แมลงชีปะขาวเป็นแมลงน้ำที่อยู่ในอันดับ Ephemeroptera มีความสำคัญต่อระบบนิเวศเป็นอย่างมาก นอกจากจะเป็นแหล่งอาหารของสัตว์น้ำแล้ว แมลงเหล่านี้ยังสามารถเป็นตัวชี้วัดของคุณภาพน้ำที่ดีได้ จึงมีการนิยมใช้แมลงชีปะขาวเพื่อการประเมินคุณภาพน้ำทางชีวภาพร่วมกับสโตนฟลาย และตัวอ่อนของแมลงหนอนปลอกน้ำ (Filter and Manue, 1986) แมลงชีปะขาวมีการกระจายตัวอยู่ทั่วโลกยกเว้นทวีปแอนตาร์กติกา โดยมีมากกว่า 3000 สปีชีส์ (Sartori and Brittain, 2015) ในทวีปเอเชียรวมถึงประเทศไทยมีการศึกษาเกี่ยวกับแมลงชีปะขาวน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนชนิดที่มีกระจายอยู่ทั่วโลก

และระดับอนุกรมวิธานในระดับสกุลยังไม่แน่นอน (Soldán, 2001) เนื่องจากมีระยะตัวเต็มวัยสั้น ทำให้การศึกษาอนุกรมวิธานของแมลงซีปะขาวมักศึกษาระยะตัวอ่อน โดยตัวอ่อนส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็กโดยมีขนาดประมาณ 1-4 เซนติเมตร ดังนั้นจึงยากต่อการจำแนกและระบุชนิด (Malzacher, 2015) การจำแนกแมลงซีปะขาว โดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยาเพียงอย่างเดียวยังคงประสบปัญหาเนื่องจากการแปรผันของฟีโนไทป์ในลักษณะที่มีความสำคัญทางอนุกรมวิธาน ซึ่งทำให้เกิดความยากลำบากอย่างยิ่งในระหว่างการทำจำแนกชนิด และอาจนำไปสู่การระบุชนิดที่ผิดพลาดได้ (McCafferty and Pereira, 1984) ข้อมูลลำดับดีเอ็นเอถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอนุกรมวิธานโมเลกุล โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการจำแนกชนิด (species identification) การประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรม (genetic diversity) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสายวิวัฒนาการ (phylogenetic relationships) (Ball and Hebert, 2005; Ogden and Whiting, 2005; Gattolliat et al., 2015; Selvakumar et al., 2016) โดยลำดับนิวคลีโอไทด์ที่นิยมใช้ในการศึกษา ชีสเทมาติคส์ ชีวภูมิศาสตร์ และนิเวศวิทยามักจะเป็นยีนที่อยู่ในไมโทคอนเดรียเนื่องจากมีข้อดีหลายประการ โดยเฉพาะในการประยุกต์ในการสืบค้นความสัมพันธ์ในแง่ของวิวัฒนาการการสืบสายพันธุ์ โดย mitochondria DNA นั้น มีวิวัฒนาการค่อนข้างเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับ nuclear gene มีจำนวน copy ในเซลล์มาก และ mitochondria DNA ไม่เกิด genetic recombination และการถ่ายทอดทางพันธุกรรมเป็นแบบ maternally-inherited ทำให้แปลผลได้โดยไม่ซับซ้อนเหมือน nuclear genome (Williams et al., 2006) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของแมลงซีปะขาวในแม่น้ำโขงของประเทศไทยด้วยยีน *cytochrome oxidase subunit I (COI gene)* และ *12s ribosomal RNA genes (12s rRNA gene)* ซึ่งเป็นยีนที่อยู่ในไมโทคอนเดรีย

วิธีการดำเนินการวิจัย

เก็บรวบรวมตัวอย่างและการระบุชนิด

เก็บรวบรวมตัวอย่างแมลงซีปะขาวจากบริเวณแม่น้ำโขงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยการใช้สวิง D-frame net ความถี่ตาข่าย 500 ไมโครเมตร โดยเก็บจุดย่อยละประมาณ 5 นาทีเพื่อให้ครอบคลุมทุกถิ่นที่อยู่ นำตัวอย่างใส่ถุงพลาสติก และเติมด้วยแอลกอฮอล์ 70% โดยตัวอย่างที่รวบรวมได้จะนำมาศึกษาใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอเพื่อจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานต่ำสุดเท่าที่จะสามารถทำได้ จากลักษณะทางสัณฐานวิทยา ด้วยเอกสารทางวิชาการ ดังต่อไปนี้ Kang and Yang, 1994; Tong and Dudgeon, 2002; Sangpradub and Boonsoong, 2006; Jia et al., 2010; Malzacher, 2015; Malzacher and Sangpradub, 2021; Srinivasan et al., 2021 และเก็บรักษาสภาพในแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์เพื่อการสกัดดีเอ็นเอ

การสกัดดีเอ็นเอจากแมลงซีปะขาว

สกัดดีเอ็นเอจากแมลงซีปะขาวทั้งตัว ตัวอย่างละ 1 ตัว โดยใช้ชุดสกัดดีเอ็นเอ GF-1 Nucleic acid extraction kits จากบริษัท Vivantis (Malaysia) วัดความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ ด้วย Nanodrop spectrophotometer (Bio-Active)

การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยเทคนิค PCR

ศึกษาขึ้น 2 ตำแหน่ง คือ *cytochrome c oxidase subunit I (COI)* และ *12S ribosomal RNA* ดังนี้

การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอบริเวณยีน *COI* โดยใช้ไพรเมอร์ LCO1490 (5'-GGTCAACAAAT CATAAGATATTGG-3') และ HCO2198 (5'-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3') (Folmer et al., 1994) ใน 1 ปฏิกริยา PCR ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ประกอบด้วย 2.0 mM MgCl₂, 1x Vi buffer A, 200 μM dNTP, 0.2 μM primer, 50 ng/μl genomic DNA และ 2.0 unit Pfu DNA polymerase ปรับปริมาตรด้วยน้ำ deionized ทำการเพิ่มขยายปริมาณดีเอ็นเอโดยมีขั้นตอนของ ปฏิกริยา (PCR profile) คือ initial denaturation ที่ 94 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จำนวน 1 รอบ ขั้นตอนการ denaturation ที่ 94 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที annealing ที่ 48 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที และ extension ที่ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จำนวน 35 รอบ และขั้นตอน final extension ที่ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จำนวน 1 รอบ

การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอบริเวณยีน *12S rRNA* โดยใช้ไพรเมอร์ 12Sai (5'-AAACTACGATTAGA TACCTATTAT-3') และ 12Sbi (5'-AAGAGCGACGGGCGATGTGT-3') (Simon et al., 1994) ใน 1 ปฏิกริยา PCR ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ประกอบด้วย 2.0 mM MgCl₂, 1x Vi buffer A, 200 μM dNTP, 0.2 μM primer, 20 ng/μl genomic DNA และ 2.0 unit Pfu DNA polymerase ปรับปริมาตรด้วยน้ำ deionized ทำการเพิ่มขยายปริมาณดีเอ็นเอโดยมีขั้นตอนของปฏิกริยา (PCR profile) คือ initial denaturation ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จำนวน 1 รอบ ขั้นตอนการ denaturation ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที annealing ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที และ extension ที่ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที จำนวน 35 รอบ และขั้นตอน final extension ที่ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จำนวน 1 รอบ

การวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์

ดีเอ็นเอที่ได้จากการทำปฏิกริยา PCR จากบริเวณยีน *COI* และ *12S rRNA* นำไปวิเคราะห์หาลำดับนิวคลีโอไทด์ โดยใช้คูไพรเมอร์ชนิดเดียวกับที่เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยเทคนิค PCR ที่บริษัท MacroGen Inc. ประเทศเกาหลี โดยผลผลิตของปฏิกริยา PCR มีความเข้มข้นของดีเอ็นเออยู่ระหว่าง 300-500 ng/μl และหาลำดับนิวคลีโอไทด์ทั้งสาย forward และ reverse

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *COI* และ *12S rRNA* โดยตรวจสอบความถูกต้องของลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยโปรแกรม BioEdit version 7 (Hall, 1999) ประเมินคุณภาพลำดับนิวคลีโอไทด์โดยการเรียงเทียบ (alignment) ด้วยวิธี ClustalW ในโปรแกรม MEGA version 10 (Kumar et al., 2018) และตัดบริเวณ Indel (insertion/deletion) ด้วยโปรแกรม SeqFIRE (Ajawatanawong et al., 2012). ก่อนนำมาคำนวณหาระยะทางทางพันธุกรรม (genetic distance) ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรม (genetic diversity) โดยใช้ Kimura 2-parameter model (Kimura, 1980) และสร้างสายสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ (phylogenetic relationships) โดยวิธี Maximum Likelihood (ML) analysis (Model T92+G+I) ด้วยโปรแกรม MEGA ทำการวิเคราะห์ bootstrap 1,000 ซ้ำ วิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์กับฐานข้อมูล Barcode of Life Data Systems (BOLD) และ Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) เพื่อเทียบหาชนิดในฐานข้อมูล

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการเก็บรวบรวมตัวอย่างแมลงชีปะขาวจากบริเวณแม่น้ำโขงในประเทศไทย

เก็บตัวอย่างแมลงชีปะขาวจากแม่น้ำโขงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยตัวอย่างที่รวบรวมได้จะนำมาจัดจำแนกเบื้องต้นและเก็บรักษาสภาพในแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างแมลงชีปะขาวจากบริเวณแม่น้ำโขงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

วงศ์	แทกซา (จำนวนตัว)	สถานที่เก็บ	ผู้เก็บ	วันที่เก็บ	พิกัดทางภูมิศาสตร์	
Heptageniidae	<i>Componeuriella braaschi</i> (1)	Kang Saphue, Ubon Ratchathani	B. Boonsoong	2-2-61	15°19.232' N	105°29.888' E
Heptageniidae	<i>Afronurus</i> sp.1 (1)	Khong Chaim, Ubon Ratchathani	B. Boonsoong	3-2-61	15°14.728' N	105°14.636' E
Heptageniidae	<i>Thalerosphyrus sinuosus</i> (3)	Soi Sawan Waterfall, Ubon Ratchathani	B. Boonsoong	3-2-61	15°27.596' N	105°34.701' E
Heptageniidae	<i>Afronurus</i> sp.2 (3)	Soi Sawan Waterfall, Ubon Ratchathani	B. Boonsoong	3-2-61	15°27.596' N	105°34.701' E
Leptophlebiidae	<i>Sangpradubina thailandica</i> (6)	Kang Saphue, Ubon Ratchathani	B. Boonsoong	2-2-61	15°14.728' N	105°14.636' E
Leptophlebiidae	<i>Isca janiceae</i> (1)	Soi Sawan Waterfall, Ubon Ratchathani	B. Boonsoong	3-2-17	15°27.596' N	105°34.701' E
Caenidae	<i>Caenis</i> spp. (16)	Mekong River, Khong Chiam	B. Boonsoong	3-2-61	15°19.232' N	105°29.888' E

ตารางที่ 2 (ต่อ)

วงศ์	แทกซา (จำนวนตัว)	สถานที่เก็บ	ผู้เก็บ	วันที่เก็บ	พิกัดทางภูมิศาสตร์	
Caenidae	<i>Caenis</i> spp. (8)	Kaeng Saphue, Phibun Mangsahan	B. Boonsoong	2-2-61	15°14.728' N	105°14.636' E
Caenidae	<i>Caenis</i> spp. (7)	Kang Tana, Sirindhorn	B. Boonsoong	2-2-61	15°17.993' N	105°28.550' E
Caenidae	<i>Caenis</i> spp. (6)	Khut Khu Rapid Chiang Khan, Loei	C. Phalaraksh	9-3-61	17°54'26.8"N	101°42'06.1"E
Caenidae	<i>Caenis</i> sp. (2)	Soi Sawan Waterfall, Khong Chiam	B. Boonsoong	3-2-61	15°27.596' N	105°34.701' E
Caenidae	<i>Caenis</i> sp. (1)	Kaeng Tana, Sirindboon Ubon Ratchathani	B.Boonsoong	2-3-61	15°17.995N	105°28.550E
Caenidae	<i>Caenis</i> sp. (5)	Kaeng Saphue, Phibun Mangsahan	B. Boonsoong	2-2-61	15°14.728' N	105°14.636' E
Caenidae	<i>Cercobrachys</i> sp. (3)	Mekong River, Mueang NakhonPanom	P. Getwongsa	11-2-61	17°48'2741' N	104°7'29156' E
Caenidae	<i>Clypeocaenis</i> sp. (4)	Mekong River, A.Sangkhor, NongKhai	P. Getwongsa	4-2-61	18°0'78543' N	102°2'59733' E
Caenidae	<i>Caenis</i> sp. (1)	Mekong River, Mueang Mukdahan	P. Getwongsa	12-2-61	16°5'590228' N	104°7'34335' E

ผลจากการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยเทคนิค PCR และผลการวิเคราะห์หาลำดับนิวคลีโอไทด์

ดีเอ็นเอของแมลงชีปะขาวจำนวน 38 ตัวอย่าง นำมาเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยเทคนิค PCR โดยบริเวณยีน *COI* เพิ่มปริมาณโดยใช้คู่ไพรเมอร์ LCO1490 และ HCO2198 พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอได้ 1 แถบ มีขนาดประมาณ 700 คู่เบส และยีน *12S rRNA* ใช้คู่ไพรเมอร์ 12Sai และ 12Sbi สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอได้ 1 แถบ มีขนาดประมาณ 400 คู่เบส และโดยพบว่าทั้ง 2 ยีนไม่ปรากฏแถบคู่ของดีเอ็นเอ เป็นการตรวจสอบในเบื้องต้นว่าชิ้นส่วนของดีเอ็นเอที่เพิ่มปริมาณได้ไม่ใช่ pseudogenes (Jalali et al., 2015) ดีเอ็นเอที่ได้จากการทำปฏิกิริยา PCR จากบริเวณยีน *COI* และยีน *12S rRNA* นำไปวิเคราะห์หาลำดับนิวคลีโอไทด์ ที่บริษัท Macrogen Inc. ประเทศเกาหลีใต้ หาลำดับนิวคลีโอไทด์ทั้งสาย forward และ reverse นำมาตัดลำดับเบสด้านหน้าและท้ายที่ไม่มีความน่าเชื่อถือออก โดยใช้โปรแกรม Bioedit (Hall, 1999) พบว่าขนาดของยีน *COI* และ *12S rRNA* ที่นำมาวิเคราะห์ต่อมีขนาด 653 และ 376 คู่เบส ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์กับฐานข้อมูล Bolddsystems และ GenBank

ผลจากการเปรียบเทียบลำดับของนิวคลีโอไทด์ของยีน *COI* กับฐานข้อมูล Bolddsystems และ GenBank เพื่อเทียบกับชนิดที่มีในฐานข้อมูล พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความเหมือน (Similarity) กับชนิดของสิ่งมีชีวิตที่มีรายงานในฐานข้อมูล อยู่ระหว่าง 80-98 เปอร์เซ็นต์ จากการจำแนกและระบุชนิดของ

แมลงซีปะขาวเบื้องต้นพบว่ายังไม่มีชนิดใดตรงกับชนิดที่มีรายงานในฐานข้อมูลเป็นเพียงข้อมูลที่ตรงกับระดับสกุลเท่านั้น ทั้งนี้อาจเกิดจากแมลงซีปะขาวที่พบยังไม่มีการรายงานเข้าไปในฐานข้อมูล เพราะข้อมูลทางด้านโมเลกุลของแมลงซีปะขาวยังคงมีจำนวนน้อยมาก และนอกจากนี้ยังพบว่ามียางตัวอย่างที่ผลการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์จากสองฐานข้อมูลขัดแย้งกันและขัดแย้งกับการจำแนกจากรูปร่างภายนอกซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าข้อมูลในฐานข้อมูลทั้งสองนี้อาจจะมีการระบุชนิดที่ไม่ตรงกัน

ผลการวิเคราะห์ค่า Genetic divergence ของแมลงซีปะขาว

จากการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *COI* และ *12s rRNA* และนำมาคำนวณค่า genetic divergence ด้วยโมเดล Kimura2-parameter ด้วยโปรแกรม MEGA (Kumar et al., 2018) และ *Gomphiocephalus hodgsoni* (Collembola) Accession number AY191995 เป็น outgroup พบว่าค่า Intraspecific genetic divergence ของยีน *COI* มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1.12% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.66% โดย *Clypeocaenis* sp. มีค่า Intraspecific ต่ำที่สุด ส่วน *Afronurus* sp.1 *Compsoeuriella braaschi*, *Choroterpes proba*, *Isca janiceae* และ *Thraulius* sp. ไม่สามารถคำนวณค่าได้เนื่องจากมีเพียงชนิดละหนึ่งตัวอย่าง ส่วนค่า interspecific genetic divergence ของยีน *COI* มีค่าอยู่ระหว่าง 17.8-28.9% โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.0% ดังแสดงในตารางที่ 2 ค่า Intraspecific genetic divergence ของยีน *12s rRNA* มีค่าอยู่ระหว่าง 0-0.86% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.32% โดย *Caenis* sp.3, *Caenis longiforcipata*, *Cercobrachys* sp. และ *Clypeocaenis* sp. มีค่า Intraspecific ต่ำที่สุด และค่า interspecific genetic divergence ของยีน *12s rRNA* มีค่าอยู่ระหว่าง 14.1-47.1% โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.1% ดังแสดงในตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาค่า Intraspecific genetic divergence ของยีน *COI* พบว่ามีค่าสูงถึง 1.12% โดยงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้ศึกษาในแมลงซีปะขาวได้รายงานว่าความแตกต่างของค่า intraspecific สูงสุดคือ 3.4% และความแตกต่างของค่า interspecific ขั้นต่ำคือ 3.3% (Ball et al., 2005; Kjaerstad et al., 2012; Webb et al., 2012; Zhou et al., 2010; Gattolliat, 2015). ถึงแม้ว่าในงานวิจัยจะมีค่า Intraspecific สูง แต่ก็ยังคงมีค่าน้อยกว่าที่เคยมีรายงาน ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่าค่า interspecific genetic divergence ของยีน *12S rRNA* นั้นสูงกว่ายีน *COI* เกือบทุกสปีชีส์จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่ายีน *12S rRNA* นั้นได้รับการอนุรักษ์อย่างสูงในแมลงและใช้สำหรับการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมในระดับ phyla และยีน *16S rRNA* ยังนิยมใช้สำหรับการศึกษาในระดับต่ำและระดับกลาง เช่นในระดับวงศ์ หรือสกุล (Hickson et al., 1996; Gerber et al., 2001; Mandal et al., 2014)

ผลการสร้างสายสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ (phylogenetic relationships)

จากสายสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการพบว่า ทั้งยีน *COI* และ *12S rRNA* สามารถแยกแมลงซีปะขาวซีปะขาวจำนวน 38 ตัวอย่าง ออกเป็น 14 ชนิดได้เช่นเดียวกัน (ภาพประกอบ 1 และภาพประกอบ 2) สายสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของยีน *12S rRNA* สามารถแบ่งกลุ่มได้ 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่วงศ์

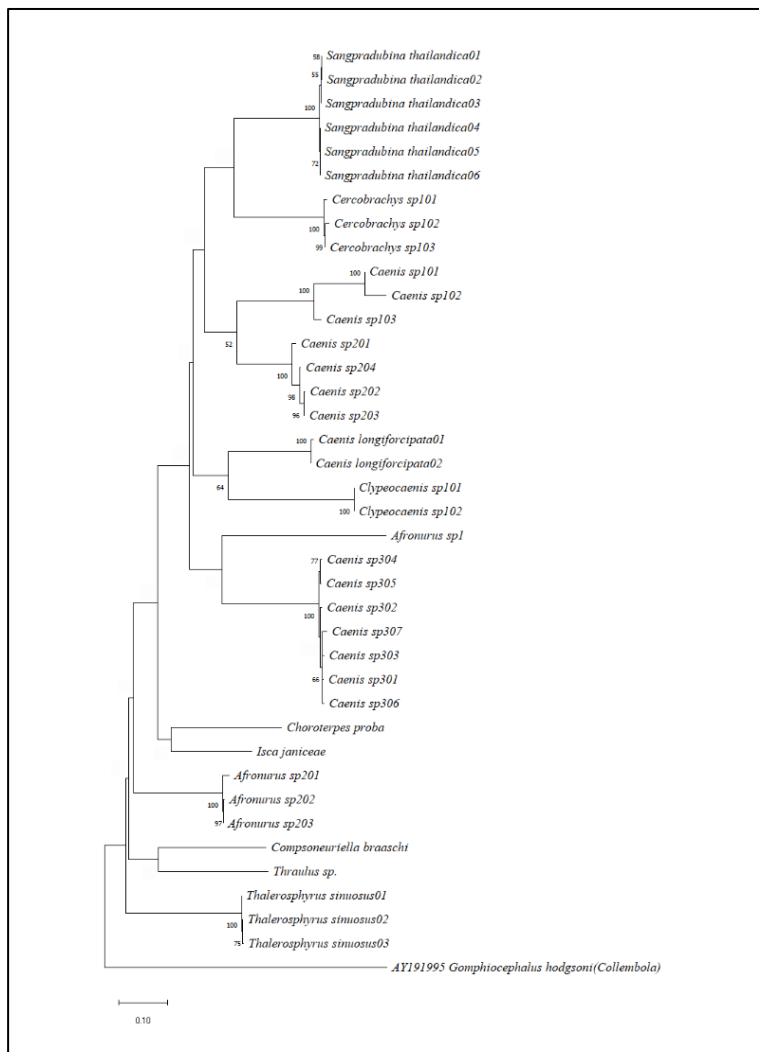
Heptageniidae วงศ์ Caenidae และวงศ์ Leptophlebiidae ในขณะที่สายสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของยีน *COI* ไม่ได้ถูกแบ่งในระดับของวงศ์ แต่ *COI* เป็นยีนที่นิยมใช้สำหรับเป็นดีเอ็นเอบาร์โค้ดเพื่อระบุสายพันธุ์ของสัตว์รวมถึงนิยมใช้เพื่อระบุชนิดในกลุ่มแมลงอีกด้วย (Ball et al., 2005; Kjaerstad et al., 2012; Zhou et al., 2010; Gattolliat, 2015) และมีอัตราการทดแทนนิวคลีโอไทด์สูงซึ่งช่วยในการจำแนกสปีชีส์ที่เป็น cryptic species ได้ (Hebert et al., 2003) ผลการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า *COI* และ *12s rRNA* มีประสิทธิภาพสูงในการระบุชนิดและการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของแมลงชีปะขาว โดยมีค่าเฉลี่ยของ interspecific distance เท่ากับ 24.0% และ 34.1% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าสูงมากกว่า 10 เท่า ของค่าเฉลี่ย intraspecific distance 0.66% และ 0.32% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ของสายวิวัฒนาการของยีน *COI* ยังไม่ชัดเจนเนื่องจากจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีจำนวนน้อยเกินไป เช่น *Afronurus* sp.1, *Compsoneriella braaschi*, *Choroterpes proba*, *Isca janiceae* และ *Thraulius* sp. ซึ่งมีเพียงชนิดละหนึ่งตัวอย่างเท่านั้น และนอกจากนี้ยีนที่เข้ารหัสโปรตีน (protein-coding genes) เช่นยีน *COI* มักจะมีอัตราการแทนที่เบสสูง (base substitutions) และอัตราการวิวัฒนาการระดับโมเลกุล (molecular evolution) สูงขึ้นประมาณสามเท่าเมื่อเทียบกับบริเวณที่ไม่ได้เข้ารหัส เช่น *12S* หรือ *16S rRNA* (Knowlton and Weigt, 1998)

ตารางที่ 2 แสดงค่า interspecific genetic divergence วิเคราะห์จากยีน *COI*

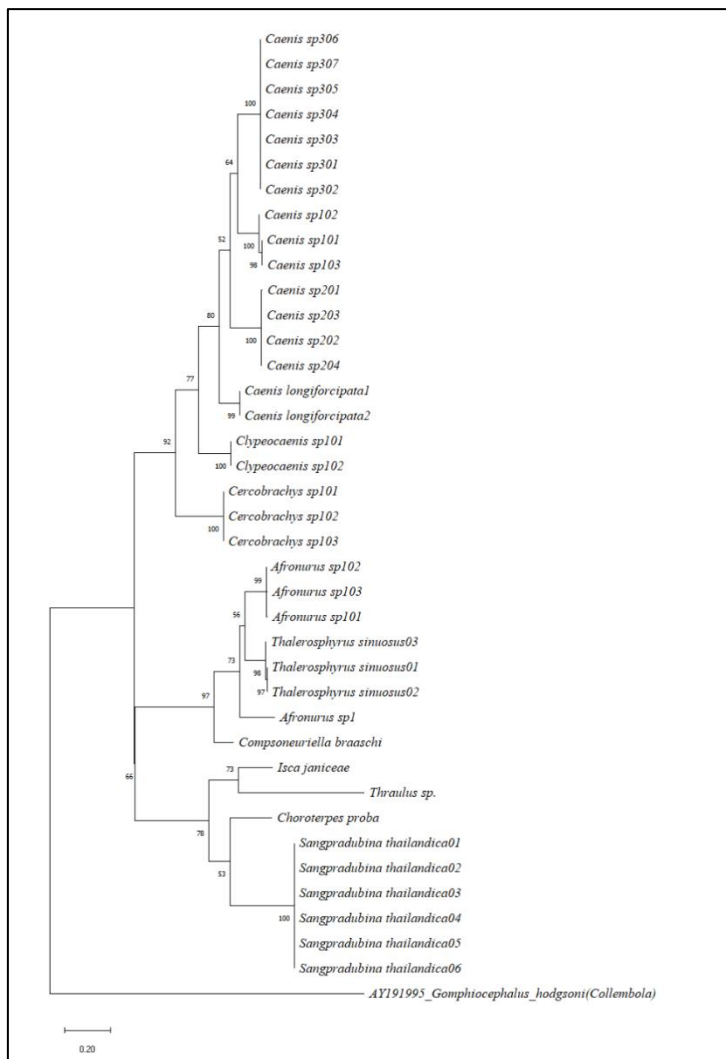
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	outgroup
1	<i>Afronurus</i> sp.1															
2	<i>Afronurus</i> sp.2	24.1														
3	<i>Caenis</i> sp.1	28.3	24.6													
4	<i>Caenis</i> sp.2	27.6	23.3	21.9												
5	<i>Caenis</i> sp.3	24.7	25.0	27.2	22.8											
6	<i>Caenis longiforcipata</i>	26.4	23.8	26.8	20.5	23.8										
7	<i>Compsoneriella braaschi</i>	23.1	21.8	27.9	24.2	26.3	24.6									
8	<i>Cercobrachys</i> sp.	27.7	25.3	23.6	18.7	24.2	20.3	21.0								
9	<i>Clypeocaenis</i> sp.	27.4	23.1	26.1	21.9	24.4	20.7	27.3	23.8							
10	<i>Choroterpes proba</i>	28.6	23.7	25.6	20.0	23.3	22.2	25.6	23.1	24.1						
11	<i>Isca janiceae</i>	25.6	20.9	23.9	22.8	22.4	22.9	22.3	22.2	24.1	20.6					
12	<i>Sangpradubina thailandica</i>	23.3	22.1	26.3	22.8	23.4	22.9	19.3	21.9	25.2	21.8	20.3				
13	<i>Thraulius</i> sp.	28.5	24.6	28.8	24.7	26.0	28.0	21.4	24.0	28.9	22.9	23.5	22.1			
14	<i>Thalerosphyrus sinuosus</i>	25.7	21.8	28.1	25.1	28.3	25.4	22.1	25.2	25.3	23.6	24.1	22.8	22.5		
outgroup	AY191995Gomphiocephalus hodgsoni (Collembola)	32.4	30.1	35.3	34.6	36.3	35.5	30.7	32.9	33.0	30.9	31.6	30.5	31.2	29.0	

ตารางที่ 3 แสดงค่า interspecific genetic divergence วิเคราะห์จากยีน 12s rRNA

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	outgroup
1	<i>Afronurus</i> sp.1															
2	<i>Afronurus</i> sp.2	19.1														
3	<i>Caenis</i> sp.1	43.7	46.8													
4	<i>Caenis</i> sp.2	42.3	46.1	16.8												
5	<i>Caenis</i> sp.3	41.9	44.0	14.1	15.4											
6	<i>Caenis longiforcipata</i>	40.3	44.1	16.9	15.6	17.0										
7	<i>Componeuriella braaschi</i>	21.2	22.1	38.6	36.6	37.3	36.7									
8	<i>Cercobrachys</i> sp.	42.3	42.9	25.4	24.9	23.4	24.2	33.0								
9	<i>Clypeocaenis</i> sp.	37.8	39.0	23.3	20.9	20.4	19.9	34.6	25.1							
10	<i>Choroterpes proba</i>	43.7	46.9	35.7	36.1	37.8	32.2	46.5	41.1	38.8						
11	<i>Isca janiceae</i>	39.9	35.6	43.6	38.8	42.4	39.1	36.8	40.5	39.1	24.9					
12	<i>Sangpradubina thailandica</i>	46.3	46.0	36.1	35.9	36.0	36.4	43.7	35.5	39.5	21.6	28.4				
13	<i>Thraulius</i> sp.	41.7	43.0	45.5	45.5	46.5	43.6	44.7	47.1	44.1	31.6	30.5	39.4			
14	<i>Thalerosphyrus sinuosus</i>	19.9	14.7	39.8	42.6	41.0	41.7	19.2	35.6	37.9	44.4	39.1	45.8	42.0		
outgroup	AY191995 <i>Gomphiocephalus hodgsoni</i> (Collembola)	59.6	60.5	57.4	56.1	56.1	59.0	58.2	56.1	56.3	55.6	54.5	55.6	58.8	59.0	



ภาพประกอบ 1 Molecular phylogeny of mayfly using Maximum likelihood (ML), using partial COI sequences. Tree was inferred from 653 base pair of 14 species of mayfly. Bootstrap values for maximum likelihood (ML) are shown above, under, or near the branches. Node support values are bootstrap values (percentage of 1000 replicate). Scale bar indicates 0.10 nucleotide substitutions.



ภาพประกอบ 2 Molecular phylogeny of mayfly using Maximum likelihood (ML), using partial 12S rDNA sequences. Tree was inferred from 376 base pair of 14 species of mayfly. Bootstrap values for maximum likelihood (ML) are shown above, under, or near the branches. Node support values are bootstrap values (percentage of 1000 replicate). Scale bar indicates 0.20 nucleotide substitutions.

เอกสารอ้างอิง

- Ajawatanawong, P., Atkinson, G.C., Watson-Haigh, N.S., MacKenzie, B. and Baldauf, S.L. 2012. SeqFIRE: a web application for automated extraction of indel regions and conserved blocks from protein multiple sequence alignments. *Nucleic Acids Research*, 40(W1), 340-347.
- Ball, S.L. and Hebert, P.D.N. (2005). Biological identifications of mayflies (Ephemeroptera) using DNA barcodes. *Journal of North American Benthological Society*, 24(3), 508-524.
- Filter, R. and Manue, R. (1986). *The Freshwater Life of Britain and North West Europe*. Publisher: Collins.
- Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R. and Vrijenhoek, R. (1994). DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 3(5), 294-299.
- Gattolliat J.L., Cavallo, E., Vuataz, L. and Sartori, M. (2015). DNA barcoding of Corsican mayflies (Ephemeroptera) with implications on biogeography, systematics and biodiversity. *Arthropod systematics and phylogeny* 73(1): 3-18.
- Gerber, A.S., Loggins, R., Kumar, S. and Dowling, T.E., (2001). Does non-neutral evolution shape observed patterns of DNA variation in animal mitochondrial genomes?. *The Annual Review of Genetics*, 35(1), 539-566.
- Hall, T.A. (1999). BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Window 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41(41), 95-98.
- Hebert, P.D.N., Cywinska, A., Ball, S.L., and deWaard, J.R. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1512), 313-321.
- Hickson, R.E., Simon, C., Cooper, A., Spicer, G.S., Sullivan, J. and Penny, D., (1996). Conserved sequence motifs, alignment, and secondary structure for the third domain of animal 12S rRNA. *Molecular Biology and Evolution*, 13(1), 150-169.

- Jalali, S. K., Rakshit Ojha and Venkatesan T. (2015). DNA Barcoding for Identification of Agriculturally Important Insects. A. K. Chakravarthy (ed.), *New Horizons in Insect Science: Towards Sustainable Pest Management*, Springer India DOI 10.1007/978-81-322-2089-3, 13-23.
- Jia, Y. Y., Qin, J. Z., Ju, M., & Zhou, C. F. (2010). A new mayfly species of *Caenis* from headwater of Zijin Hill (Nanjing, Eastern China)(Ephemeroptera: Caenidae). *Zootaxa*, 2535(1), 61-68.
- Kang, S.C. and Yang, C.T. (1994). Caenidae of Taiwan (Ephemeroptera). *Chinese Journal of Entomology*, 14, 93-113.
- Kimura, M. (1980). A simple method for estimating evolutionary rate of base substitution through comparative studies of nucleotide sequences. *J. Mol. Evol*, 16, 111-120.
- Kjaerstad, g., Webb, J.M. and Ekrem, T. (2012). A review of the Ephemeroptera of Finnmark DNA barcodes identify Holarctic relations. *Norwegian Journal of Entomology*, 59(2), 182-195.
- Malzacher, P. E. T. E. R. (2015). Revision of the Oriental species of the genus *Caenis* Stephens (Insecta: Ephemeroptera: Caenidae). *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde A, Neue Serie*, 8, 27-47.
- Malzacher, P., & Sangpradub, N. (2021). New mayfly species of *Caenis* and *Kalimaenis* from Thailand and descriptions of two new genera of the subfamily Caeninae (Ephemeroptera: Caenidae). *Integrative Systematics: Stuttgart Contributions to Natural History*, 3(1), 1-33.
- De Mandal, S., Chhakhuak, L., Gurusubramanian, G., & Kumar, N. S. (2014). Mitochondrial markers for identification and phylogenetic studies in insects–A Review. *DNA Barcodes*, 2(1), 1-9.
- McCafferty, P.W. and Pereira, C. (1984). Effects of developmental thermal regimes on two mayfly species and their taxonomic interpretation. *Annals of the Entomological Society of America*, 77(1), 69-87.
- Ogden, T.H. and Whiting, M.F. (2005). Phylogeny of Ephemeroptera (mayflies) based on molecular evidence. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 37(3): 625-643.

- Sangpradub, N., Boonsoong, B., & Mekong River Commission, Vientiane(Lao PDR). (2006). Identification of freshwater invertebrates of the Mekong River and its tributaries. MRC, Vientiane, Lao PDR. 274 p.
- Sartori, M. and Brittain, J. (2015). *Order Ephemeroptera. In: Ecology and General Biology*, Fourth Edition, 873-891.
- Selvakumar, C., Sivaramakrishnan, K.G. and Janarthanan, S. (2016). DNA barcoding of mayflies (Insecta: Ephemeroptera) from South India. *Mitochondrial DNA Part B*, 1(1): 651-655.
- Simon, C., Frati, F., Beckenbach, A., Crespi, B., Liu, H. and Flook, P. (1994). Evolution, weighting, and phylogenetic utility of mitochondrial gene sequences and a compilation of conserved polymerase chain reaction primers. *Annals of the Entomological Society of America*, 87(6), 651-701.
- Soldán, T. (2001). Status of the systematic knowledge and priorities in Ephemeroptera studies: the Oriental region. *Trends in Research in Ephemeroptera and Plecoptera*, 53-65.
- Srinivasan, P., Sivaruban, T., Barathy, S., Malzacher, P., & Isack, R. (2021). A new charismatic *Caenis* Stephens, 1835 (Ephemeroptera: Caenidae) from Southern India. *Zootaxa*, 4926(1), zootaxa-4926.
- Tong, X.L. and Dudgeon, D. (2002). Three new species of the genus *Caenis* from Hong Kong, China (Ephemeroptera: Caenidae). *Zoological Research*, 23(3), 232-238.
- Williams, H. C., Ormerod, S. J., & Bruford, M. W. (2006). Molecular systematics and phylogeography of the cryptic species complex *Baetis rhodani* (Ephemeroptera, Baetidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 40(2), 370-382.
- Zhou, X., Jacobus, L. M., DeWalt, R. E., Adamowicz, S. J., & Hebert, P. D. (2010). Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera fauna of Churchill (Manitoba, Canada): insights into biodiversity patterns from DNA barcoding. *Journal of the North American Benthological Society*, 29(3), 814-837.

มุมในการจุ่มซีเซียมโบรไมด์ที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพ
ซีเซียมเลดโบรไมด์เพอรอฟสไกต์โซลาร์เซลล์

Effect of Angle for Cesium Bromide Dipping on Efficiency of
Cesium Led Bromide Perovskite Solar Cells

วัลลภ หอมระหัด^{1*} จุฑานันท์ ขานวงศ์² ธริยา เสนากลาง² อธิระวิทย์ พลโคกก่อง¹
ปฐพงษ์ เทียมตริ² และ ภัทรพงษ์ ขำคม²

Vallop Homrahad^{1*}, Juthanan Khanwong², Thariya Sensklang²,
Thirawit Phonkhokkong¹, Patthaphong Thiamtri², and Phattharaphong Khamkhom²

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์¹

Faculty of Science, Buriram Rajabhat University¹

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์²

Faculty of Education, Buriram Rajabhat University²

Email: Vallop.hr@bru.ac.th

Received : March 13, 2023

Revised : May 31, 2023

Accepted : June 2, 2023

บทคัดย่อ

ฟิล์มซีเซียมเลดโบรไมด์ (CsPbBr_3) เพอรอฟสไกต์ถูกเคลือบลงบนพื้นผิวนำไฟฟ้า F-SnO_2 (FTO) โดยใช้วิธีการสองชั้นตอน ฟิล์มเลดโบรไมด์ (PbBr_2) ถูกเคลือบบนพื้นผิว FTO เป็นครั้งแรกโดยใช้เทคนิคการเคลือบแบบหมุนเหวี่ยง จึงเข้าสู่กระบวนการจุ่มซีเซียมโบรไมด์ (CsBr) ที่มุม 0 45 90 135 และ 180 องศา ตามลำดับ ใช้เวลาในการจุ่ม 20 นาที อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และเผาที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบว่าฟิล์มบางจะมีการเกิดระนาบของ CsPbBr_3 ตรงกันที่ (100) (110) และ (200) มีการจัดโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก โดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิง (JCPDS เลขที่ 00-018-0364) แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้มุมองศามากขึ้น ทำให้ความเข้มของสัญญาณการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของพีคสูงขึ้น การวิเคราะห์สมบัติทางสัณฐานวิทยาพื้นผิวและความหนาของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราดมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยสารมีการเกาะตัวกันเป็นขนาดเกรนแตกต่างกันและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเมื่อมีการเพิ่มมุมในการจุ่ม CsBr มากขึ้น มีช่องว่างของแถบพลังงาน 2.3 อิเล็กตรอนโวลต์ และมีค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (PCE) สูงสุดอยู่ที่ 2.04 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: การจุ่ม ซีเซียมโบรไมด์ เพอรอฟสไกต์โซลาร์เซลล์ ซีเซียมเลดโบรไมด์

ABSTRACT

Cesium lead bromide (CsPbBr_3) perovskite films were coated onto an F-SnO_2 (FTO) conductive substrate using a two-step method. In the first step, lead bromide films (PbBr_2) were coated onto the FTO substrate via a spin coating technique. In the second step, CsBr was dipped onto the lead bromide films at varying angles of 0° , 45° , 90° , 135° , and 180° at 50°C for 20 minutes, followed by annealing at 150°C . X-Ray Diffraction (XRD) analysis revealed that the thin films have (100), (110), and (200) planes of CsPbBr_3 , corresponding to monoclinic crystal structures that agree with the reference database (JCPDS, No. 00-018-0364). The intensity of the XRD signal at the peak increased with a greater degree of angle. The surface morphology and thickness of the CsPbBr_3 films were characterized using Scanning Electron Microscopy (SEM). Agglomeration of different grain sizes evenly distributed was observed as the dipping angle of CsPbBr_3 increased. The energy bandgap of the CsPbBr_3 films was about 2.3 eV. The highest power conversion efficiency of 2.04% was achieved.

Keywords: Dipping, Cesium Bromide, Perovskite solar cells, Cesium Lead Bromide

บทนำ

ปัจจุบันมีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งที่เป็นที่สนใจอย่างมาก คือ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์ (Perovskite solar cell) ในปี ค.ศ. 2018 นักวิจัยได้พัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างแบบ Perovskite ซึ่งให้ประสิทธิภาพถึง 28.0 เปอร์เซ็นต์ ได้รับการรับรองโดย National Renewable Energy Laboratory (NREL) ถือเป็นสถิติใหม่ในวงการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผลึกเดี่ยว (Chris Case. et al, 2019) ประกอบกับการมีข้อดีในการสังเคราะห์ที่ไม่ยุ่งยาก และกระบวนการสร้างมีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์ ยังมีความทนทานและความปลอดภัย ทำให้ทางนักวิจัยยังต้องมีการพัฒนาโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์ด้วยกระบวนการจุ่ม (Dip-coating) เป็นกระบวนการที่สำคัญในการสร้างชั้นฟิล์มของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์ (Jainjun Zhang et al, 2017) วิธีการจุ่มในการเตรียมชั้นไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) แบบบางมาก 5-50 นาโนเมตร ติดกับชั้นกระจกนำไฟฟ้าหลังจากไปรวมต่อกับชั้นอื่น ๆ จนเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์และ

PCE มากขึ้นกว่าแบบไม่มี TiO_2 จากเดิม 5.5 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มไปเป็นประมาณ 8.6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแทรกชั้น TiO_2 เข้าไป (Muhammad Masood et al, 2017) ในปีเดียวกันนั้นเอง Muhammad Adnan ได้ใช้เทคนิคการจุ่มสารละลายน้ำตะกั่วเข้าไปจุ่มในทุกชั้นของเพอรอฟสไกต์ เมื่อทุกลำดับชั้นในการจุ่มถูกควบคุมให้เป็นไปตามวิธี จะมีแผ่นฟิล์มที่มีประสิทธิภาพโดดเด่นที่สุดอยู่ที่ 12.41 เปอร์เซ็นต์ (Muhammad Adnan et al, 2018) ภายใต้ความเข้มแสงในเงื่อนไขปกติ (AM 1.5, 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) ในขั้นตอนการสร้างเพอรอฟสไกต์ ในช่วงการปลูกฟิล์ม CsBr นั้นจำเป็นต้องมีการใช้เทคนิคการจุ่มเพื่อให้เกิดเป็นชั้น CsPbBr_3 แต่การจุ่มนั้นมีการให้ความร้อน ดังนั้น ในแต่ละตำแหน่งจะมีความร้อนไม่เท่ากันและการวางกระจกสามารถวางได้อย่างเป็นอิสระ การจุ่มเตรียมฟิล์มเพอรอฟสไกต์ CsPbBr_3 บนชั้น TiO_2 วิธีการนี้ พบว่าช่วยยับยั้งการสลายตัวของชั้นฟิล์มสารตั้งต้นส่งผลให้เพอรอฟสไกต์ CsPbBr_3 มีเกรนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและมีคุณภาพสูง ฟิล์มหลังจากการจุ่มจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเพอรอฟสไกต์ CsPbBr_3 ในการสร้างชั้นฟิล์มของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์ และในการจุ่มจะใช้การจุ่มแบบคว่ำหน้าลง (faced-down-dipping) ซึ่งการจุ่มแบบนี้พบว่ามียอตรา PCE อยู่ที่ 5.86 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้การจุ่มสองวิธีคือการจุ่มแบบหงายหน้า (face-up) และการจุ่มแบบคว่ำหน้า (face-down) ในระหว่างกระบวนการจุ่มแบบหงายหน้าเราพบว่าฟิล์ม CsPbBr_3 นั้นง่ายต่อการย่อยสลายและฟิล์มสีเหลืองค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นไม่มีสีในเวลาอันสั้น ผลที่ได้หมายความว่าฟิล์มที่ได้จากการจุ่มแบบหงายหน้าขึ้นเป็นกระบวนการที่ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการสลายตัวของฟิล์มสารตั้งต้น (Pengpeng Teng et al, 2018) โดยกระบวนการจุ่มนั้นมีการให้ความร้อนซึ่งความร้อนในแต่ละตำแหน่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาของการจุ่ม (Dipping) ของ CsBr ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเพอรอฟสไกต์ CsPbBr_3 โดยใช้มุมในการจุ่มอยู่ที่ 0 45 90 135 และ 180 องศา ตามลำดับ เพื่อศึกษาการจุ่ม CsBr ที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ CsPbBr_3 และเพื่อศึกษาคูณสมบัติเฉพาะของเพอรอฟสไกต์ CsPbBr_3

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษามุมในการจุ่ม CsBr ที่มีผลต่อ CsPbBr_3 เพอรอฟสไกต์โซลาร์เซลล์
2. วิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ X-Ray Diffractometer (XRD) ศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของเพอรอฟสไกต์ CsPbBr_3 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) วิเคราะห์การดูดกลืนแสงของสาร (UV-Vis Spectrophotometer)
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ CsPbBr_3 ชนิดเพอรอฟสไกต์

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจุ่ม (Dipping) เป็นวิธีการหนึ่งของการประยุกต์ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางโดยอาศัยหลักการเคลือบสารละลายบนพื้นผิวอย่างช้า ๆ ซึ่งต้องมีการควบคุมความเร็วให้คงที่ เพื่อให้ผิวของวัสดุมีความเรียบสม่ำเสมอและความหนาของฟิล์มน้อย หากต้องการฟิล์มที่มีความหนาน้อยให้ใช้ความเร็วใน

การเคลือบแบบจุ่มเร็ว แต่ถ้าต้องการเคลือบแบบหนามากให้ใช้ความเร็วที่ช้าหรือจะทำการจุ่มหลาย ๆ ครั้งเพื่อเพิ่มความหนาให้กับฟิล์มได้ (เอกรัตน์ วงษ์แก้ว, 2557) เครื่อง SEM เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนปล่อยอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (primary electron) ออกมาอิเล็กตรอนเหล่านี้ถูกเร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าสูง (100 ถึง 30,000 อิเล็กตรอนโวลต์หรือมากกว่า) จากนั้นจะถูกดูดลงสู่ด้านล่างโดยแผ่นแอโนด (anode plate) ภายใต้ภาวะ ความดันสุญญากาศ 10^{-5} ถึง 10^{-7} ทอร์ (อัจฉราพร ศรีอ่อน, 2559) (X-ray diffractometer : XRD) เครื่องมือวิเคราะห์วัสดุขั้นพื้นฐานซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive analysis) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกการจัดเรียงตัวของอะตอมในโมเลกุลของสารประกอบต่าง ๆ ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของรังสีเอกซ์ (คันศนีย์ รักไทยเจริญชีพ, 2558) UV-Vis ใช้ในวิเคราะห์สาร โดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งเรียกว่า Spectrum (นเรศ โกฏทอง, 2556) เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีแสงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์สารกึ่งตัวนำจะทำหน้าที่ในการดูดกลืนแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสม พลังงานที่ดูดกลืนไปจะถูกนำไปใช้ในการกระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำ จากนั้นสนามไฟฟ้าภายในรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่ในการแยกคู่อิเล็กตรอน และโฮลออกจากกันเป็นประจุอิสระ ซึ่งประจุเหล่านี้จะสามารถเคลื่อนที่ผ่านชั้นของสารกึ่งตัวนำไปยังขั้วไฟฟ้าทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ (เอกพันธ์ ผัดศร, 2561) ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแสดงด้วยค่าต่าง ๆ ดังนี้ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit voltage, V_{oc}) เป็นแรงดันไฟฟ้า เมื่อความต้านทานของวงจรสูงสุดและกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์จุดที่กราฟตัดแกนกระแสไฟฟ้าคือความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit current, J_{sc}) เป็นกระแสไฟฟ้า เมื่อความต้านทานของวงจรต่ำสุดหรือเท่ากับศูนย์และแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าให้ P_{max} (Maximum power) และ J_{max} (Maximum current) คือกำลังไฟฟ้าสูงสุดและกระแสไฟฟ้าสูงสุดตามลำดับที่จะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ศุภาวรุ โลหะเวช, 2559)

$$\eta = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{P_{light}} \times 100\% \quad (1)$$

η คือประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ (เปอร์เซ็นต์) FF คือฟิลล์แฟกเตอร์(เปอร์เซ็นต์) P_{light} คือผลรวมของกำลังที่แผ่รังสีตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ (มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) I_{sc} คือค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) เมื่อทดสอบเซลล์ภายใต้เงื่อนไข Air Mass 1.5 (AM 1.5)

วิธีการดำเนินการวิจัย

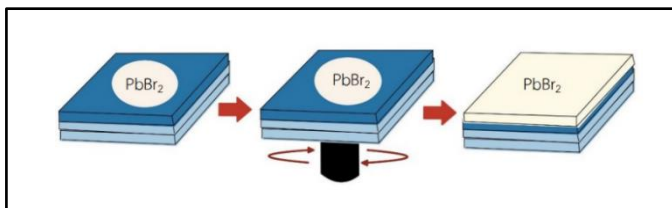
การสร้างโซลาร์เซลล์ชนิดเพอรอฟสไกต์โดยการเปลี่ยนมุมของการจุ่มของ CsBr ที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพของ CsPbBr₃ ในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์ มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้

เครื่องมือการวิจัย

1. ขั้นตอนการปลูกฟิล์มบางของ TiO₂ แบบหนาแน่น (TiO₂-Blocking Layer) เตรียม FTO ด้วยขนาด 2.0 x 2.0 ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำเอาระกจกที่ล้างแล้วทำการเคลือบสาร TiO₂-BL ลงบนผิวกระจก FTO วิธีการเคลือบแบบหมุน ด้วยเครื่อง Spin coater ตั้งค่าความเร็วในการหมุน 2 ครั้ง ครั้งแรก 2000 รอบต่อนาที ในเวลา 30 วินาที และครั้งที่สอง 4000 รอบต่อนาที ในเวลา 60 วินาที

2. ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มแบบมีรูพรุน TiO₂ (Mesoporous-TiO₂) นำเอาสาร TiO₂ paste (PST-18NP) จำนวน 1.654 กรัม มาเจือจางด้วยเอทานอล 6 มิลลิลิตรนำเอาวัสดุฐานรองที่เคลือบฟิล์ม TiO₂-Blocking Layer จากนั้นเคลือบฟิล์ม TiO₂ paste ด้วยวิธีการเคลือบแบบหมุน โดยตั้งค่าความเร็วในการหมุนเท่ากับ 4000 รอบต่อนาที ใช้เวลา 60 วินาที นำไปวางบน hot plate เพื่อทำให้แห้ง แล้วนำขึ้นเตาเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นปล่อยให้กระจกเย็นตามอุณหภูมิห้อง ก็จะได้ชั้นฟิล์มแบบมีรูพรุน

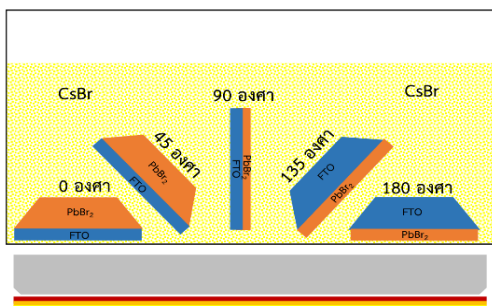
3. ขั้นตอนการปลูกฟิล์มบางของสาร PbBr₂ ทำการเคลือบฟิล์ม PbBr₂ ลงบนวัสดุฐานรอง Porous-TiO₂/TiO₂-BL/FTO ดังภาพประกอบ 1 ด้วยวิธีการเคลือบแบบหมุนด้วยเครื่อง Spin coater โดยนำชิ้นงานไปทำการสปินแบบ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก สปินที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 วินาที ขั้นตอนที่ 2 ใช้ความเร็วรอบการหมุนเป็น 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 วินาที จากนั้นนำขึ้นเตาเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นปล่อยให้กระจกเย็นตามอุณหภูมิห้อง



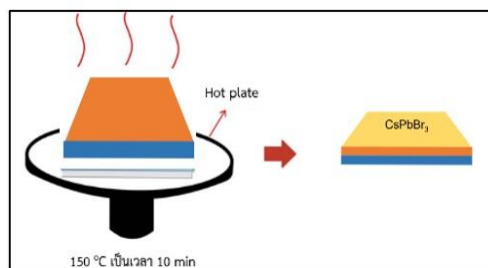
ภาพประกอบ 1 ภาพแสดงขั้นตอนการสปินสารของชั้น PbBr₂

4. ขั้นตอนการปลูกฟิล์มบางของสารเพอรอฟสไกต์ CsPbBr_3 เติริมสารละลาย CsBr ผสมกับ เมทานอล ความเข้มข้น 0.08 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นสารละลายในการปลูกฟิล์มของ สาร CsPbBr_3 นำสารละลาย CsBr ที่ได้วางบน hot plate โดยตั้งอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นำกระจกทำการเคลือบฟิล์ม PbBr_2 มาจุ่มลงในสารละลาย CsBr ที่มีอุปกรณ์สำหรับการวางได้อย่างเหมาะสมตามมุม 0 45 90 135 และ 180 องศา เป็นเวลา 20 นาที ดังภาพประกอบ 2(ก) นำมาเผาที่ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ดังภาพประกอบ 2(ข) จากนั้นปล่อยให้กระจกมี อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

(ก)



(ข)



ภาพประกอบ 2 (ก) ภาพแสดงขั้นตอนการจุ่มในเจือจางของมุมองศาต่าง ๆ

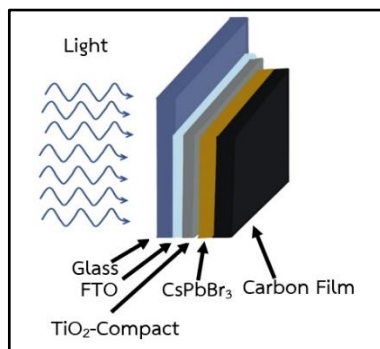
(ข) การเผาชั้น CsPbBr_3 ด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที

5. การทำขั้วแคโทดอีเล็กโทรด นำเอาสารคาร์บอนแบล็คจำนวน 5 กรัม ผสมกับสาร Poly Vinyl acetate (PVAc) จะละลายในตัวทำละลาย Ethyl acetate ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ผสมไปละลายในตัวทำละลาย Chlorobenzene ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$) ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ผสมคาร์บอนแบล็ค มาเคลือบลงบนชั้นฟิล์มเพอรอฟสไกต์ CsPbBr_3 ปล่อยให้แห้ง จากนั้นการปิดผนึกเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดเพอรอฟสไกต์ นำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้มาทำขั้วไฟฟ้าด้วยการบัดกรี หลังจากนั้นทำการปิดผนึก เซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อป้องกันไม่ให้ชั้นฟิล์มเพอรอฟสไกต์ทำปฏิกิริยากับอากาศและความชื้น โดยปิด ผนึกดังภาพประกอบ 3(ก) และโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ CsPbBr_3 ชนิดเพอรอฟสไกต์ ดังภาพประกอบ 3(ข)

(ก)



(ข)



ภาพประกอบ 3 (ก) ภาพแสดงแผ่นฟิล์มหลังการปาดคาร์บอนแบล็คโดยการทำขั้วไฟฟ้า

(ข) โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์CsPbBr₃ชนิดเพอรอฟสไกต์

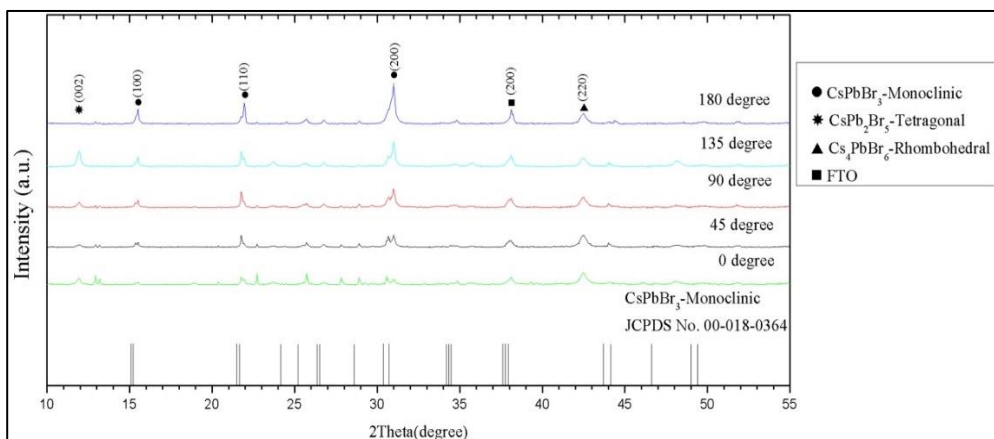
การวิเคราะห์ข้อมูล

ศึกษาผลของการเพิ่มประสิทธิภาพ CsPbBr₃ เพอรอฟสไกต์ที่มีคาร์บอนแบล็คเป็นขั้วแคโทดรีเอ็กทีฟ โดยศึกษาผลของการเพิ่ม CsBr ที่ 0 45 90 135 และ 180 องศาตามลำดับ ผลการตรวจสอบเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ชนิด CsPbBr₃ ด้วยเทคนิค XRD ,SEM ,UV-vis และ Solar simulator ได้ผลดังนี้

ผลการวิจัย

1. สมบัติทางโครงสร้างการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์ม CsPbBr₃ เพอรอฟสไกต์โซลาร์เซลล์

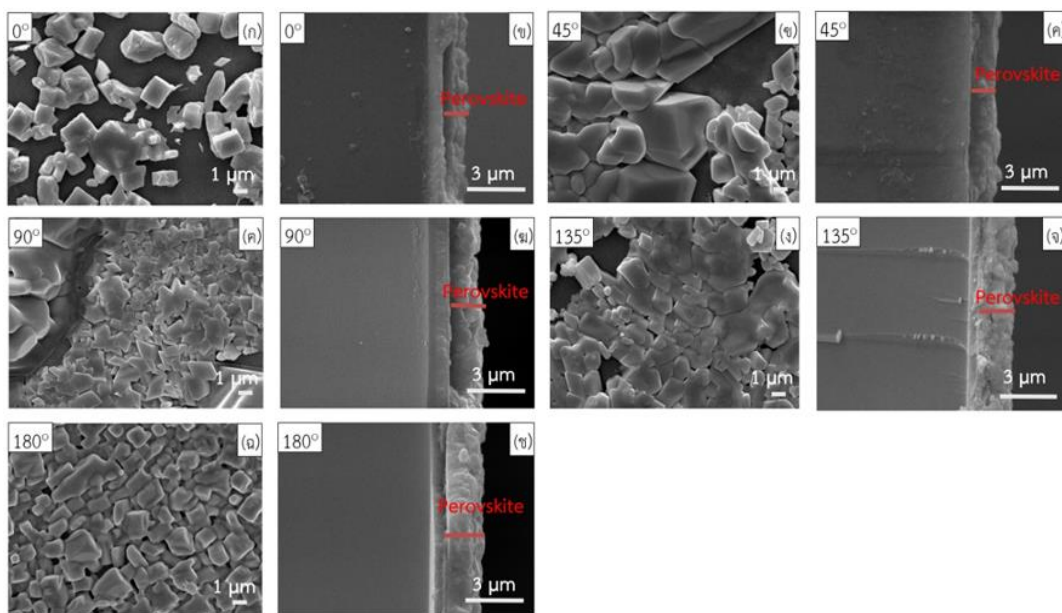
ผลจากการเพิ่ม CsBr ที่ 0 45 90 135 และ 180 องศา ดังภาพประกอบ 4 พบว่าฟิล์มบางจะมีการเกิดระนาบของ CsPbBr₃ ตรงกันที่ (100) (110) และ (200) ที่มีการจัดโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก (Monoclinic) โดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิง (JCPDS เลขที่ 00-018-0364) ที่มุม 2Theta ประมาณ 15.16 21.58 และ 30.67 องศา พบว่าฟิล์มที่เพิ่ม CsBr มุม 180 องศา อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จะสังเกตเห็นว่าความสูงของพีคมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามมุมองศาที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่อเพิ่มมุมองศามากขึ้นทำให้ความเข้มของสัญญาณการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (intensity) ของพีคสูงขึ้นและฟิล์มมีความเป็นผลึกสูงส่งผลต่อโครงสร้างผลึกและการเพิ่มด้วย CsBr ในมุมองศาที่น้อยลงมีผลต่อความเป็นผลึกของฟิล์มบางที่ลดลง ค่าขนาดผลึก (crystallite size) อยู่ในระดับนาโนเมตร



ภาพประกอบ 4 แสดงภาพการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์ม CsPbBr_3 เพอรอฟสไกต์โซลาร์เซลล์
ใช้มุมในการจุ่ม CsBr ที่ 0 45 90 135 และ 180 องศา

2. สมบัติทางสัณฐานวิทยาของฟิล์ม CsPbBr_3 ชนิดเพอรอฟสไกต์โซลาร์เซลล์

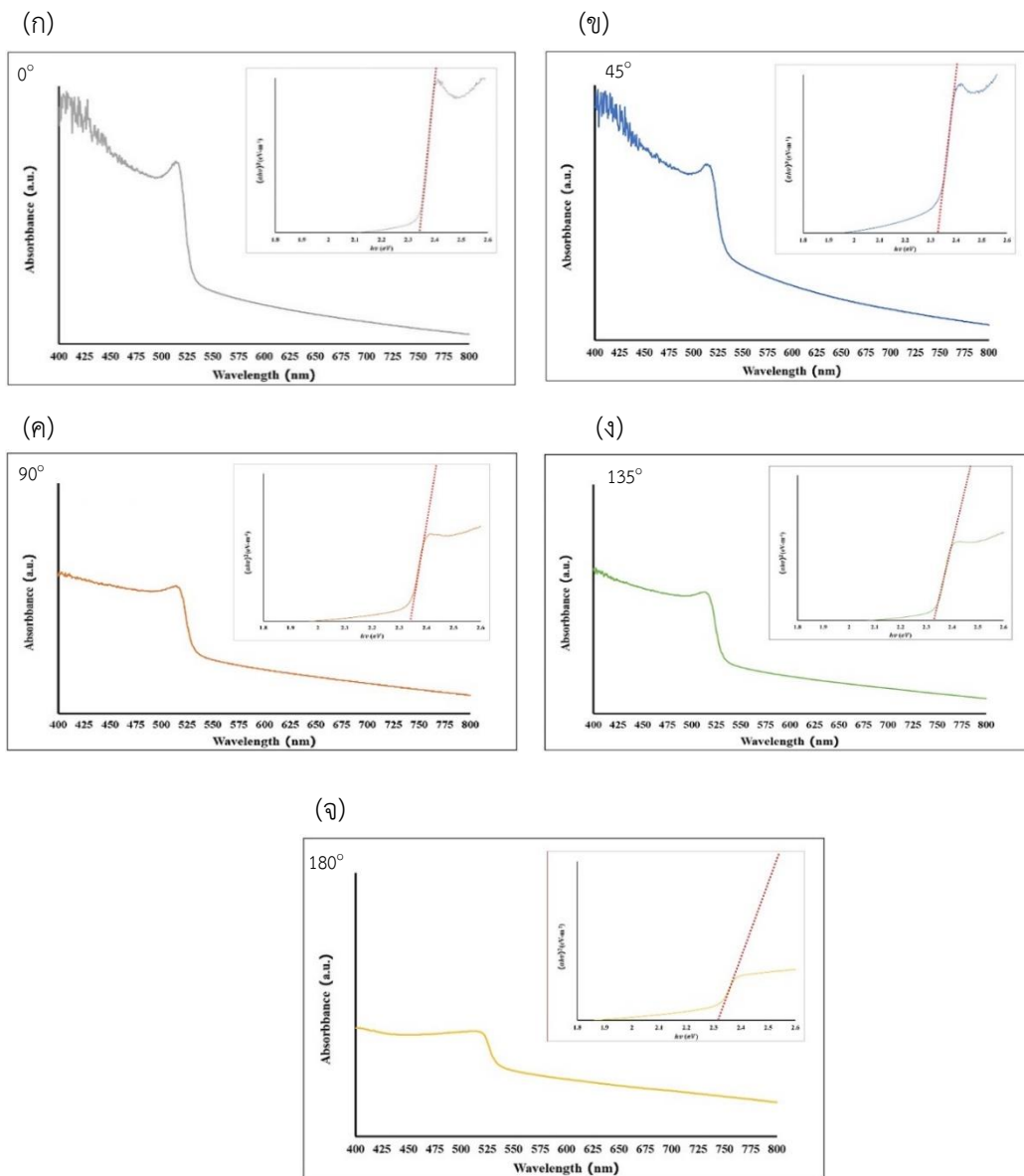
ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดผลที่ได้แสดงในภาพประกอบ 5 ซึ่งถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่ามีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม สารเกาะตัวกันเป็นขนาดเกรน (grain size) แตกต่างกันไป และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเมื่อมีการเพิ่มมุมในการจุ่ม CsBr มากขึ้น โดยตัวอย่างที่ 1 มุมในการจุ่ม CsBr ที่ 0 องศา มีขนาดใหญ่มากประมาณ 3.8 ไมโครเมตร และมีขนาดเล็กสุดประมาณ 0.25 ไมโครเมตร หนาประมาณ 1.1-1.3 ไมโครเมตร เนื่องจากการสลายตัวของผิวชั้นเพอรอฟสไกต์ ทำให้อัตราการเคลือบฟิล์มลดลง ซึ่งส่งผลต่อขนาดเกรนและความหนาของฟิล์มที่เคลือบลดลงด้วย ดังภาพประกอบ 5(ก-ข) ส่วนตัวอย่างที่ 5 มุมในการจุ่ม CsBr ที่ 180 องศา มีขนาดใหญ่มากประมาณ 5.5 ไมโครเมตรและมีขนาดเล็กสุดประมาณ 0.77 ไมโครเมตร หนาประมาณ 1.6-1.8 ไมโครเมตร โดยมีการเรียงตัวของขนาดเกรนที่หนาแน่น เรียบ และมีขนาดเกรนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ จึงให้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด ดังภาพประกอบ 5(ฉ-ช) เพราะว่ามีมุมในการจุ่ม 180 องศา มีการจำกัดพื้นที่ของเหลวที่เหมาะสมและความร้อนในการจุ่ม CsBr ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีการเคลื่อนที่จากล่างขึ้นสู่ด้านบน ส่งผลให้ฟิล์ม CsPbBr_3 เพอรอฟสไกต์มีความสมบูรณ์ค่อนข้างสูง ส่วนฟิล์มเพอรอฟสไกต์ชนิด CsPbBr_3 ตัวอย่างที่ 4 มุมในการจุ่ม CsBr มุม 135 องศา มีการเรียงตัวของขนาดเกรนหนาแน่นน้อยกว่าตัวอย่างที่ 5 มุมในการจุ่ม CsBr มุม 180 องศา ดังภาพประกอบ 5(ง-จ) และตัวอย่างที่ 3, 2 และ 1 มุมในการจุ่ม CsBr มุม 90 45 และ 0 องศา ดังภาพประกอบ 5(ก-ฉ) มีเกรนที่ค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ



ภาพประกอบ 5 ภาพถ่าย (ก) (ข) (ค) (ง) (ฉ) พื้นผิวและ (ช) (ค) (ฆ) (จ) (ช) ความหนาของฟิล์ม CsPbBr_3 ชนิดเพอรอฟสไกต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มุมในการจุ่ม CsBr ที่ 0 45 90 135 และ 180 องศา ตามลำดับ

3. สมบัติทางแสงค่าดูดกลืนแสงบนช่วงความยาวคลื่นและช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (E_g) ของสารเพอรอฟสไกต์ชนิด CsPbBr_3 ที่มุมในการจุ่มของ CsBr 180 องศา

จะเห็นว่าแผ่นฟิล์มชนิด CsPbBr_3 เพอรอฟสไกต์ที่จุ่มด้วย CsBr ทำมุม 180 องศา มีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุดอยู่ที่ความยาวคลื่นประมาณ 527 นาโนเมตรดังภาพประกอบ 6(ก-จ) และค่าช่องว่างระหว่างพลังงานอยู่ที่ประมาณ 2.3 อิเล็กตรอนโวลต์ซึ่งสอดคล้องกับหลักการช่วงแถบช่องว่างระหว่างพลังงานของ CsPbBr_3 อยู่ในช่วง 1.9-3.0 อิเล็กตรอนโวลต์ และมีการดูดกลืนแสงในช่วงที่ตามองเห็นได้ อยู่ระหว่าง 400-700 นาโนเมตร



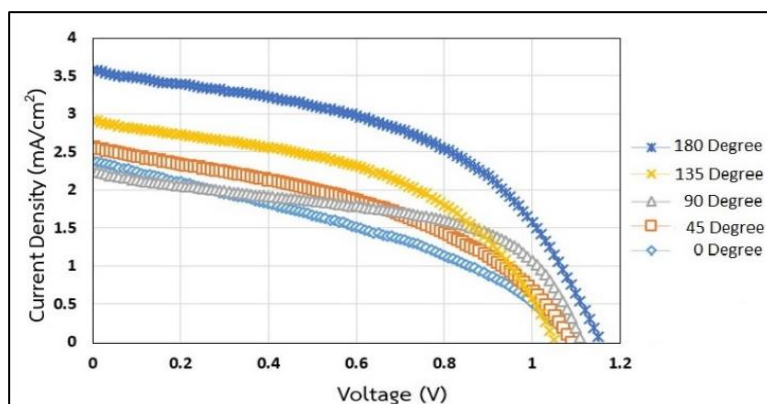
ภาพประกอบ 6 (ก-จ) ภาพแสดงค่าดูดกลืนแสงบนช่วงความยาวคลื่นของสาร CsPbBr_3 เพอร์อฟสไกต์ และภาพแสดงค่าช่องว่างระหว่างแถบพลังงานของมุมในการจุ่ม CsBr ที่ 0 45 90 135 และ 180 องศา ตามลำดับ

4. ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของฟิล์มเพอรอฟสไกต์ชนิด CsPbBr_3 มุมในการจุ่ม CsBr ในเงื่อนไขต่าง ๆ

ตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์ของการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของฟิล์ม CsPbBr_3 เพอรอฟสไกต์โซลาร์เซลล์

Dipping angle (Degree)	I_{sc} (mA)	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF (%)	Efficiency (%)
0	2.14	2.39	1.09	0.36	0.95
45	2.31	2.57	1.09	0.42	1.18
90	2.01	2.24	1.11	0.52	1.30
135	2.62	2.91	1.05	0.48	1.48
180	3.21	3.58	1.16	0.49	2.04

มุมของการจุ่ม CsBr 180 องศา ได้ค่ากระแส 3.21 มิลลิแอมแปร์ ความหนาแน่นกระแส 3.58 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.16 โวลต์ Fill Factor 0.49 เปอร์เซนต์และประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า 2.04 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในตาราง 1 จะเห็นว่าแนวโน้มของค่าการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าจากมุมในการจุ่ม 0 องศาไปถึง 180 องศา แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของเพอรอฟสไกต์ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มองศาของมุมในการจุ่ม และมุมในการจุ่ม CsBr ที่ดีที่สุดคือมุม 180 องศา เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นด้วยแสง มีการเคลื่อนที่จากระดับพลังงานที่สูงไปยังระดับพลังงานที่ต่ำได้อย่างเหมาะสม



ภาพประกอบ 7 กราฟ J-V แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้า

พบว่า V_{oc} และ J_{sc} มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนมุมในการจุ่มที่มีมุมมากขึ้นดังภาพประกอบ 7 เนื่องจากฟิล์ม $CsPbBr_3$ เพอรอฟสไกต์โซลาร์เซลล์ที่มีการดูดกลืนแสงได้เหมาะสมทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในระบบเซลล์ได้ดี จะเห็นได้ว่ามุมในการจุ่ม $CsBr$ ที่ 0 องศา มีค่า V_{oc} และ J_{sc} มีค่าต่ำที่สุดและมุมในการจุ่ม $CsBr$ ที่ 180 องศา มีค่า V_{oc} และ J_{sc} มีค่าสูงที่สุด V_{oc} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.16 โวลต์ และ J_{sc} มีค่าเท่ากับ 3.58 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษามุมในการจุ่ม $CsBr$ ที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพ $CsPbBr_3$ เพอรอฟสไกต์ที่มีคาร์บอนแบล็คเป็นขั้วแคโทดอิเล็กโทรด โดยใช้มุมในการจุ่มอยู่ที่ 0 45 90 135 และ 180 องศาตามลำดับ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ พบว่าฟิล์มบางจะมีการเกิดระนาบของ $CsPbBr_3$ ตรงกันที่ (100) (110) และ (200) ที่มีการจัดโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก โดยเปรียบเทียบกับจากฐานข้อมูลอ้างอิง (JCPDS เลขที่ 00-018-0364) ที่มุม 2Theta ประมาณ 15.16 21.58 และ 30.67 องศา โดยฟิล์มที่จุ่ม $CsBr$ มุม 180 องศา แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้มุมจุ่มมากขึ้น ทำให้ความเข้มของสัญญาณการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิสิกส์สูงขึ้น ฟิล์มมีความเป็นผลึกสูงส่งผลต่อโครงสร้างผลึก และฟิล์มบางที่จุ่มด้วย $CsBr$ ในมุมองศาที่น้อยลง มีผลต่อความเป็นเกรนของฟิล์มบางที่ลดลง ค่าขนาดเกรนอยู่ในระดับนาโนเมตร การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่ามีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยสารมีการเกาะตัวกันเป็นขนาดเกรนแตกต่างกัน และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เมื่อมีการเพิ่มมุมในการจุ่ม $CsBr$ มากขึ้น มุมในการจุ่ม $CsBr$ 180 องศา มีขนาดใหญ่ที่สุดประมาณ 5.5 ไมโครเมตร และมีขนาดเล็กสุดประมาณ 0.77 ไมโครเมตร หนาประมาณ 1.6-1.8 ไมโครเมตร โดยมีการเรียงตัวของเกรนที่หนาแน่นเรียบและมีขนาดเกรนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยมุม 135 90 45 และ 0 องศาในการจุ่ม $CsBr$ จะมีเกรนที่ค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ ซึ่ง $CsPbBr_3$ เพอรอฟสไกต์ที่จุ่มด้วย $CsBr$ ที่มุม 180 องศา มีค่าช่องว่างแถบพลังงานเท่ากับ 2.3 อิเล็กตรอนโวลต์ และมีค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานสูงสุดอยู่ที่ 2.04 เปอร์เซ็นต์

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาอัตราการเพิ่มสารอื่น ๆ ที่ช่วยให้ประสิทธิภาพของ $CsPbBr_3$ เพอรอฟสไกต์มีค่าสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- คฑาวุธ โลหะเวช. (2559). การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงด้วยอนุภาคนาโนซิงค์แคดเมียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์โดยวิธีสะอาด. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.
- นเรศ โกฎทอง. (2556). การตรวจพิสูจน์เขม่าป็นบนเส้นผมโดยเทคนิค UV-Visible Spectroscopy. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- คันศนีย์ รักไทยเจริญชีพ. (2558). ประโยชน์จากเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) ในงานทดสอบวัสดุดิบและผลิตภัณฑ์. *กรมวิทยาศาสตร์*, 63(197), 38-40.
- เอกพันธ์ ผัดศรี. (2561). วิเคราะห์ประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 300 kW. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เอกรัตน์ วงษ์แก้ว. (2557). การสังเคราะห์ฟิล์มโลหะออกไซด์ผสมเพื่อคุณสมบัติการกระตุ้นด้วยแสงสำหรับใช้ในงานกระจกไร้คราบ. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.
- อัจฉราพร ศรีอ่อน. (2559). หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง. *ห้องปฏิบัติการวัสดุทางการแพทย์หน่วยวิจัยวิศวกรรมชีวการแพทย์, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ*, 81, 77-80.
- Chris, C., Nicola, B. and Daniel, K. (2019). Industrial Insights into Perovskite Photovoltaics. *ACS Energy Lett*, 4(11), 2760–2762.
- Jainjun, Z., Like, Huang, C.L., Xiaoxiang, S., Rui. X., Yangyang, D., Jian, N., Hongkun, C., Juan, L., Ziyang, H. and Jianjun, Z. (2017). Efficient and hysteresis-less pseudo-planar heterojunction perovskite solar cells fabricated by a facile and solution-saving one-step dip-coating method. *Journal of Organic Electronics*, (40), 13-23.
- Muhammad, T.M., Christian, W., Jawad, S., Emil, R., Simon, S., Oskar, J.S., Paola, V., Ghufuran, H., Peter, D.L., Ronald, Ö. & Jan-Henrik, S. (2017). Impact of Film Thickness of Ultrathin Dip-Coated Compact TiO₂ Layers on the Performance of Mesoscopic Perovskite Solar Cells. *Journal of ACS Appl, Mater, Interfaces*, 9(21), 17906-17913.
- Pengpeng, T., Xiaopeng, H., Jiawei, L., Ya, X., Lei, K., Yangrunqian, W., Ying, Y. & Tao, Y. (2018). Elegant Face-Down Liquid-Space-Restricted Deposition

of CsPbBr₃ Films for Efficient Carbon-Based All-Inorganic Planar Perovskite Solar Cells. *Journal of ACS Appl. Mater. Interfaces*, 10(11), 9541-9546.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่เหลวสมุนไพรจากสารสกัดหยาบกลุ่มมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน
Development of herbal liquid soap from *Areca catechu* L. extract
toward the community product standard.

สุภาพร วิสูงเร¹ เสาวภา ชูมณี² กัญญารัตน์ เตือนหงาย¹ ศุมาลิน ดีจันทร์¹ ผกามาศ ประระทั้ง¹
นวรรตน์ มีชัย¹ ศิริกุล กล่ำกุล³ และ นันธิยะ ศรีแก้ว⁴

Supaporn Wisungre^{1*}, Saowapa Chumanee², Kanyarat Duenngai¹, Sumalin Deechan¹,
Pakamas Paratang¹, Navarat Mechai¹, Sirikool klumkool³ and Nunthiya Srikaew⁴

สาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์¹

Department of Thai Traditional Medicine, Faculty of Science and Technology,

Phetchabun Rajabhat University¹

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์²

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University²

สำนักวิชาการแพทย์บูรณาการ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง³

School of Integrative Medicine, Mae Fah Luang University, Chiang Rai³

วิทยาลัยแพทยศาสตร์นานาชาติจุฬาภรณ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์⁴

Chulabhorn International College of Medicine, Thammasat University⁴

Email: supaporn.w@pcru.ac.th

Received : November 17, 2022

Revised : May 30, 2023

Accepted : June 2, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากหยาบ พัฒนาสูตรกรรมวิธีการผลิต ต้นแบบผลิตภัณฑ์ การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสบู่เหลวสมุนไพรตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลการวิจัยพบว่า การสกัดผลหยาบสดด้วยเอทานอล (95% EtOH) มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลเข้มอมแดง มีกลิ่นเฉพาะ คำนวณ %yield เท่ากับ 2.88% สารสกัดเมล็ดหยาบแห้งมีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลเข้มอมแดง ไม่มีกลิ่น คำนวณ %yield เท่ากับ 3.24% การสกัดผลหยาบสดด้วยโพรไพลีนไกลคอล (Propylene glycol) มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลแดง สารสกัดเมล็ดหยาบแห้งเป็นของเหลวสีน้ำตาลแดงเข้ม การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เทียบกับสารมาตรฐานวิตามินซี สามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50% (ค่า SC₅₀) พบว่าสารสกัดเมล็ดหยาบแห้งด้วยเอทานอล มีค่าดีที่สุด SC₅₀ เท่ากับ 0.03±0.00 การพัฒนาด้านแบบผลิตภัณฑ์สบู่

เหลวผสมสมุนไพร โดยใช้สารสกัดเมล็ดหมากแห้งด้วยเอทานอลเป็นสาระสำคัญ และสารสกัดจากแก่นฝางเป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสบู่เหลวผสมสมุนไพร ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มอก.เอส 14-2561 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 การทดสอบต่างอิสระ ไม่พบต่างอิสระ มีค่าสารที่ไม่ละลายในเอทานอล ร้อยละ 0.31 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมด ร้อยละโดยมวล 2.54 และนำองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยไปถ่ายทอดสู่ชุมชนต่อไป

คำสำคัญ: สบู่เหลวผสมสมุนไพร สารสกัดหมาก ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

ABSTRACT

This research investigated the antioxidative activity of *Areca catechu* L., developed formulations, production processes, product prototypes, and analyzed the physical and chemical properties of herbal liquid soaps towards the community product standard. Ethanolic extracts were prepared from fresh fruits and dried seeds of *A. catechu* L. The crude extracts were dark reddish brown in color, had a characteristic smell, and had yields of 2.88% and 3.24%, respectively. Propylene glycol extracts were also prepared from fresh fruits and dried seeds of *A. catechu* L., and the resulting liquids were reddish brown and dark reddish brown, respectively. The antioxidant activity of the extracts was evaluated using the DPPH assay, with vitamin C as a reference standard. The ethanolic extract from dried seeds of *A. catechu* L. exhibited the highest antioxidant activity, with a 50% scavenging concentration (SC50) value of 0.03 ± 0.00 . A prototype herbal liquid soap product was developed using the ethanolic extract from dried seeds of *A. catechu* L. as the active ingredient and wood (*Caesalpinia sappan* L.) extract as the solvent. The physical and chemical properties of the product prototype were tested according to THAI SMEs STANDARD 14-2561. The results showed that the product had a pH of 5, no total alkali, an ethanol insoluble content of 0.31%, and a total fatty matter content of 2.54%. The findings of this research contribute to the development of herbal liquid soaps with antioxidant activity and meet the community product standard. The knowledge and technology generated from this research can be transferred to the community in the future.

Keywords: Herbal liquid soaps, *Areca catechu* L. extract, antioxidative activity, community product standard

บทนำ

การใช้สมุนไพรในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง มีรูปแบบ วิธีการ และประโยชน์แตกต่างกัน ยกตัวอย่าง เช่น ดอกมะลิ ดอกกุหลาบ ชิง ช่วยทำให้เกิดกลิ่นหอม แต่งกว่า มะเฟือง น้ำผึ้ง ช่วยบำรุงและทำความสะอาดผิว วานหางจระเข้ มะกรูด อัญชัน ช่วยบำรุงและทำความสะอาดเส้นผม เป็นต้น วัตถุประสงค์ของการผสมสมุนไพรในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางไม่ได้แตกต่างจากการผสมสารเคมีในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เนื่องจากสมุนไพรประกอบด้วยสารสำคัญ ซึ่งอาจเหมือนหรือคล้ายคลึงกับสารเคมีสังเคราะห์ ดังนั้น การใช้สมุนไพรผสมในเครื่องสำอางในรูปแบบผงแห้ง สารสกัด และน้ำมันหอมระเหย ไม่แตกต่างหรือเหมือนกับการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผสมสารเคมี (วันชัย ศรีวิบูลย์และคณะ, 2547)

สบู่เหลวผสมสมุนไพร (herbal liquid soap) จัดเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง มีลักษณะเป็นของเหลว ประกอบด้วย สารลดแรงตึงผิว ใช้กับร่างกายเพื่อขจัดสิ่งสกปรกออกจากผิวหนัง ผสมสารสกัดจากสมุนไพร เช่น วานหางจระเข้ มะขาม และขมิ้นชัน เป็นต้น (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2561) นอกจากจะมีคุณสมบัติการทำความสะอาดแล้ว ยังสามารถปรับสภาพผิวช่วยให้ผิวอ่อนนุ่มได้อีกด้วย จากรายงานการวิจัยการใช้สมุนไพรผสมในสบู่เหลว พบว่ามีการใช้สมุนไพรหลายชนิด เช่น วานหางจระเข้ ฝรั่ง แครอท ขมิ้นชัน ดอกอัญชัน เป็นต้น (ธเนศวร นวลไย, 2559) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการใช้สารสกัดจากหมากสงหรือหมาก (*Areca catechu* L.) เพื่อใช้ในสบู่เหลวผสมสมุนไพร สารสำคัญจากหมากประกอบด้วย แอลคาลอยด์ แทนนิน ฟลาโวนอยด์ ไตรเทอพีน สเตอรอล และกรดไขมัน ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านปรสิต์ ต้านแบคทีเรียและเชื้อรา ต้านการอักเสบและแก้ปวด ต้านการแพ้ (Wei Peng, etc., 2015: 340-356) นอกจากนี้มีฤทธิ์ด้านความดันโลหิต คลายเครียด ต้านการชัก ต้านการเกิดริ้วรอย (M. Senthil Amudhan, V Hazeena Begum and K. B. Hebbar, 2012: 4151-4157) อีกทั้งเป็นพืชท้องถิ่นที่พบมากในชุมชนบ้านท่าช้าง ตำบลห้วยไร่ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ และส่งเสริมการพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ของชุมชนต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากหมาก
2. เพื่อพัฒนาสูตร กรรมวิธีการผลิต และต้นแบบผลิตภัณฑ์สบู่เหลวผสมสมุนไพร
3. เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของสบู่เหลวผสมสมุนไพรตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การสกัดสารสำคัญจากหมาก

การสกัดสารสำคัญจากหมากสดและหมากแห้งด้วยเอทานอล และโพรไพสไลน์ไกลคอล โดยมีอัตราส่วนดังนี้

1.1 การสกัดเมล็ดหมากแห้งด้วยเอทานอล โดยใช้อัตราส่วนหมากแห้ง 350 กรัม ต่อเอทานอล 2 ลิตร หมักนาน 7 วัน แล้วกรอง นำไปทำแห้งด้วยกระบวนการ Lyophilization ด้วยเครื่อง Freeze dry แล้วนำสารสกัดมาคำนวณร้อยละผลผลิตของสารสกัด (% yield of dry weight)

1.2 การสกัดหมากด้วยโพรไพสไลน์ไกลคอล โดยใช้อัตราส่วน หมากสด 1 กิโลกรัม ต่อโพรไพสไลน์ไกลคอล 1 ลิตร และใช้อัตราส่วนหมากแห้ง 350 กรัม ต่อโพรไพสไลน์ไกลคอล 2 ลิตร หมักนาน 7 วัน แล้วกรอง

2. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากหมาก

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เทียบกับสารมาตรฐานคือ วิตามินซี โดยละลายตัวอย่างสารสกัดหมากสดและสารสกัดหมากแห้งด้วยเอทานอล ด้วย 99.98% v/v เอทานอล ให้มีความเข้มข้น 0.001, 0.01, 0.1, 1 mg/ml ตามลำดับ และละลายสารสกัดหมากสดและสารสกัดหมากแห้งด้วยโพรไพสไลน์ไกลคอล ด้วย 99.98% v/v เอทานอล ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.1, 1, 10 และ 100 mg/ml ตามลำดับ แล้วทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical ในไมโครเวลล์เพลท คำนวณค่าความเข้มข้นที่สามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50% (ค่า SC_{50}) บันทึกผลการทดลองตามภาพประกอบ 1-5

3. การพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์สบู่เหลวจากสารสกัดหมาก

การพัฒนาดังกล่าวผลิตภัณฑ์สบู่เหลวจากหมาก ประกอบด้วย สารสกัดหมากแห้งด้วยเอทานอล (Active Ingredients) ตัวทำละลายจากสารสกัดผง (โดยใช้แกนผงจำนวน 500 กรัม น้ำสะอาดจำนวน 1.5 ลิตร ต้มประมาณ 45 นาที แล้วกรอง) สารลดแรงตึงผิว สารให้ความชุ่มชื้น สารปรับความหนืด น้ำหอม และสารกันเสีย อัตราส่วนที่ใช้ตามตารางที่ 2

4. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสบู่เหลว

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสบู่เหลว ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมเอส.มอก.เอส 14-2561 สบู่เหลวผสมสมุนไพร (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2561) ดังนี้

4.1 ลักษณะทั่วไป ต้องเป็นของเหลวเนื้อเดียวกัน ไม่แยกชั้น อาจมีกลิ่นหอม สีสม่ำเสมอ ไม่มีสิ่งแปลกปลอม การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจและการดม

4.2 ความเป็นกรด-ด่าง ใช้สารละลายยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ที่อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมเอส 14-2562 กำหนดความเป็นกรด-ด่างของสบู่เหลวให้อยู่ระหว่าง 8 ถึง 11 และสบู่เหลวผสม อยู่ระหว่าง 4 ถึง 8

4.3 การทดสอบต่างอิสระ ชั่งตัวอย่างที่แน่นอน 5 กรัม (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 95% เอทานอล 100 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนพร้อมปิดด้วยกระจกนาฬิกา พอสารละลายใกล้เดือดให้ยกลงมาแล้วเติม 0.1% ฟีนอล์ฟทาลีน 0.5 มิลลิลิตร จากนั้นสังเกตสี ถ้าเติม 0.1% ฟีนอล์ฟทาลีน 0.5 มิลลิลิตร ลงไปในสารละลายแล้วไม่เปลี่ยนเป็นสีชมพู ให้รายงานผลว่า “ไม่พบต่างอิสระ” แต่ถ้าสีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูให้นำสารละลายที่เปลี่ยนเป็นสีชมพูไปไทเทรตกับ 0.05 โมลาร์ กรดไฮโดรคลอริก พร้อมจดปริมาตรในการไทเทรต แล้วนำไปคำนวณตามสูตรดังนี้

$$\text{ต่างอิสระ (คำนวณเป็น NaOH) ร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{c \times V \times 4}{m}$$

เมื่อ c คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก
หน่วยโมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

V คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้
ไทเทรต หน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร

m คือ มวลของตัวอย่าง หน่วยกรัม

4.4 การวิเคราะห์สารที่ไม่ละลายในเอทานอล ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน 5 กรัม (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ลงในขวดก้นกลม เติม 95% เอทานอล 200 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ใส่เม็ดแม่เหล็กลงไป จากนั้นนำไปทำการรีฟลักซ์ เมื่อสารละลายใกล้เดือดเปิด Magnetic stirrer เพื่อกวนไม่ให้สารที่ไม่ละลายในเอทานอลติดตรงก้นขวด ชั่งน้ำหนักกระดาชกรอง นำสารที่ได้มากรองผ่านกระดาชกรองเบอร์ 43 และนำสารที่ไม่ละลายในเอทานอลไปอบที่ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก นำไปคำนวณตามสูตร ดังนี้

$$\text{สารที่ไม่ละลายในเอทานอล} = \frac{m}{m_0} \times 100$$

เมื่อ m คือ น้ำหนักเฉลี่ยของสารที่ไม่ละลายในเอทานอล

m_0 คือ น้ำหนักเฉลี่ยของตัวอย่างสุญญากาศ

4.5 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมด ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน 5.00 กรัม (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ลงในกรวยสกัดขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำร้อน 100 มิลลิลิตร หยดเมทิลออเรนจ์ 2-3 หยด ตามด้วย 1 นอเมอร์ลกรดซัลฟูริกหรือกรดไฮโดรคลอริก 5 มิลลิลิตร เขย่าเล็กน้อย ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ 100 มิลลิลิตร เขย่าเพื่อให้เกิดการแยกชั้นของสารละลายและชั้นของน้ำ เมื่อได้ชั้นของสารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์กับชั้นของน้ำแล้ว (ชั้นบนเป็นปิโตรเลียมอีเทอร์และชั้นล่าง

เป็นน้ำ) ให้นำชั้นน้ำมาสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง ด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ 50 มิลลิลิตร เมื่อสกัดได้ชั้นของปิโตรเลียมอีเทอร์แล้ว นำมาเขย่าล้างด้วยน้ำ (ประมาณ 25 มิลลิลิตร) เพื่อให้เป็นกลาง แล้วหยดเมทิลออเรนจ์ลงไป ไขชั้นน้ำทิ้ง (ในขั้นตอนนี้ต้องระมัดระวังอย่างให้ชั้นปิโตรเลียมมีน้ำอยู่) นำชั้นปิโตรเลียมไปกรอง จากนั้นนำไประเหยที่อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิจนเกือบแห้ง ทิ้งให้เย็นโดยใช้แก๊สไนโตรเจนไล่เบา ๆ หรือทิ้งไว้ในอากาศ นำตัวอย่างมาละลายด้วย 95% เอทานอล 20 มิลลิลิตร หยด 2-3 หยด 0.1% ฟีนอล์ฟทาลีน นำไปไทเทรตด้วยสารละลายเอทานอลิก โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ไทเทรตจากสีเหลืองอ่อน ๆ เป็นสีชมพูจุดปริมาตรในการไทเทรต ไทเทรตเสร็จแล้วนำไประเหยสารละลายเอทานอลิกออกด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิจนเกือบแห้ง (ขั้นตอนนี้จะมีส่วนของโพแทสเซียมอยู่) เติม 10 มิลลิลิตร อะซิโตน นำระเหยสารละลายอะซิโตนออกด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิจนเกือบแห้ง ทิ้งให้เย็นโดยใช้แก๊สไนโตรเจนไล่เบา ๆ หรือทิ้งไว้ในอากาศ นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ถ้ายังไม่แห้งให้อบต่ออีก 15 นาที) ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และนำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณไขมันทั้งหมด} = [m_1 - (V \times T \times 0.038)] \times \frac{100}{m_0}$$

เมื่อ m_0 คือ น้ำหนักของตัวอย่าง หน่วยกรัม
 m_1 คือ น้ำหนักแห้งของสุบโพแทสเซียม หน่วยกรัม
 V คือ ปริมาตรในการไทเทรต หน่วยมิลลิลิตร
 T คือ ความเข้มข้นในหน่วยนอมอร์ล

ผลการวิจัย

1. ผลการสกัดสารสำคัญจากหมาก

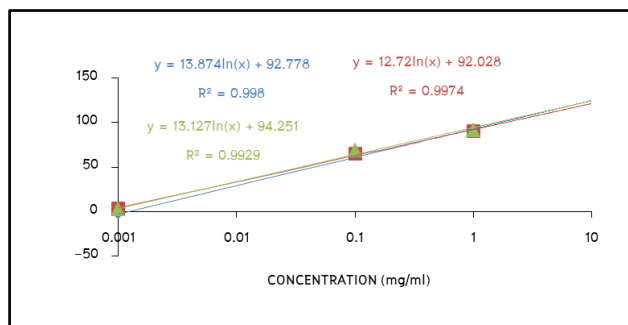
การสกัดสารสำคัญจากหมากสดและหมากแห้งด้วยเอทานอลและโพรไพลีนไกลคอล มีดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการสกัดสารสำคัญจากหมากด้วยเอทานอล และโพรไพลีนไกลคอล

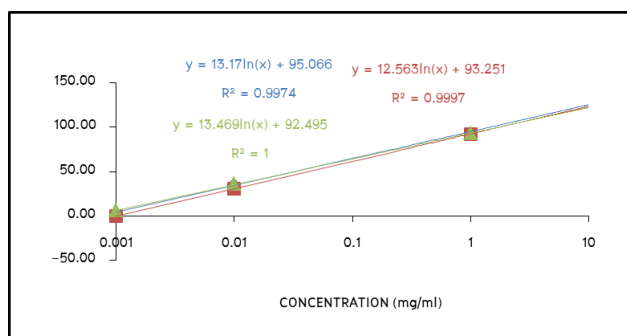
สารสกัด	ตัวอย่าง	ลักษณะ	%yield
เอทานอล	หมากสด	ผงสีน้ำตาลเข้มอมแดง มีกลิ่นเฉพาะตัว	2.88%
	หมากแห้ง	ผงสีน้ำตาลเข้มอมแดง ไม่มีกลิ่น	3.24%
โพรไพลีนไกลคอล	หมากสด	เป็นของเหลวสีน้ำตาลแดง	-
	หมากแห้ง	ของเหลวสีน้ำตาลแดงเข้ม	-

2. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

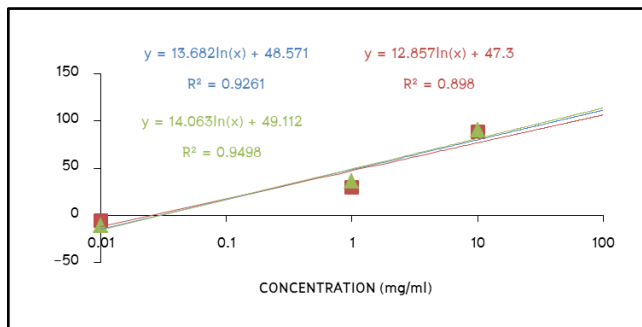
ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดหยาบ ด้วยวิธี DPPH เทียบกับสารมาตรฐานวิตามินซี สามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50% (ค่า SC_{50}) สารสกัดหยาบด้วยเอทานอล พบว่าสารสกัดหยาบสด มีค่า SC_{50} เท่ากับ 0.04 ± 0.01 mg/ml สารสกัดหยาบแห้งมีค่า SC_{50} เท่ากับ 0.03 ± 0.00 mg/ml สารสกัดหยาบด้วยโพรไพลีนไกลคอล พบว่าสารสกัดหยาบสด มีค่า SC_{50} เท่ากับ 1.14 ± 0.09 mg/ml สารสกัดหยาบแห้งมีค่า SC_{50} เท่ากับ 1.04 ± 0.04 mg/ml และวิตามินซีมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีค่า SC_{50} เท่ากับ 0.02 ± 0.00 mg/ml สามารถแสดงดังกราฟดังนี้



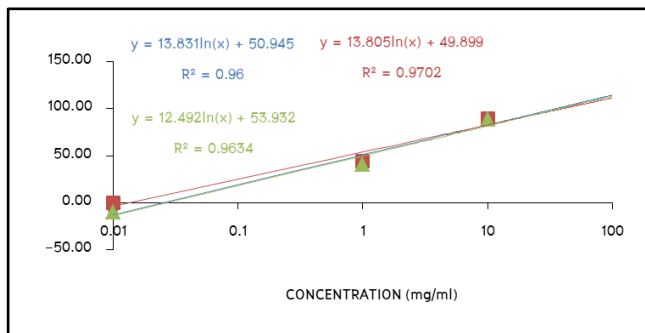
ภาพประกอบ 1 เปอร์เซ็นต์ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และความเข้มข้นของสารสกัดหยาบสดด้วยเอทานอล $SC_{50} = 0.04 \pm 0.01$ mg/ml



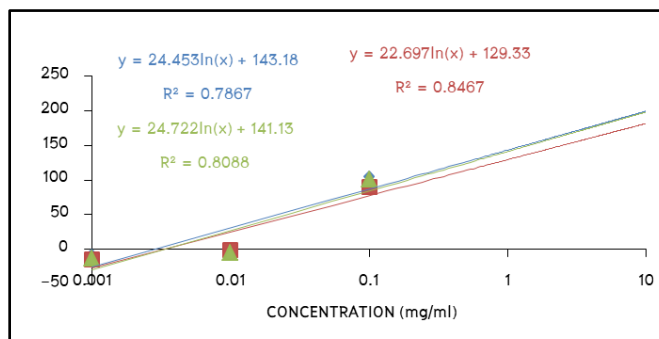
ภาพประกอบ 2 เปอร์เซ็นต์ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และความเข้มข้นของสารสกัดหยาบแห้งด้วยเอทานอล $SC_{50} = 0.03 \pm 0.00$ mg/ml



ภาพประกอบ 3 เปอร์เซนต์จับอนุมูลอิสระ DPPH และความเข้มข้นของสารสกัดหมากสดด้วย โพรไฟล์ไกลคอล



ภาพประกอบ 4 เปอร์เซนต์จับอนุมูลอิสระ DPPH และความเข้มข้นของสารสกัดหมากแห้งด้วย โพรไฟล์ไกลคอล $SC_{50} = 1.04 \pm 0.04$ mg/ml



ภาพประกอบ 5 เปอร์เซนต์จับอนุมูลอิสระ DPPH และความเข้มข้นของวิตามินซี $SC_{50} = 0.02 \pm 0.00$ mg/ml

3. การพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์สบู์เหลวผสมสมุนไพร

การพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์สบู์เหลวผสมสมุนไพรจากสารสกัดหามาด้วยเอทานอล (Active Ingredients) และใช้สารสกัดจากฝางเป็นตัวทำละลาย โดยมีอัตราส่วนร้อยละแสดงดังตารางที่ 2 และต้นแบบผลิตภัณฑ์สบู์เหลวผสมสมุนไพรเป็นของเหลวใส สีส้ม ดังภาพประกอบ 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนร้อยละของต้นแบบผลิตภัณฑ์สบู์เหลวผสมสมุนไพร

ภูมิภาค	ลำดับ	Ingredient	INCI Name	คุณสมบัติ	น้ำหนัก (%w/w)
A	1	สารสกัดฝาง	<i>Caesalpinia sappan</i> L. Extract	ตัวทำละลาย	57.9
	2	Disodium EDTA	Disodium EDTA	สารจับโลหะหนัก	0.1
	3	Texapon N8000	Sodium Lauryl Ether Sulfate	สารลดแรงตึงผิว	20
	4	Cocamidopropyl Betain	Cocamidopropyl Betain	สารเพิ่มฟอง	1
	5	Silk700/PQ7	Polyquaternium-7	ทำให้ผิวและผมนุ่มลื่น	0.6
B	6	สารสกัดฝาง	<i>Caesalpinia sappan</i> L. Extract	ตัวทำละลาย	11.9
	7	Sodium chloride	Sodium chloride	สารปรับความหนืด	5
	8	Glycerin	Glycerin	สารให้ความชุ่มชื้น	1
	9	Vitamin B3	Niacinamide	สารให้ความชุ่มชื้น	0.3
	10	Vitamin E	Tocopheryl Acetate	ลดริ้วรอย	0.2
	11	สารสกัดหามาแห้ง	<i>Areca catechu</i> L. Extract	สารต้านอนุมูลอิสระ	0.5
C	12	Microcare PHC	Phenoxyethanol (and) Ethylhexyl (and) glycerin	สารกันเสีย	1
	13	น้ำหอม	Fragrance	เพิ่มความหอม	0.5
รวม					100



ภาพประกอบ 2 ต้นแบบผลิตภัณฑ์สบู์เหลวผสมสมุนไพรจากสารสกัดหามา

4. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสบู่เหลวผสมสมุนไพร

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ มีลักษณะทั่วไปของสบู่เหลวผสมสมุนไพรเป็นของเหลวใส สีส้ม ไม่แยกชั้น กลิ่นหอม เมื่อตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือน สบู่เหลวจะเป็นของเหลวใสสีส้มเข้ม และมีตะกอนสีน้ำตาลเกิดขึ้น และผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของสบู่เหลวผสมสมุนไพร ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของสบู่เหลวผสมสมุนไพร

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	ต้นแบบผลิตภัณฑ์	การประเมิน
1.	ไขมันทั้งหมด ร้อยละโดยมวล ไม่น้อยกว่า	12	2.42	ไม่ผ่าน
2.	ความเป็นกรด-ด่าง	4 ถึง 8	5	ผ่าน
3.	ด่างอิสระ (คำนวณเป็น NaOH) ร้อยละโดยมวล ไม่เกิน	0.05	ไม่พบ	ผ่าน
4.	สารที่ไม่ละลายในเอทานอล ร้อยละโดยมวล ไม่เกิน	2.0	0.31	ผ่าน

อภิปรายผลการวิจัย

หมาก เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่าสารสกัดหมากแห้งด้วยเอทานอลให้ค่าการต่อต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดมีค่า SC_{50} เท่ากับ 0.03 ± 0.00 นอกจากนี้มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และต้านการเกิดริ้วรอย จึงเป็นสารสำคัญที่ผสมในสบู่เหลว นอกจากนี้ยังใช้สารสกัดแก่นฝางเป็นตัวทำละลาย ซึ่งในแก่นฝางพบองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ เช่น saponin tannin เป็นต้น การสกัดสารสำคัญจากหมากด้วยเอทานอล เนื่องจากเอทานอลมีคุณสมบัติในการละลายทั้งสารที่มีขี้และไม่มีขี้ และการสกัดด้วยโพรพิลีนไกลคอล เนื่องจาก สารเพิ่มความชุ่มชื้นและดูดซับน้ำของผิวหนัง ซึ่งสามารถนำมาผสมในเครื่องสำอางและพัฒนาเครื่องสำอางได้หลายรูปแบบ

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ มีลักษณะเป็นของเหลวใสสีส้ม ไม่แยกชั้น กลิ่นหอม เมื่อตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือน สบู่เหลวจะเป็นของเหลวใสสีส้มเข้มและมีตะกอนสีน้ำตาลเกิดขึ้น เนื่องจากสารสกัดจากหมากและแก่นฝางมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นกลุ่มแทนนิน ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษ กล่าวคือ ละลายน้ำได้ ให้รสฝาด มีฤทธิ์ฝาดสมาน สามารถตกตะกอนสารอัลคาลอยด์และโปรตีน (พิมพ์สุน เจริญบุญศรี, 2562) การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของสบู่เหลวผสมสมุนไพร พบว่าการวิเคราะห์ไขมันทั้งหมด การประเมินไม่ผ่าน พบไขมันปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากสัดส่วนของน้ำค่อนข้างมาก ความเป็นกรด-ด่าง ด่างอิสระ และสารที่ไม่ละลายในเอทานอล เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมเอส มอก.เอส 14-2561 สบู่เหลวผสมสมุนไพร ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของภูมิ ทัต ทับทิม และนฤมล พินเนียม ชนะไพฑูรย์ (2561) และธนศร นวลโย (2559) ซึ่งมีค่าการวิเคราะห์ทางเคมีเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเช่นเดียวกัน

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียและผลิตภัณฑ์สบู่เหลวผสมสมุนไพรจากสารสกัดหยาบเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณการดำเนินโครงการวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ และขอขอบคุณชุมชนบ้านท่าช้าง ต.ห้วยไร่ อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ ที่สนับสนุนวัตถุดิบในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Amudhan, M.S., Begum, V.H. and Hebba, K.B. (2012). A review on phytochemical and pharmacological potential of *Areca catechu* L. seed. *IJPSR*, 3(11), 4151-4157.
- Peng, W., Liu, Y. J., Wu, N., Sun, T., He, X. Y., Gao, Y. X., & Wu, C. J. (2015). *Areca catechu* L.(Arecaceae): A review of its traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology. *Journal of ethnopharmacology*, 164, 340-356.
- ธเนศวร นวลไย. (2559). การพัฒนาเจลอาบน้ำสูตรผสมสมุนไพร สู่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. *วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่*, 8(1), 43-61.
- พิมพ์สุมน เจริญบุญศรี. (2562). เกสัชจลนศาสตร์ของสารกลุ่มแทนนิน. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, 28(1), 1-14.
- ภูมิทัต ทับทิม และ นฤมล พินเนียม ชนะไพฑูรย์. (2561). การพัฒนาสบู่เหลวที่มีส่วนผสมจากสารสกัดหอมหัวใหญ่. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 26(4), 545-550.
- วันชัย ศรีวิบูลย์, วิภา จิระจรรย์กุล และอรอนงค์ ตันทวีวัฒน์. (2547). *สมุนไพรธรรมชาติที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง Phytocosmetic เล่ม 1*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2561). *มาตรฐาน
อุตสาหกรรมเอส สบู่เหลวผสมสมุนไพร มอก. เอส 14-2561*. สืบค้น 25 ธันวาคม 2563,
จาก <https://www.tisi.go.th/assets/website/pdf/tiss/14-2562.pdf>.

การออกแบบและสร้างเครื่องแล่ปลาแบบใบมีดคู่สำหรับธุรกิจชุมชน
Development of Fish Double Blade Filleting Machine
for Community Business

วิทยา หนูช่างสิงห์¹ และ ธนภัทร มะณีแสง^{*2}

Wittaya Nuchangsing¹, and Thanapat Maneesaeng^{*2}

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์¹

Department of Production Engineering, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University¹

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์²

Department of Production Technology, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University²

Email: nazzdex.man@pcru.ac.th

Received : August 1, 2022
Revised : June 10, 2023
Accepted : June 13, 2023

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือการออกแบบและสร้างเครื่องแล่ปลาสำหรับธุรกิจขนาดเล็ก ประกอบด้วย 3 ส่วนที่มีความสำคัญ ได้แก่ ส่วนที่ 1 ชุดแขนประกอบลำตัวปลา โดยใช้ประโยชน์จากสรีระของปลานิล และน้ำหนักของปลา เพื่อกำหนดการตั้งค่าชุดประกอบลำตัวให้มีความเหมาะสมมากที่สุด ส่วนที่ 2 ชุดใบมีดที่ใช้แยกเนื้อปลาออกจากกระดูกสันหลัง และครีบหางได้ในการแล่เพียงครั้งเดียว และส่วนที่ 3 ชุดสายพานลำเลียงป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากแรงสับัดของใบมีดจากการประเมนสมรรถนะการทำงานในการทดลองรูปแบบต่าง ๆ สามารถสรุปได้ว่าสามารถทำงานได้ตามเป้าหมายที่กำหนด โดยเนื้อปลาที่ได้หลังจากการแล่ผ่านการประเมนจากผู้เชี่ยวชาญร้อยละ 95 รวมถึงสามารถลดเวลาในการแล่เหลือเพียง 11.42 วินาทีต่อตัว ซึ่งเร็วกว่า 2 เท่า หากเปรียบเทียบกับ การแล่โดยใช้แรงงานที่มีทักษะความเชี่ยวชาญสูง

คำสำคัญ: เครื่องแล่เนื้อปลา ปลานิล วิสาหกิจชุมชน

ABSTRACT

The objective of this research is to design and construct a fish filleting machine for a small-scale business, consisting of three important components. Firstly, the arm set for supporting the fish body, utilizing the flexibility of Nile tilapia and the weight of the fish to optimize the configuration of the supporting arm set. Secondly, the blade set used to separate the fish meat from the backbone and tail fins in a single operation. Lastly, the conveyor belt set to prevent hazards from the impact of the blades. Based on the evaluation of performance in various experimental models, it can be concluded that the machine can achieve the predetermined goals. The fish meat obtained after the filleting process was assessed by experts and found to be satisfactory in 95% of cases. Additionally, the machine reduced the filleting time by 11.42 seconds per unit, which is more than twice as fast as manual filleting using highly skilled labor.

Keywords: Fish filleting machine, Tilapia, Community business

บทนำ

จากสภาพสังคมที่เปลี่ยนไป ผู้คนใช้ชีวิตบนความเร่งรีบ การทำงานที่มีความแข่งขันสูงส่งผลต่อพฤติกรรมผู้บริโภค มนุษย์จึงจำเป็นต้องปรับตัว และใช้เวลาในการจัดเตรียมและการประกอบอาหารน้อยลง ผลิตภัณฑ์แปรรูปจึงได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากขึ้น จากงานวิจัยของบริษัท A.C. Nielsen บริษัทด้านข้อมูลทางการตลาดของอเมริการะบุไว้ว่าผู้บริโภคชาวไทยติดอันดับต้น ๆ ของโลกที่นิยมอาหารแปรรูป เนื่องจากมีความสะดวก รวดเร็ว ราคาไม่แพง และสามารถเก็บไว้ได้นานเหมาะกับการใช้ชีวิตในสังคมเมือง และคาดว่าใน 5 ปีข้างหน้า ตลาดอาหารแปรรูปจะมีการเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กมลพิพัฒน์ ชนะสิทธิ และคณะ, 2561) จึงเป็นโอกาสดีต่อผู้ประกอบการที่ต้องการสร้างโอกาสในด้านธุรกิจ จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์และจำหน่ายในรูปแบบอื่นๆ ควบคู่กันไปด้วย ทั้งในรูปแบบ ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ แบบที่ไม่มีการลดขนาด (Non-comminuted products) และลดขนาด (Comminuted products) ที่สะดวกต่อการนำมาปรุงอาหาร และสามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานาน ซึ่งตลอดระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมาผู้คนเริ่มหันมาให้ความสนใจกับปลากันมากขึ้น เนื่องจากคุณค่าทางอาหารจากเนื้อปลาประกอบด้วยปริมาณไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีปริมาณสูง แต่มีปริมาณโคเลสเตอรอลต่ำ ซึ่งการกินปลาอยู่ในวัฒนธรรมการกินอาหารของคนไทยมาตลอด และมีหลักฐานทาง

วิชาการทั่วโลกมากมายสนับสนุนให้เห็นว่า การกินปลาช่วยลดการเสียชีวิตจากโรคหลอดเลือดหัวใจ ลดโอกาสเป็นอัมพาต โดยเฉพาะในผู้หญิง (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ, 2564) ในประเภทของปลาที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือปลานิล ซึ่งเป็นสัตว์น้ำจืดที่มีมูลค่าจากการจำหน่ายสูง เป็นอันดับหนึ่งติดต่อกันหลายปี ข้อมูลจากกองนโยบายและแผนพัฒนาการประมงระบุว่าในช่วงเดือนแรกของปี พ.ศ.2565 มีปริมาณผลผลิตทั้งหมดจำนวน 220,374 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2564 ร้อยละ 4.7 คิดเป็นมูลค่ากว่า 10,467 ล้านบาท โดยสัดส่วนมูลค่าการส่งออกแยกตามผลิตภัณฑ์ คือ ปลาทั้งตัวแช่แข็ง ร้อยละ 71 เนื้อปลาแช่แข็งแช่แข็งร้อยละ 27.2 และปลามีชีวิตเพียงแช่แข็งร้อยละ 1.8 (เกวลิน หนูฤทธิ์, 2565) ลักษณะเฉพาะของปลานิลเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย กินอาหารได้หลายชนิด สามารถดำรงชีวิตอยู่ในน้ำที่มีคุณภาพต่ำ เนื้อสีขาวน่ารับประทาน โปรตีนสูง สามารถนำไปประกอบอาหารได้หลากหลายประเภท และเมื่อผ่านกรรมวิธีถนอมอาหารในรูปแบบต่าง ๆ สามารถเก็บไว้รับประทานได้นานยิ่งขึ้น เช่น การตากแห้ง การแช่แข็ง การรมควัน (สุริยัน อุตโตร และคณะ, 2564) รวมถึงสามารถเพาะเลี้ยงได้จากการแปรรูปมาใช้ทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารสำหรับเป็นอาหารปลา (*oreochromis niloticus*) (Abarra et al, 2017) ส่งผลให้มีผู้ประกอบการจำนวนมากนำเนื้อปลานิลมาใช้ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ปลาหยอง น้ำพริก ไส้กรอก กุนเชียง สร้างรายได้ให้ผู้ประกอบการจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการแปรรูปมักจะมีขั้นตอนมากกว่าการขายปลาสดเพียงอย่างเดียว ในการแลเนื้อปลา 1 ตัวต้องใช้เวลาประมาณ 0.25-1.20 นาทีต่อปลา 1 ตัว ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้แล แต่ละวันสถานประกอบการต้องแลปลาประมาณ 500 ตัว หรือประมาณ 1000 กิโลกรัม จำเป็นต้องใช้แรงงานอย่างน้อย 4 คน เพื่อให้แลเสร็จในช่วงเช้ามืดนำเนื้อปลาไปแปรรูปต่อในช่วงบ่าย ๆ ส่งผลให้แต่ละเดือนมีต้นทุนแรงงานในการแลปลากว่า 17,500 บาท ผู้ประกอบการในธุรกิจขนาดเล็กจึงจำเป็นต้องแบกรับภาระค่าใช้จ่ายในด้านแรงงานที่เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากขาดเทคโนโลยี ซึ่งต่างจากผู้ประกอบการรายใหญ่ที่มีความพร้อมมากกว่า

ดังนั้นเป้าหมายในงานวิจัยนี้คือการพัฒนาเครื่องแลเนื้อปลาสำหรับปลาที่มีลำตัวลำตัว แบบแบนข้าง (Compressed) หรือปลาที่มีรูปร่างลำตัวลำตัวแบนข้างเมื่อมองภาคตัดขวาง จะเห็นลำตัวด้านซ้ายและด้านขวาแบนเข้าหากัน เช่น ปลานิล ปลาตะเพียน ปลานวลจันทร์ ปลาจีน ปลายี่สก เพื่อส่งเสริมการพัฒนาศักยภาพการแข่งขันของผู้ประกอบการธุรกิจขนาดเล็ก ซึ่งในปี 2551 ได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องแลปลาแบบแนวตั้งใบมีดเดียวสำหรับชุมชนรุ่นแรก และพบว่าเครื่องจักรสามารถแลเนื้อปลาได้เร็วกว่าคนแล 2 เท่า แต่ต้องเสียเวลาจำนวนมากไปกับการนำชิ้นงานไปยึดกับอุปกรณ์นำป้อน ก่อนที่จะนำปลาเข้าสู่ชุดใบมีดที่มีลักษณะคล้ายใบเลื่อยที่มีแนวตั้ง อีกทั้งต้องคอยประคองเพื่อไม่ให้เกิดการสะบัดจากแรงของใบมีด และยังต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานจำนวน 2 คนเพื่อควบคุมและช่วงประคองลำตัวของปลาในขณะที่แล และต้องนำก้างออกจากเนื้อปลา เนื่องจากอีกด้านยังมีก้างปลาติดอยู่ ดังนั้นทีมผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องแลปลาในรูปแบบแนวนอนเพื่อให้

เหมาะสมกับลำตัวปลา รวมถึงใช้ใบมีดคู่และออกแบบให้มีชุดประคองลำตัวปลาเพื่อไม่ให้เกิดการสะบัดจากแรงของใบมีดในแต่ละครั้ง รวมถึงเนื้อปลาทั้ง 2 ด้านจะไม่มีส่วนของก้างติดอยู่เหมือนกับชิ้นงานที่ได้จากเครื่องแล่ปลาแบบเดิม ผู้ปฏิบัติงานจึงไม่ต้องเสียเวลาในการนำก้างออกหลังจากการแล่ โดยการพัฒนาระบบอาศัยการทำงานร่วมกัน 3 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ ส่วนที่ 1 ชุดแขนประคองลำตัวปลา ส่วนที่ 2 ชุดใบมีดเดี่ยวแนวตั้งเป็นชุดใบมีดคู่แบบแนวนอน และส่วนที่ 3 การกำหนดความเร็วของสายพานลำเลียงเพื่อให้สอดคล้องกับการแล่ จากนั้นประเมินสมรรถนะการทำงานโดยพิจารณาจากความสามารถในการแยกเนื้อ ในการทดลองรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน และคุณภาพของชิ้นงานที่ได้รับเพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องแล่ด้วยใช้แรงงาน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเครื่องแล่เนื้อปลาใบมีดคู่สำหรับธุรกิจชุมชน
2. ประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องแล่เนื้อปลา

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากการตัด หั่น หรือการแล่ มีความแตกต่าง ตามลักษณะและคุณสมบัติของอาหาร กระบวนการแล่จึงจำเป็นต้องออกแบบให้มีความเหมาะสม โดยอาศัยผลลัพธ์จากการทดลอง และปรับปรุงจากข้อผิดพลาดจากการทดลองที่ผ่านมา โดยทั่วไปพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย อุณหภูมิอาหาร การหมุน คุณสมบัติความเร็วของชุดใบมีด รวมถึงพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่จำเป็นต้องตั้งค่า (Bremer and Matthiesen, 2020) จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่ามีการพัฒนาเครื่องจักรเพื่อนำมาใช้เพิ่มศักยภาพในกระบวนการผลิตให้กับธุรกิจขนาดเล็ก ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัย เพชรรัตน์ วงษ์จันทา และสยาม เสริมทรัพย์ (2553) และ วิจิตชัย วงษ์แจ้ง และคณะ (2564) ที่ได้พัฒนาเครื่องตัดแยกหัวปลาออกจากลำตัว โดยเพชรรัตน์ และคณะ (2553) ได้ออกแบบกลไกการตัดหัวปลาตามแนวเส้นรอบวงและอาศัยอุปกรณ์จับยึดตัวปลาที่ติดตั้งตามแนวเส้นรอบวงหมุนพาตัวปลาเข้าสู่ชุดใบมีด จากการทดสอบพบว่าภายในระยะเวลา 1 นาทีสามารถตัดหัวปลาที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 320 กรัม ได้ 35-40 ตัว (เพชรรัตน์ วงษ์จันทา และสยาม เสริมทรัพย์, 2553) เครื่องตัดหัวปลาได้มีการพัฒนาขึ้นอีกครั้งในงานวิจัยของ วิจิตชัย วงษ์แจ้ง และคณะ (2564) สำหรับการตัดหัวปลาสดที่มีน้ำหนักระหว่าง 0.23-0.25 กิโลกรัม โดยใช้หลักการทำงานแบบจานหมุนเหวี่ยงเพื่อให้ตัวปลาเข้าสู่ชุดใบมีด จากผลการทดสอบพบว่าปลา 1 ตัวใช้เวลาเฉลี่ยเพียง 6.2 วินาที (วิจิตชัย วงษ์แจ้ง และคณะ, 2564) นอกจากการตัดหัวปลาออกจากส่วนตัวแล้ว มีนักวิจัยบางกลุ่มได้พัฒนาเครื่องจักรสำหรับการคัดแยกเนื้อปลาออกจากก้างและกระดูก เพื่อนำเนื้อปลาที่ได้ไปใช้ประโยชน์สำหรับการแปรรูปในรูปแบบต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยของ วิทยา หนูช่างสิงห์ (2551) และ สยาม เสริมทรัพย์ (2556) ซึ่งวิทยา หนูช่างสิงห์ (2551) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องแล่ปลาแบบแนวตั้งใบมีดเดี่ยวสำหรับธุรกิจชุมชน ผลจากการทดลองพบว่าเครื่องจักรสามารถแล่เนื้อปลาได้เร็วกว่าคนแล่ 2 เท่า แต่ผู้ปฏิบัติจำเป็นต้องนำชิ้นงานไปยึดกับ

อุปกรณ์นำป้อน ก่อนที่จะนำปลาเข้าสู่ชุดใบมีดที่มีลักษณะคล้ายใบเลื่อยที่มีแนวตั้ง และต้องคอย ประคองเพื่อไม่ให้เกิดการสะบัดจากแรงของใบมีด รวมถึงหลังจากการแลต้องนำก้างที่ติดอยู่อีกฝั่งออก กับผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ต้องใช้เพียงเนื้อปลา (วิทยา หนูช่างสิงห์, 2551) ส่วนในงานวิจัยของ สยาม เสริม ทรัพย์ (2556) ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบการคัดแยกเนื้อปลาจากกระดูกและก้างโดยใช้ลูกกลิ้งเพื่อกดทับ และบีบเนื้อปลากับแผ่นสแตนเลส 4 มิลลิเมตรเพื่อแยกเนื้อปลาออกจากก้างปลา เนื้อปลาที่ได้จะมี ลักษณะแบบหลอดขนาดในกลุ่มบดหยาบ (สยาม เสริมทรัพย์, 2556) แต่ในการออกแบบกลไกการแลเนื้อ จากกระดูกสันหลัง และครีบหาง แต่ยังคงไว้ซึ่งชิ้นปลาในรูปแบบไม่ลดขนาดยังไม่มีการพัฒนา และที่ ผ่านมา ยังคงต้องใช้แรงงานคนสำหรับกระบวนการผลิตในรูปแบบดังกล่าว ซึ่งใช้เวลาในการแลเฉลี่ย 1.20 นาที ต่อปลา 1 ตัว และในแต่ละวันต้องแลปลาจำนวน 500 กิโลกรัม หากปลาขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 500 กรัมต่อ 1 ตัว สถานประกอบการต้องต้องใช้แรงงาน 4 คน (ณัฐฉิ บุญสายัง และ คณะ, 2557)

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องแลปลา โดยแบ่งการดำเนินการวิจัยได้ออกเป็น 2 ระยะ ในระยะแรกเป็นการออกแบบกลไกการทำงานของเครื่องแลปลา ส่วนระยะที่ 2 เป็นการ ประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องแลเนื้อปลา โดยมีรายละเอียดวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. การออกแบบวิธีการตั้งค่าชุดแขนประคองต้องใช้ประโยชน์จากสรีระของปลานิล เพื่อหา ความสัมพันธ์จากความโตของแก้มปลา และน้ำหนักของปลา ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างในการทดลองสำหรับ ระยะนี้คือปลานิลจำนวน 150 ตัว โดยที่ปลานิลต้องมีขนาดระหว่าง 500-1,300 กรัม ที่มีรูปแบบการ สุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (accidental sampling)

2. การประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องแลเนื้อปลา จำเป็นต้องใช้ปลานิลในการแล เพื่อให้ผลลัพธ์ที่สามารถบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพจากการทำงานของเครื่องจักร ดังนั้นจึงกำหนดให้กลุ่ม ประชากรคือผู้เชี่ยวชาญจากสถานประกอบการแปรรูปจำนวน 5 ท่าน เพื่อทำหน้าที่เป็นผู้ตรวจสอบ คุณภาพของชิ้นงาน และกลุ่มตัวอย่างคือจำนวนของปลา 30 ตัวในการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของ เครื่องจักร

เครื่องมือการวิจัย

1. เครื่องแลปลาแบบใบมีดคู่
2. แบบบันทึกการทดสอบเพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพของเนื้อปลาที่ได้หลังจากการแล

วิธีการวิเคราะห์

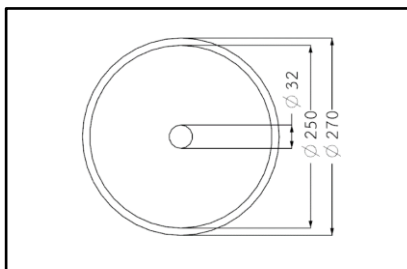
ในการออกแบบการออกแบบชุดแขนประกอบ คณะผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) หาความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนัก และความโตส่วนแก้ม เพื่อนำมาวิเคราะห์หาการตั้งค่าระยะห่างระหว่างแขนประกอบให้มีความเหมาะสม ส่วนในการพิสูจน์ว่าการออกแบบการตั้งค่าแขนประกอบส่งต่อคุณภาพของชิ้นงาน ผู้ได้เลือกใช้การทดสอบไคสแควร์ (chi-squared test) เพื่อยืนยันสมมติฐานดังกล่าว ทั้ง 2 วิธีการผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Minitab เวอร์ชัน 16 ในการประมวลผล

ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ระยะของการออกแบบกลไกการทำงานของเครื่องแล่ปลา

1.1 การออกแบบชุดใบมีด และระบบส่งกำลัง

จากงานวิจัยของ Vökl (2012) ได้ระบุไว้ว่ามุม 20-33 องศา สามารถลดแรงเกาะส่งผลต่อการลดแรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานและใบมีดได้ดี (Vökl, 2012) และในงานวิจัยของ ณัฐวุฒิ และคณะ (2557) ได้ทดลองตัดเนื้อปลาที่หมักหมมเอียงแตกต่างกัน 3 ระดับที่ความเร็ว 1,420 รอบต่อนาที โดยพิจารณาเนื้อปลาที่หลงเหลืออยู่ที่ชุดใบมีด ซึ่งพบว่ามุมเอียงเท่ากับ 22 องศา มีความเหมาะสมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ มุมเอียง 20 และ 25 องศา (ณัฐวุฒิ บุญสายัง และ คณะ, 2557) ดังนั้นจึงกำหนดให้ใบมีดทำมุมเอียงเท่ากับ 22 องศา แต่ต้องคำนึงถึงแรงที่มากกระทำและระยะเวลาการตัดเนื้อ (rate-dependence) เพื่อให้ได้ลักษณะมีดที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ผู้วิจัยจึงได้สอบการการแล่กับใบมีดรูปแบบต่าง ๆ และพบว่าใบมีดแบบวงกลม (Circular Blades) มีประสิทธิภาพในการแล่เนื้อปลาได้ดีที่สุด แต่ต้องคำนึงถึงความเร็วรอบที่เหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับเวลาที่ลำตัวปลาวิ่งผ่านชุดใบมีด ซึ่งหากใช้ความเร็วรอบของชุดใบมีดต่ำเกินไป อาจส่งผลให้เนื้อปลาเสียรูป จากแรงกระทำจากชุดใบมีด (Schuldt, 2018) ดังนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาออกแบบและพัฒนาใบมีดแบบวงกลม (Circular Blades) จำนวน 2 เล่ม จากเหล็กกล้าสเตนเลสเกรด 304 โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 270 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร เพื่อทำหน้าที่ในการแล่เนื้อปลาทั้ง 2 ด้าน การขับเคลื่อนอาศัยต้นกำลังจากมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ความเร็ว 1,420 รอบต่อนาที และจากสมการที่ 1 สามารถคำนวณหาความเร็วขอบ (Surface speed) ของชุดใบมีดได้เท่ากับ 20 เมตรต่อ



ภาพประกอบ 1 ขนาดและมุมของใบมีด

$$V = \frac{\pi \times d \times n}{1000 \times 60} \quad (2)$$

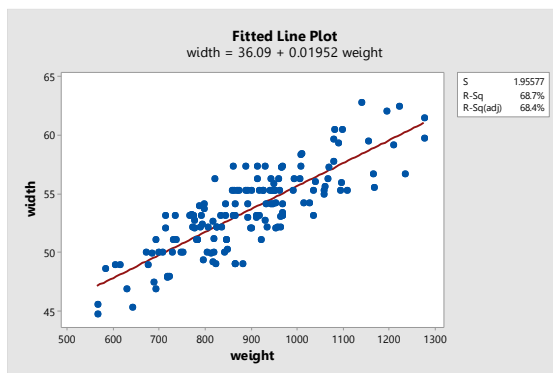
เมื่อ V = ความเร็วรอบ (เมตร / วินาที)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของชุดใบมีด

n = ความเร็วรอบของมอเตอร์ต้นกำลัง (รอบ/นาที)

1.2 การออกแบบชุดแขนประกอบจากการทดสอบการทำงานของเครื่องแล่ปลา

จากงานวิจัยของ วิทยา หนูช่างสิงห์ (2551) พบว่าใบมีดที่มีลักษณะคล้ายใบเลื่อยแนวตั้ง ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องใช้ชุดอุปกรณ์จับยึดตัวปลา หรือผู้ปฏิบัติงานอีก 1 คนคอยประคองตลอดกระบวนการเพื่อไม่ให้เกิดการสะบัดที่มาจากแรงของใบมีดระหว่างการแล่ (วิทยา หนูช่างสิงห์, 2551) คณะผู้วิจัยจึงปรับปรุงให้เป็นการป้อนเป็นแบบแนวนอน โดยใช้สายพานลำเลียง และใช้น้ำช่วยหล่อลื่นเพื่อลำเลียงปลาเข้าสู่ชุดใบมีด และผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องประคองลำตัวปลาให้ส่วนของกระดูกสันหลังของปลาอยู่กึ่งกลางระหว่างใบมีดทั้ง 2 ใบมากที่สุด เพื่อให้แล่เนื้อปลาได้โดยไม่มีส่วนของกระดูกสันหลังติดปะปนออกมากับเนื้อปลา หรือไม่ให้ปลาถูกเฉือนไปด้านในด้านหนึ่งมากเกินไป ดังนั้นในการออกแบบวิธีการตั้งค่าของชุดแขนประกอบผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) เพื่อใช้ประโยชน์จากการตรวจวัดน้ำหนัก และความโตส่วนแก้มจากปลานิลทั้งหมด 150 ตัว และนำผลลัพธ์จากความสัมพันธ์มาใช้ในการตั้งค่าแขนสำหรับประคองให้มีความเหมาะสมกับลำตัวปลาแต่ละตัว



ภาพประกอบ 2 ผลลัพธ์จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอย

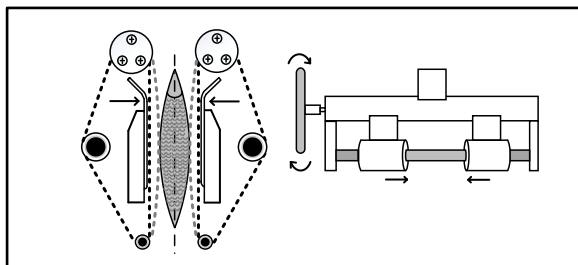
$$\text{width} = 36.09 + 0.01952(\text{weight}) \quad (2)$$

โดยกำหนดให้

width = ความกว้างของส่วนหัวของปลา

weight = น้ำหนักของปลา

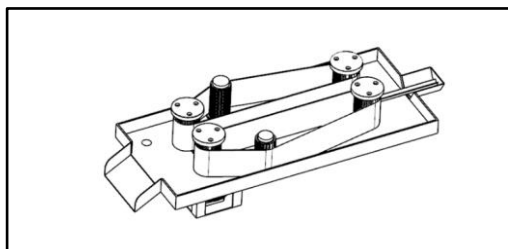
เมื่อพิจารณาว่า R-squared ในสมการที่ 2 ถึงความสามารถของสมการในการทำนายความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักและขนาดความโตของแก้มปลา พบว่าสมการมีความสามารถร้อยละ 67.70 ซึ่งถือว่าสามารถเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต้นและปัจจัยตามได้ (Montgomery, 2010) และจากสมการดังกล่าวผู้วิจัยสามารถออกแบบวิธีการปรับแขนสำหรับประกอบลำตัวปลาทั้ง 2 ข้าง เพื่อบีบลำตัวปลาให้อยู่กึ่งกลาง ตัวอย่างเช่น หากปลาที่มีน้ำหนักตัวที่ 900 กรัม สามารถทำนายความกว้างจากแก้มของปลาได้ 53.65 มิลลิเมตร จึงใช้สมการดังกล่าวในการตั้งค่าแขนสำหรับประกอบลำตัวปลาทั้ง 2 ข้างได้ และสามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความกว้างของแก้มปลาตามระยะห่าง ต่อ 100 กรัม ห่างกันเฉลี่ยเพียง 2 มิลลิเมตร จากภาพประกอบ 3 แสดงการทำงานของชุดประกอบลำตัวปลา ผู้ปฏิบัติงานสามารถหมุนวงล้อ (steering wheels) เพื่อให้แขนสำหรับประกอบลำตัวปลาทั้ง 2 ข้างบีบลำตัวปลาให้อยู่ระหว่างกึ่งกลางของใบมีดทั้ง 2 ใบ เพื่อให้สามารถแยกส่วนเนื้อและส่วนกระดูกสันหลังออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์



ภาพประกอบ 3 การทำงานของชุดประคองลำตัวปลา

1.3 ชุดสายพานลำเลียง

การกำหนดความเร็วของการป้อนตัวปลาเข้าสู่ใบมีดต้องคำนึงถึงความสอดคล้องระหว่างอัตราแรงที่มากกระทำและระยะเวลาการตัดเฉือน เนื่องจากเนื้อปลามีความหนืด โดยชุดสายพานลำเลียงในภาพประกอบ 4 ประกอบไปด้วย ถาดรองตัวปลา พูเลย์ตึงสายพาน พูเลย์ขับสายพาน จากการทดลองการทำงานเบื้องต้น พบว่าที่ความเร็ว 1.5 รอบ/นาที ชิ้นงานที่ได้จะมีคุณภาพดีมากที่สุด รวมถึงความเร็วดังกล่าวยังป้องกันการสับตัดที่เกิดจากกระบวนการตัดเฉือน



ภาพประกอบ 4 ชุดสายพานลำเลียง

1.4 การทำงานของเครื่องจักร

ขั้นตอนการใช้งานเครื่องจักร เริ่มจากการต่อน้ำเข้าสู่ระบบการทำงาน เพื่อให้ น้ำคอยช่วยลดแรงเสียดทาน ความหนืดของการแล้ และให้ตัวปลาไหลผ่านชุดใบมีดได้ดียิ่งขึ้น จากนั้นวางตัวปลาลงบนช่องลำเลียง ปรับชุดสายพานให้เหมาะสมกับความกว้างของลำตัวปลา เปิดสวิตช์ให้ชุดสายพาน และเปิดสวิตช์ให้ชุดใบมีดทำงาน ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องคอยประคอง และค่อยๆ ดันตัวปลาในช่วงแรก จากนั้นชุดสายพานจะทำหน้าที่ช่วยลำเลียงตัวปลาเข้าสู่ชุดใบมีดเพื่อแล่ปลาออกเป็น 3 ส่วน

ประกอบด้วย เนื้อซี่กซ้าย เนื้อซี่กขวา และส่วนกระดูกสันหลัง ดังภาพประกอบ 6 จากนั้นสายพานจะลำเลียงปลาทั้ง 3 ส่วนออกจากเครื่องจักร และไหลลงภาชนะที่เตรียมไว้



ภาพประกอบ 5 เครื่องแล่ปลา



ภาพประกอบ 6 ภาพตัวอย่างจากการแล่ปลานิล

2. การประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องแล่ปลา และการวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากขั้นตอนการปรับปรุงและสร้างเครื่องจักร ในการประเมินสมรรถนะการทำงาน คณะผู้วิจัยได้ออกแบบวิธีการทดสอบการทำงานรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งแต่ละครั้งได้ตั้งสมมุติฐาน และรูปแบบการทดลองที่มีความแตกต่างกัน แต่การประเมินจะพิจารณาจากลักษณะของเนื้อปลา โดยเนื้อปลาที่ได้หลังจากการแล่ต้องไม่มีส่วนกระดูกสันหลังติดมากับเนื้อปลาทั้ง 2 ซีก และระหว่างการปฏิบัติงานได้บันทึกเวลา เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละรูปแบบ โดยมีแบ่งรูปแบบการทดลองออกเป็น 2 รูปแบบโดย การทดลองรูปแบบที่ 1 เป็นการทดลองเบื้องต้นโดยใช้ปลาที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกัน และเพื่อทดสอบสมมุติฐานว่าการตั้งแขนประกอบที่เหมาะสม ส่งผลต่อคุณภาพ

ของเนื้อปลาที่ได้หลังจากการแล่ ส่วนในการทดลองรูปแบบที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อหาประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักรร่วมกับผู้เชี่ยวชาญในสถานที่ประกอบการ จากนั้นสังเกตคุณภาพเนื้อปลาและเวลาที่ได้ โดยมีเงื่อนไขว่าชิ้นงานที่ผ่านการพิจารณาต้องไม่มีส่วนกระดูกสันหลัง ติดที่เนื้อปลาทั้ง 2 ซีก หรือมีเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าหากมีส่วนกระดูกสันหลังติดที่เนื้อปลาทั้ง 2 ซีกจะถือว่าชิ้นงานนั้นไม่ผ่านเงื่อนไขการตรวจสอบ โดยการทดสอบครั้งนี้ จะให้ผู้เชี่ยวชาญจากสถานประกอบการแปรรูปจำนวน 5 ท่าน ทำหน้าที่เป็นผู้ตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน หากผ่านการตรวจสอบจาก 4 ท่านใน 5 ให้ถือว่าชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพ

ผลการวิจัย

การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักรได้เลือกใช้ปลานิลเป็นตัวอย่าง เนื่องจากเป็นหนึ่งในปลาที่ได้รับความนิยมของคนไทยมากที่สุดในการนำมาปรุงอาหารและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มากที่สุด ผลลัพธ์จะพิจารณาจากลักษณะชิ้นงานที่ได้จากในรูปแบบ และเงื่อนไขการทดลองที่แตกต่างกัน ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

ผลการทดลองรูปแบบ 1 แสดงให้เห็นว่าหากปรับแขนประคองลำตัวปลาไม่เหมาะสมจะทำให้ปลาเอียงไปในด้านใดด้านหนึ่ง ผู้วิจัยเลือกใช้ปลาที่มีน้ำหนัก 700 กรัม ซึ่งเป็นที่นิยมของผู้บริโภคมากที่สุด จากนั้นใช้ฟังก์ชัน Response Optimization วิเคราะห์หาการตั้งค่าระยะห่างระหว่างแขนประคองให้มีความเหมาะสม ซึ่งควรตั้งค่าห่างกัน 48.03 มิลลิเมตร และเมื่อพิจารณาจากช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 (confidence interval) จะพบว่าการตั้งค่าดังกล่าวเหมาะกับปลาที่มีน้ำหนักระหว่าง 675-725 กรัม ขั้นตอนต่อไปคือตรวจสอบสมมติฐานว่าการปรับตั้งมีความสัมพันธ์กับการยอมรับคุณภาพของชิ้นงานหลังจากแล่หรือไม่ เมื่อประเภทของข้อมูลของเหตุการณ์ที่สนใจ (y) และตัวแปรที่พิจารณา (x) เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (nominal data) ทั้งคู่ จึงใช้การทดสอบไคสแควร์ (chi-squared test) (Montgomery, 2010) ในการตรวจสอบความสัมพันธ์โดยตั้งสมมติฐานไว้ดังนี้

$H_0 : \rho = 0$; การปรับตั้งไม่มีความสัมพันธ์กับการยอมรับคุณภาพของชิ้นงานโดยผู้เชี่ยวชาญ

$H_1 : \rho \neq 0$; การปรับตั้งมีความสัมพันธ์กับการยอมรับคุณภาพของชิ้นงานโดยผู้เชี่ยวชาญ

จากผลการทดลองพบว่า ในกรณีที่มีการตั้งค่าชิ้นงานทั้งหมดจะได้รับการยอมรับ แต่หากไม่ตั้งค่ามีชิ้นงานเพียงร้อยละ 53.33 ที่ผ่านการยอมรับ และผลการวิเคราะห์จากการทดสอบไคสแควร์ p-value มีค่า 0.010 ซึ่งน้อยกว่า α จึงต้องปฏิเสธสมมติฐานหลัก และยอมรับสมมติฐานรอง

(Ian Wedgwood, 2016) กล่าวคือ การตั้งค่าแขนประกอบมีความสัมพันธ์กับการยอมรับคุณภาพของชิ้นงาน

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการทำงานเบื้องต้น

ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)	ลักษณะการหล่อของตัวปลา		เวลา
		ซ้าย	ขวา	
1	มีการปรับตั้ง	✓	✓	10.45
2		✓	✓	9.87
3		✓	✓	10.35
4		✓	✓	10.12
5		✓	✓	9.67
6	ไม่มีการปรับตั้ง	✓	X	12.91
7		✓	✓	12.31
8		X	X	12.10
9		X	X	12.22
10		✓	✓	12.16



ภาพประกอบ 7 การทดสอบเครื่องจักรในสถานประกอบการ

ส่วนทดลองผลจากการในรูปแบบที่ 2 เพื่อหาสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักรร่วมกับผู้เชี่ยวชาญในสถานที่ประกอบการจริง ในการทดลองครั้งนี้ใช้ปลาจำนวน 20 ตัว โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วยปลาที่มีน้ำหนัก 700 800 และ 900 กรัม ตามลำดับ และใช้การตั้งค่าแขนประคองลำตัวปลาโดยใช้สมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย

ตารางที่ 3 การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักร

ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)	ลักษณะการแล่ของตัวปลา		เวลา (วินาที)
		ซ้าย	ขวา	
1	700	✓	✓	13.14
2	700	✓	✓	10.31
3	700	✓	✓	11.61
4	700	✓	X	9.55
5	700	✓	✓	10.58
6	800	✓	✓	13.55
7	800	✓	✓	10.14
8	800	✓	✓	9.66
9	800	✓	✓	10.41
10	800	✓	✓	9.33
11	900	✓	✓	12.87
12	900	✓	✓	10.63
13	900	✓	✓	10.88
14	900	✓	✓	11.07
15	900	✓	✓	11.42
16	1,000	✓	X	13.73
17	1,000	✓	✓	11.43
18	1,000	✓	X	13.14
19	1,000	✓	✓	11.87
20	1,000	X	✓	13.11
เวลาเฉลี่ย	11.42	เวลาเฉลี่ย	11.42	เวลาเฉลี่ย

ผลลัพธ์การทดลอง พบว่าชิ้นงาน 76 ชิ้นจาก 80 ชิ้น ได้รับการยอมรับจากผู้เชี่ยวชาญ มีเพียง 4 ที่ไม่ได้รับการยอมรับ คิดเป็นร้อยละ 5 การสูญเสียมักเกิดขึ้นกับปลาที่มีขนาด 1 กิโลกรัม ซึ่งปลาที่

ขนาดใหญ่เกินไปยากต่อการยึดให้ปลาอยู่กึ่งกลาง ต่างจากปลาขนาดเล็กที่สามารถแล่ได้โดยไม่มีชิ้นส่วนของกระดูกสันหลังติดกับเนื้อปลา หรืออาจมีเพียงเล็กน้อยแต่อยู่ในขอบเขตที่ผู้เชี่ยวชาญยอมรับได้

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบรูปแบบการทำงานระหว่างการใช้เครื่องจักรและแรงงานคน

รูปแบบการทำงาน	จำนวน ผู้ปฏิบัติงาน (คน)	ระยะเวลา การปรับตั้ง เครื่องจักร (วินาที)	ระยะเวลา เฉลี่ยในการแล่ (วินาที)	กระบวนการ หลังจากการ แล่
การใช้แรงงานคน	4	-	120	x
เครื่องแล่ปลาแบบแนวตั้ง ใบมีดเดี่ยวสำหรับธุรกิจชุมชน (2551)	2	40	32	✓
เครื่องแล่ปลาแบบใบมีดคู่	1	20	11.42	x

จากผลลัพธ์จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเครื่องจักรมีประสิทธิภาพการทำงานร้อยละ 95 เพียงแต่ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องใช้เวลาในการปรับตั้งแขนลำเลียงให้ตัวปลาเข้าสู่ใบมีดได้ในตำแหน่งที่กึ่งกลางพอดี แต่ถึงอย่างไรก็ตามจากการเปรียบเทียบรูปแบบการทำงานระหว่างการใช้เครื่องจักรและแรงงานคนในตารางที่ 4 พบว่าเครื่องจักรสามารถทำงานได้รวดเร็วกว่าการแล่โดยใช้แรงงาน ซึ่งต้องใช้เวลาในกระบวนการแล่เฉลี่ย 120 วินาทีต่อปลา 1 ตัว ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของผู้แล่ แต่ถ้าหากและใช้เครื่องแล่ปลาแบบแนวตั้งใบมีดเดี่ยวที่สร้างขึ้นในปี 2551 ต้องใช้เวลาเฉลี่ย 72 วินาทีต่อปลา 1 ตัว รวมถึงต้องเสียเวลาในการนำเอาก้างอีกฝั่งออกหลังจากการแล่ถ้าหากต้องการใช้แค่เนื้อปลาในการแปรรูป ในขณะที่เครื่องจักรใช้เวลาเฉลี่ยเพียง 11.42 วินาทีต่อตัวเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้แล่อาจมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากน้ำหนักของปลา

สรุปผล

ผลลัพธ์จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องจักรสามารถนำไปสู่การปรับตั้งเครื่องจักรให้สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยเฉพาะกับปลาที่มีลักษณะลำตัวแบน ผลจากการทดสอบสมรรถนะการทำงานทำให้ทราบว่า เครื่องจักรสามารถแล่ปลาได้โดยที่เนื้อไม่มีกระดูกสันหลังของปลาติดกว่าร้อยละ 95 และหากพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการแล่ พบว่าเครื่องจักรใช้เวลาในการแล่เฉลี่ยเพียง 11.42 วินาทีต่อตัว ต้องบวกเวลาการตั้งค่าประมาณร้อยละ

40 หรือใช้เวลาทั้งหมด 16 วินาที และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แรงงานคนที่ใช้เวลาในการแล่เฉลี่ย 80 วินาทีจะพบว่าเครื่องจักรสามารถแล่ได้รวดเร็วกว่าการใช้แรงงานคน 5 เท่า แต่ปลาที่นำมาแล่ต้องมีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 650 - 900 กรัม ถ้าหากมากหรือน้อยกว่าที่กำหนดอาจทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรจะลดลง

อภิปรายผลงานวิจัย

เครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเป้าหมายที่กำหนด เนื่องจากความเร็รรอบที่เหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับระยะเวลาที่ลำตัวปลาวีงผ่านชุดใบมีดที่มีรูปแบบที่เหมาะสมสอดคล้องกับงานวิจัยของ Schuldt (2018) ผนวกกับผลลัพธ์จากการใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในการทำนายการตั้งค่าแขนประกอบลำตัวปลา ให้มีความเหมาะสมลำตัวปลา ทำให้ได้เนื้อปลาที่ได้มีคุณภาพสอดคล้องงานวิจัยของ รัตนพร อินทรพานิชย์ และ วรณี มังคละศิริ (2560) สามารถนำชิ้นงานที่ได้ไปใช้แปรรูปตามเงื่อนไขของสถานประกอบการได้ทันที โดย 3 ผลิตภัณฑ์ที่สถานประกอบการได้นำไปใช้เป็นส่วนประกอบได้แก่ ปลาสามปลายอ และกุ้งเชียงปลา เป็นต้น ส่วนผลิตภัณฑ์เนื้อปลาแล่แบบสุญญากาศยังเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ทางสถานประกอบการอยู่ระหว่างการพัฒนาเพื่อตอบสนองตามความต้องการของผู้บริโภคในอนาคต ทั้งนี้เครื่องจักรสามารถใช้ผู้ปฏิบัติงานเพียง 1 คนเท่านั้น จากเดิมที่ต้องใช้ 4 คนต่อวัน และเมื่อวิเคราะห์หาระยะคืนทุนจากหลักการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเบื้องต้น (Hun, 2001) พบว่าถ้าเครื่องจักรมีราคา 94,326 บาท สามารถคำนวณต้นทุนรวมได้ เท่ากับ 222,287.94 บาท มีกำลังการผลิตเท่ากับ 112 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีต้นทุนในการผลิตเพียง 0.82 บาทต่อกิโลกรัม ในขณะที่แรงงานคน 1 คนสามารถทำงานได้เพียง 22.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นต้นทุนเท่ากับ 1.67 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบการทำงานที่ 2,400 ชั่วโมงต่อปี ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องจักรจะเท่ากับ 10.71 เดือน และมีจุดคุ้มทุนเท่ากับ 1098.25 ชั่วโมงต่อปี จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถนำมาใช้ทดแทนการแล่ด้วยแรงงานคนได้อย่างมีประสิทธิภาพในต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า

ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องจักรออกแบบมาสำหรับแล่ปลาที่มีลักษณะลำตัวแบน ทำให้ไม่เหมาะสมกับการแล่ปลา ลักษณะรูปร่างทรงกระบอกยาว รูปร่างเรียวยาว เช่น ปลาช่อน ปลาดุก จากการทดสอบเบื้องต้น พบว่าลักษณะของปลาทำให้ยากต่อจับยึด เมื่อเกิดแรงจากใบมีดทำให้เกิดการตัดเฉือนในตำแหน่งที่คาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่ต้องการ ส่งผลให้กระดูกสันหลังยังคงติดอยู่ที่เนื้อปลาเป็นจำนวนมาก ในอนาคต

ควรพัฒนาอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับปลาที่มีลักษณะกลมยาวเพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การตั้งค่าระยะห่างระหว่างแขนประคองทั้ง 2 ข้างต้องอาศัยการหมุนวงล้อเพื่อควบคุมระยะให้มีความเหมาะสม ดังนั้นควรตั้งค่าโดยใช้ประโยชน์จากแบบจำลองถดถอย และพัฒนาอุปกรณ์ให้สามารถตั้งค่าได้เองอัตโนมัติ เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถทำงานได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น และลดข้อผิดพลาดจากผู้ปฏิบัติงานลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนโดยงบประมาณแผ่นดินที่พิจารณาจากโดยผ่านความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2561 สัญญาเลขที่ PCRU_2561_L019 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- กมลพิพัฒน์ ชนะสิทธิ, ประสพชัย พสุนนท, และ อีระวัฒน์ จันทิก. (2561). การวิเคราะห์องค์ประกอบพฤติกรรมและปัจจัยในการเลือกซื้ออาหารแช่แข็งพร้อมรับประทานของนักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี, 12(27), 56-69.
- เกวลิน หนูฤทธิ์. (2565). รายงานการสำรวจ: สินค้าจากปลานิลและผลิตภัณฑ์. กรุงเทพฯ: กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง กลุ่มเศรษฐกิจการประมง.
- ณัฐภูมิ บุญสายัณ, ปณิต คชานันท์, ศุภกิจ เศษวิ, และ อรรถเดช อินพาเพียร. (2557). การสร้างเครื่องแล่นือปลาลำตัวแบน : กรณีศึกษาพัฒนาชุดใบมีดและชุดลำเลียงตัวปลา. (สารนิพนธ์, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์).
- เพชรรัตน์ วงษ์จันทา, และ สยาม เสริมทรัพย์. (2553). การออกแบบและประดิษฐ์เครื่องตัดหัวปลาแบบวงล้อ. กรุงเทพฯ: กรมประมง.
- รัตนพร อินทรพานิชย์, และ วรณิ มังคละศิริ. (2560). การสร้างสมการพยากรณ์การใช้พลังงานด้วยการวิเคราะห์การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ : กรณีศึกษา โรงงานผลิตเครื่องเสียงติดรถยนต์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 25(5), 893-905.
- วิจิตชัย วงษ์แจ้ง, สยาม เสริมทรัพย์, สยาม เสริมทรัพย์, และ ศรัณย์ โคตรมะณ. (2564). การพัฒนาเครื่องตัดหัวปลาตุก. กรุงเทพฯ: กรมประมง.

- วิทยา หนูช่างสิงห์. (2551). *การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องแล่นเนื้อปลาตัวแบนด้วยมีดเดี่ยววางตัว*. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สยาม เสริมทรัพย์. (2556). *การพัฒนาเครื่องแยกเนื้อปลาจากกระดูกและก้างแบบลูกกลิ้ง*. กรุงเทพฯ: กรมประมง.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. (2564). กินปลา มีประโยชน์อย่างไร. [<https://www.thaihealth.or.th>]. สืบค้นจาก <https://www.thaihealth.or.th/?p=226379>
- สุริยัน อุตโตโร, สิงห์ณรงค์ สิรินทรเมธ, สฤทธิ สมโน, พัฒนพล สิริสุวรรณโณวงษ์ทอง สุภทโท. (2564). การพัฒนาเทคนิคและกระบวนการถนอมอาหารตามภูมิปัญญาท้องถิ่นของวิสาหกิจชุมชน บ้านโนนกาหลง อำเภอพิบูลมังสาหารจังหวัดอุบลราชธานี. *วารสาร มจร อุบลปริทรรศน์*, 6(1), 381-396.
- Abarra, S. T., Velasquez, S. F., Guzman, K. D. D. C., Felipe, J. L. F., Tayamen, M. M., & Ragaza, J. A. (2017). Replacement of fishmeal with processed meal from knife fish *Chitala ornata* in diets of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Reports*, 5, 76-83.
- Bremer, F., & Matthiesen, S. (2020). A review of research relating to food slicing in industrial applications. *Journal of Food Engineering*, 268, 109735.
- Hun, D. (2001). *Farm Power And Machinery Management* (10th Edition). Hoboken, New Jersey, USA: Wiley–Blackwell.
- Montgomery, D. C. (2010). *Introduction to Statistical Quality Control* (6th Edition). Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Schuldt, S., Witt, T., Schmidt, C., Schneider, Y., Nündel, T., Majschak, J.-P., & Rohm, H. (2018). High-speed cutting of foods: Development of a special testing device. *Journal of Food Engineering*, 216, 36-41.
- Völkl, T. (2012). *Sickle Blade*, European Patent EP000002529903B1.
- Walter, C. (1931). *Slicing Machine*, United states Patent US1957623A.
- Wedgwood, I. (2016). *Lean Sigma--A Practitioner's Guide 2nd Edition*. Hoboken, New Jersey: Prentice Hall 2016.

การพัฒนาระบบตลาดดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการตลาดของผลผลิตลำไย
อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน
Development of a digital marketing system to promote marketing of longan
products Ban Hong District, Lamphun Province

บุษราภรณ์ มหัทธนะชัย และ ชนินทร์ มหัทธนะชัย *
Butsaraporn Mahatthanachai, and Chanin Mahatthanachai*
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University
Email: butsaraporn@g.cmru.ac.th

Received : April 12 2023
Revised : June 16, 2023
Accepted : June 21, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องนี้ มีวัตถุประสงค์คือ 1) สร้างโมเดลธุรกิจตลาดดิจิทัลของผลผลิตลำไย อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน 2) พัฒนาระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัลสำหรับผลผลิตลำไย 3) เผยแพร่การใช้ระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการตลาดของผลผลิตลำไย วิธีดำเนินการวิจัยโดยเป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมกับเกษตรกรผู้ปลูกลำไย กลุ่มตัวอย่างคือ วิสาหกิจชุมชนพัฒนาผลิตภัณฑ์พืชผักสมุนไพร และผลไม้ บ้านป่าปวย ตำบลบ้านโฮ่ง อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน เครื่องมือที่ใช้คือ แบบสัมภาษณ์ แบบสอบถาม เว็บไซต์ สื่อวีดิทัศน์ และแพลตฟอร์มการตลาดออนไลน์ สถิติที่ใช้คือ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การดำเนินงานวิจัยโดย ศึกษาบริบทชุมชน จัดเวทีสัมภาษณ์ ข้อมูลเกี่ยวกับผลผลิตและการตลาดลำไย การสร้างโมเดลธุรกิจจากแผนการวิเคราะห์ SWOT, BMC, Digital CRM การพัฒนาระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัล การโปรโมทสินค้า และการจัดอบรมถ่ายทอดความรู้ทางการตลาดดิจิทัลให้กับชุมชน ผลจากการศึกษาพบว่า โมเดลธุรกิจมีจุดแข็งด้านผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งลำไยสดและแปรรูปลำไยที่ได้รับมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ มีการสร้างความสัมพันธ์ลูกค้าด้วยระบบการจัดการข้อมูลสินค้าเพื่อใช้ในการจำหน่าย จึงได้พัฒนาระบบตลาดดิจิทัลในรูปแบบเว็บไซต์ และสร้างสื่อวีดิทัศน์ในการส่งเสริมคุณค่าผลิตภัณฑ์ นำไปใช้ประชาสัมพันธ์เข้าถึงกลุ่มลูกค้าด้วยระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัลและการใช้สื่อโซเชียลมีเดีย และจัดอบรมถ่ายทอดความรู้ด้านการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและความรู้ทางธุรกิจ ผลการประเมินความพึงพอใจในคุณภาพของระบบและการให้ความรู้

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.22 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.63 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ระบบสารสนเทศที่ได้สามารถนำไปจัดเก็บข้อมูลสินค้าและประชาสัมพันธ์ทางการตลาดของชุมชน

คำสำคัญ: ลำไย วิสาหกิจชุมชน ตลาดดิจิทัล ตลาดออนไลน์ บ้านโฮ่ง

ABSTRACT

The objectives of this research were: 1) to develop a digital marketing business model for longan products in Ban Hong District, Lamphun Province; 2) to develop a digital marketing technology system for longan products; 3) to disseminate the use of digital market technology to promote the marketing of longan products. This research was conducted as a practical study with the participation of longan farmers. The sample group consisted of the community enterprise for Product Development of Vegetables, Herbs, and Fruits in Ban Pa Puey, Ban Hong Subdistrict, Ban Hong District, Lamphun Province. The tools used included interview forms, questionnaires, websites, video media, and online marketing platforms. Statistical analysis involved the use of mean and standard deviation. The research operations included studying the community context, organizing interview forums on longan production and marketing, building a business model based on SWOT analysis, BMC, and Digital CRM, developing a digital market technology system, promoting the products, and organizing training sessions to transfer digital marketing knowledge to the community. The findings of the study revealed that the business model had strengths in products that included both fresh longan and processed longan, meeting organic standards. Efforts were made to build customer relationships; however, there was still a lack of product information management for distribution. Consequently, a digital marketing system in the form of a website and video media was developed to promote the value of the products. It was utilized to publicize and reach out to customers through digital marketing technology and social media platforms. Additionally, training sessions were organized to transfer knowledge on the use of digital technology and business practices. The evaluation of satisfaction and quality in knowledge delivery resulted in an average score of 4.22 with a standard deviation of 0.63, indicating a highly satisfactory outcome. The information system

implemented was capable of storing product information and facilitating market promotions for the community.

Keywords: Longan, Enterprises, Digital marketing, Online marketing, Ban Hong

บทนำ

ลำไยเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรของไทย พื้นที่ปลูกลำไยส่วนใหญ่อยู่ทางภาคเหนือตอนบน จังหวัดลำพูนเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีการปลูกลำไยเป็นจำนวนมาก มีพื้นที่เพาะปลูกลำไยโดยประมาณ 351,167 ไร่ จำนวนเกษตรกร 54,082 ราย และปริมาณผลผลิตรวมประมาณ 335,948 ตัน (สำนักงานจังหวัดลำพูน, 2566) อำเภอที่มีการปลูกลำไยมากคือ อำเภอเมือง อำเภอป่าซาง และอำเภอบ้านโฮ่ง (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2564) ผลผลิตลำไยสามารถออกผลได้ทั้งในฤดูและการบังคับให้ลำไยสามารถออกดอกและผลนอกฤดูได้ ประเด็นปัญหาของเกษตรกรคือ ราคาผลผลิตตกต่ำขาดตลาดรองรับผลผลิตทางการเกษตรที่มั่นคง เกษตรกรไม่มีอำนาจในการต่อรองหรือกำหนดราคาผลผลิต แผนการพัฒนาจังหวัดจึงมีการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มสินค้าเกษตร สนับสนุนแนวคิดระบบตลาดออนไลน์ให้มีช่องทางการตลาดด้วยระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ จำหน่ายผลผลิตที่ตรงกับกลุ่มเป้าหมายมากขึ้น พัฒนาศักยภาพเกษตรกรในการเข้าถึงองค์ความรู้และเทคโนโลยีดิจิทัลและข้อมูลสารสนเทศ ส่งเสริมขยายตลาดสินค้าเกษตรทั้งในสื่อแบบดั้งเดิมและบนอินเทอร์เน็ต (สำนักงานจังหวัดลำพูน, 2566) สอดคล้องกับยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม 20 ปี สร้างเสริมให้ความเข้มแข็งให้กับเกษตรกรและสถาบันเกษตรกรมีกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชนและการบริหารจัดการเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อใช้ในการผลิตและการตลาด (สภานโยบายวิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ, 2560)

จากปัญหาของเกษตรกรผู้ปลูกลำไย คือ ราคาผลผลิตตกต่ำ ขาดตลาดรองรับผลผลิต เกษตรกรไม่มีอำนาจในการต่อรองหรือกำหนดราคาผลผลิต ถูกกดขี่ราคาสินค้าจากพ่อค้าคนกลาง การแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการตลาดดิจิทัลจึงเป็นรูปแบบหนึ่งที่ควรส่งเสริมให้เกษตรกร ให้สามารถนำเสนอประชาสัมพันธ์สินค้าหรือบริการผ่านสื่อดิจิทัลและกลยุทธ์การตลาดต่าง ๆ ที่ต้องใช้เทคนิคผสมผสานกันตามความเหมาะสมแต่ละสินค้าและเป้าหมายที่ได้วางไว้ เช่น การใช้แพลตฟอร์มทำตลาดผ่านโซเชียลมีเดีย การสร้างเนื้อหาเพื่อสร้างตัวตนสินค้า การใช้เทคนิคการค้นหาเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าถึงกลุ่มลูกค้า เป็นต้น กลยุทธ์ทางการตลาดได้มองถึงปัจจัยด้านประสิทธิภาพ ความคุ้มค่า การเข้าถึงกลุ่มเป้าหมาย ผู้บริโภค การสร้างความสัมพันธ์ ในการทำตลาด (จิตาพัชญ์ ไยเทศ, ลฎาภา ร่มภูชัยพุกษ์ และอธิกัญญ์ มาลี, 2565) และการส่งเสริมพัฒนาผู้ประกอบการและวิสาหกิจชุมชนในการทำตลาด

ดิจิทัลให้ประสบความสำเร็จต้องมีการเตรียมความพร้อมด้านผลิตภัณฑ์ การให้ความรู้อบรมเชิงปฏิบัติการ การส่งเสริมการขาย และการติดตามประเมินผล (อัญญา ดิษฐานนท์ และ อรพรรณ คงมาลัย, 2565) ซึ่งปัจจุบันกลุ่มผู้ประกอบการมีการทำตลาดดิจิทัลเพิ่มขึ้นและเติบโตอย่างรวดเร็วจากการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์และทิศทางของตลาดโลก

จากการศึกษาดังกล่าว จึงมีการพัฒนาระบบตลาดดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการตลาดของผลผลิตลำไยใช้เป็นฐานข้อมูลสินค้าเปิดร้านค้าออนไลน์และบริหารจัดการเองได้ นำไปเป็นเครื่องมือเผยแพร่สินค้าร่วมกับแพลตฟอร์มอื่นในโซเชียลมีเดีย การดำเนินงานโดยศึกษาบริบทสัมภาษณ์ข้อมูลเกี่ยวกับผลผลิตและการตลาด การสร้างโมเดลธุรกิจจากการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทางการตลาดเพื่อนำไปสู่การเลือกใช้แพลตฟอร์มการทำตลาดดิจิทัล การเลือกกลุ่มลูกค้าและสร้างความสัมพันธ์กับลูกค้า การสร้างเนื้อหาแนะนำสินค้า ซึ่งจะเป็ข้อมูลที่น่าไปสู่การพัฒนาบบตลาดดิจิทัลที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และชุมชน การประชาสัมพันธ์สินค้าจากผลผลิตลำไยด้วยช่องทางตลาดออนไลน์ และการสร้างคนในชุมชนให้เป็นนักการตลาดดิจิทัลโดยการจัดอบรมให้ความรู้เชิงปฏิบัติการกลยุทธ์ทางการตลาดและการใช้แพลตฟอร์มในการจำหน่ายสินค้าแบบออนไลน์ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวจะช่วยให้การพัฒนาบบตลาดดิจิทัลนำไปใช้กับผู้ประกอบการในชุมชนได้เกิดประสิทธิผลปรับแนวทางการตลาดสู่แนวใหม่ รู้จักใช้นวัตกรรมเทคโนโลยีดิจิทัลเพิ่มมูลค่าของผลผลิตลำไยและเข้าถึงกลุ่มลูกค้าเพิ่มขึ้น เสริมสร้างความเข้มแข็งให้กับเกษตรกรในการบริหารจัดการด้านการตลาดได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. สร้างโมเดลธุรกิจตลาดดิจิทัลของผลผลิตลำไย
2. พัฒนาระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัลสำหรับผลผลิตลำไย
3. เผยแพร่การใช้ระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการตลาดของผลผลิตลำไย

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การตลาดดิจิทัล

การตลาดดิจิทัล คือ การทำการตลาดที่ผ่านการใช้สื่อดิจิทัลเป็นช่องทางติดต่อผู้บริโภค สามารถให้นักการตลาดสื่อสารแบบสองทาง (Two-way Communication) กับลูกค้าได้อย่างต่อเนื่อง (Wertime and Fenwick, 2008) มีการใช้เครื่องมือดิจิทัลและเทคโนโลยีช่วยในการดำเนินกิจกรรมทางการตลาด กระบวนการสร้างการสื่อสารการตลาดดิจิทัลมี 4 ขั้นตอนหลักคือ 1) การวิเคราะห์พร้อมกับการเลือกกลุ่มเฉพาะเจาะจงลูกค้า 2) ระบุวัตถุประสงค์ที่จะสื่อสาร 3) การสร้างสรรค์เนื้อหาข่าวสาร 4) การคัดสรรช่องทางสำหรับใช้ในการสื่อสาร (Castronovo and Huang, 2012)

2. วงจรพัฒนาระบบ

วงจรพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC) คือ การแบ่งขั้นตอนกระบวนการพัฒนาระบบงานหรือระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อแก้ปัญหาทางธุรกิจ ซึ่งมี 7 ขั้นตอน คือ 1) การค้นหาปัญหา 2) การศึกษาความเป็นไปได้ ความคุ้มค่าในการปรับเปลี่ยนระบบ 3) การวิเคราะห์ โดยวิเคราะห์การทำงานระบบงานใหม่ และเขียนเป็นแผนผังงาน 4) การออกแบบนำผลการวิเคราะห์มาออกแบบระบุลักษณะการทำงานทางเทคนิค 5) การพัฒนาและทดสอบ เป็นการเขียนโปรแกรมและทดสอบความถูกต้อง 6) การติดตั้ง เป็นการเริ่มใช้งานจริงและฝึกอบรมผู้ใช้งาน 7) การบำรุงรักษาระบบ ปรับปรุงระบบให้เกิดความพอใจของผู้ใช้งาน (โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์, 2560)

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวทางส่งเสริมและพัฒนาผู้ประกอบการให้ประสบความสำเร็จต้องมีองค์ประกอบหลัก 4 มิติ คือ การเตรียมความพร้อมของผลิตภัณฑ์/บริการ การอบรมให้ความรู้เชิงปฏิบัติการ การส่งเสริมการขาย และการติดตามประเมินผล (อัญญา ดิษฐานนท์ และ อรพรรณ คงมาลัย, 2565) ผู้ประกอบการธุรกิจสามารถเลือกใช้เครื่องมือการตลาดดิจิทัล 5 ด้านคือ ด้านการตลาดเชิงเนื้อหา ด้านเว็บไซต์ ด้านการตลาดสื่อสังคม ด้านการตลาดผ่านจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ และด้านการตัดอันดับการค้นหาหน้าแรก (กรณีพัฒนา อิมประเสริฐ, 2565) จากการศึกษาตลาดดิจิทัลรอบแท่งเนื้อสีทองได้เข้าสู่การค้าแบบออนไลน์มีแนวโน้มสูงขึ้น การเลือกใช้เครื่องมือที่ทันสมัยจะช่วยให้เข้าถึงผู้บริโภค (นิศาชล สิริตนการ, กันตพร ช่วงชิด, 2564)

วิธีการดำเนินการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมของเกษตรกรในชุมชน ขอบเขตงานวิจัยมีดังนี้

1. ขอบเขตด้านพื้นที่ ดำเนินการวิจัยในพื้นที่อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน
2. ประชากร คือ กลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตลำไย อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน
3. กลุ่มตัวอย่าง คือ วิสาหกิจชุมชนพัฒนาผลิตภัณฑ์พืชผักสมุนไพร และผลไม้ บ้านป่าปวย ตำบลบ้านโฮ่ง อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน เนื่องจากวิสาหกิจชุมชนแห่งนี้มีผลิตภัณฑ์ลำไยหลายรูปแบบทั้งลำไยสดและแปรรูปลำไยที่ได้รับมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ IFOAM และ Halal การเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 20 คน จากสมาชิกที่ปลูกลำไยแบบเกษตรอินทรีย์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยใช้แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

1. แบบสัมภาษณ์ เพื่อหาองค์ความรู้ผลิตภัณฑ์ของชุมชนและด้านการตลาด โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์สภาพแวดล้อมชุมชน (SWOT Analysis) แบบจำลองธุรกิจ (Business Model Canvas) และการสร้างความสัมพันธ์ของลูกค้า (Digital CRM)
2. เครื่องมือเทคโนโลยี คือ เว็บไซต์ สื่อวีดิทัศน์ แพลตฟอร์มการซื้อขายสินค้า (E-marketplace) ในเฟซบุ๊กมาร์เก็ตเพลส (Facebook Marketplace) และ ช้อปปี้ (Shopee)
3. แบบสอบถาม ประเมินความพึงพอใจประสิทธิภาพของระบบตลาดดิจิทัลและการอบรมให้ความรู้การตลาดดิจิทัล จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน

วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาบริบทชุมชน จัดเวทีสัมภาษณ์ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตและการตลาดลำไย
2. การสร้างโมเดลธุรกิจตลาดดิจิทัลโดยแผนการวิเคราะห์ SWOT, BMC, Digital CRM เพื่อนำไปสู่การพัฒนาระบบตลาดดิจิทัล การเลือกใช้แพลตฟอร์ม การเลือกกลุ่มลูกค้า
3. พัฒนาระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัล โดยการสร้างเว็บไซต์ด้วยหลักการพัฒนากระบวนการ SDLC เพื่อเปิดร้านบนโลกออนไลน์ และสร้างสื่อวีดิทัศน์เพื่อนำองค์ความรู้ผลิตภัณฑ์มาเผยแพร่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์
4. ประชาสัมพันธ์โปรโมทสินค้าในช่องทางการตลาดดิจิทัลด้วยแพลตฟอร์มการซื้อขายสินค้าเฟซบุ๊ก และ ช้อปปี้
5. การจัดอบรมเชิงปฏิบัติการถ่ายทอดความรู้การตลาดดิจิทัลและเทคโนโลยีดิจิทัลให้กับเกษตรกรในชุมชน ประเมินและสรุปผล

วิธีการรวบรวมข้อมูล

1. ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม การสัมภาษณ์เชิงลึก การสอบถามความพึงพอใจในการอบรมเชิงปฏิบัติการ
2. ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ได้แก่ ศึกษาจากเอกสาร ตำรา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และเอกสารอิเล็กทรอนิกส์จากการสืบค้นทางอินเทอร์เน็ต เป็นต้น

การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้สถิติเชิงพรรณนาในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ใช้รายงานผลค่าเฉลี่ยและจัดอันดับความพึงพอใจโดยการรับรู้ โดยมีเกณฑ์เปรียบเทียบความพึงพอใจ (บุญชม ศรีสะอาด, 2560) คือ

ระดับความพึงพอใจ	ช่วงคะแนน
มากที่สุด	4.51-5.00
มาก	3.51-4.50
ปานกลาง	2.51-3.50
น้อย	1.51-2.50
น้อยที่สุด	1.00-1.50

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยจำแนกตามวัตถุประสงค์ 3 ข้อ ดังรายละเอียดดังนี้

1. ผลการสร้างโมเดลธุรกิจตลาดดิจิทัลของผลผลิตลำไย

จากการศึกษาบริบทและวิเคราะห์สภาพแวดล้อมชุมชน พบว่าวิสาหกิจชุมชนพัฒนาผลิตภัณฑ์พืชผักสมุนไพร และผลไม้ เป็นการรวมตัวของเกษตรกรในหมู่บ้านป่าปวย หมู่ที่ 3 ตำบลบ้านโฮ้ง อำเภอบ้านโฮ้ง จังหวัดลำพูน และหมู่บ้านใกล้เคียง เพื่อแก้ไขปัญหาราคาผลผลิตตกต่ำ มีกิจกรรมหลากหลายที่เกี่ยวเนื่องกัน ปัจจุบันมีสมาชิกรวม 34 คน ได้มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ภูมิปัญญาและปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนมีผลผลิต เช่น ลำไย มะม่วง กระเทียม หอมแดง ผักต่าง ๆ ทางกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ เริ่มจากการพัฒนาคุณภาพของผลผลิตให้มีคุณภาพ สวย ลำไยลูกโตผิวสวย มะม่วงลูกโตได้ขนาดผิวสวย กระเทียมหัวใหญ่ หอมแดงหัวใหญ่ ผักต่าง ๆ คุณภาพดี แต่ราคาต้องเป็นไปตามที่พ่อค้ากำหนด ทางกลุ่มจึงหันมาแปรรูปทำลำไยอบแห้งทั้งเปลือก ลำไยอบแห้งเนื้อสีทอง มะม่วงอบแห้ง และมีการเปลี่ยนผลิตพืชของสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเป็นการทำระบบอินทรีย์ไม่ใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยชีวภาพแทน ผลิตภัณฑ์มีทั้งลำไยสดและแปรรูปลำไย เช่น อบแห้ง อบฟรุ๊ตทราย เยลลี่ก้ามี่ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์และโรงงานแปรรูปได้รับการตรวจรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ (IFOAM) มาตรฐานอาหารฮาลาล (Halal) และเครื่องหมายมาตรฐาน



ภาพประกอบ 1 ผลิตภัณฑ์สินค้าของวิสาหกิจชุมชนพัฒนาผลิตภัณฑ์พืชผักสมุนไพร และผลไม้

การสร้างโมเดลธุรกิจตลาดดิจิทัลจากการสัมภาษณ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชน โดยพบว่า 1) คุณค่าของสินค้าคือ สินค้ามีคุณภาพเป็นเกษตรแบบอินทรีย์ ได้ผ่านการรับรองมาตรฐานสินค้าและมีผลิตภัณฑ์หลายรูปแบบ เกษตรกรมีองค์ความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ลำไยซึ่งนำไปสร้างเนื้อหา (Content) เพิ่มมูลค่าสินค้าได้ 2) กลุ่มลูกค้า ส่วนใหญ่เป็นพ่อค้าคนกลางและลูกค้าประจำ ซึ่งหากในช่วยที่ผลผลิตมีมากก็จะทำให้ราคาลดลง จึงมีความต้องการเพิ่มกลุ่มลูกค้ามากขึ้น 3) ช่องทางการเข้าถึงลูกค้า หากเป็นทางออนไลน์จะใช้ช่องทางไลน์และเฟซบุ๊กซึ่งมีข้อจำกัดในการเข้าถึงกลุ่มลูกค้า สมาชิกมีความต้องการใช้แพลตฟอร์มอื่นที่เข้าถึงกลุ่มลูกค้ามาก 4) ความสัมพันธ์กับลูกค้า จะใช้วิธีการลดราคาและความเอาใจใส่ลูกค้า แต่ยังขาดระบบฐานข้อมูลสินค้าให้ลูกค้าเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย 5) รายได้หลัก ส่วนใหญ่มาจากลูกค้าและมีโครงการทางการเกษตรสนับสนุนจากภาครัฐ เอกชน และงานวิจัยจากสถานศึกษา 6) ทรัพยากรหลัก มีพื้นที่เพาะปลูกอุดมสมบูรณ์ มีโรงงานผลิตและเครื่องมือที่สามารถแปรรูปผลผลิตได้ 7) กิจกรรมหลัก ได้ร่วมงานแสดงสินค้าทั้งในระดับจังหวัดและระดับในประเทศ วิสาหกิจชุมชนแห่งนี้มีองค์ความรู้ผลิตผลลำไย กระเทียม หอมแดง และพืชผักสมุนไพรอื่น จึงเป็นศูนย์การเรียนรู้ที่มีหน่วยงานอื่นมาศึกษาดูงานหลายหน่วยงาน 8) พันธมิตร มีทั้งพันธมิตรทางการค้าและหน่วยงานที่สนับสนุน 9) โครงสร้างต้นทุน เช่น ค่าแรงงาน ค่าปุ๋ย ค่าบรรจุหีบห่อ ค่าน้ำ ไฟฟ้า เป็นต้น จึงมีต้นทุนสูง แสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1 โมเดลธุรกิจตลาดดิจิทัลของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนพัฒนาผลิตภัณฑ์พืชผักสมุนไพร และผลไม้
อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน**

โมเดลธุรกิจตลาดดิจิทัลของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนพัฒนาผลิตภัณฑ์พืชผักสมุนไพร และผลไม้				
พันธมิตร (Key Partners) - กลุ่มวิสาหกิจชุมชน อื่นที่ใกล้เคียง - หน่วยงานภาครัฐ และ สถาบันการศึกษา ที่ร่วมวิจัย	กิจกรรมหลัก (Key Activities) - การออกบูธแสดงสินค้า - เป็นศูนย์เรียนรู้ให้มา ศึกษาดูงาน	คุณค่าสินค้า (Value Proposition) - เป็นสินค้าเกษตร อินทรีย์ได้มาตรฐาน - มีผลิตภัณฑ์หลาย รูปแบบ - มีองค์ความรู้ในผลิต สินค้า	ความสัมพันธ์กับลูกค้า (Customer Relationships) - อธิบายเป็นมิตรกับ ลูกค้าทุกคน - การลดราคา ช่องทางเข้าถึงลูกค้า (Channels) - ทางโทรศัพท์ - ไลน์, เฟซบุ๊ก - บริษัทขนส่ง - งานแสดงสินค้า	กลุ่มลูกค้า (Customer Segments) - พ่อค้าคน กลาง - ลูกค้า ประจำ - ลูกค้าทั่วไป
โครงสร้างต้นทุน (Cost Structure) - ต้นทุนการผลิตมีวัตถุดิบ/ แรงงาน ประมาณ 50% - การบริหารจัดการ ประมาณ 10% - ค่าวัสดุ ประมาณ 40%			รายได้หลัก (Revenue Streams) - รายได้หลักมาจากลูกค้า และมีโครงการ สนับสนุนจากภาครัฐและเอกชน	

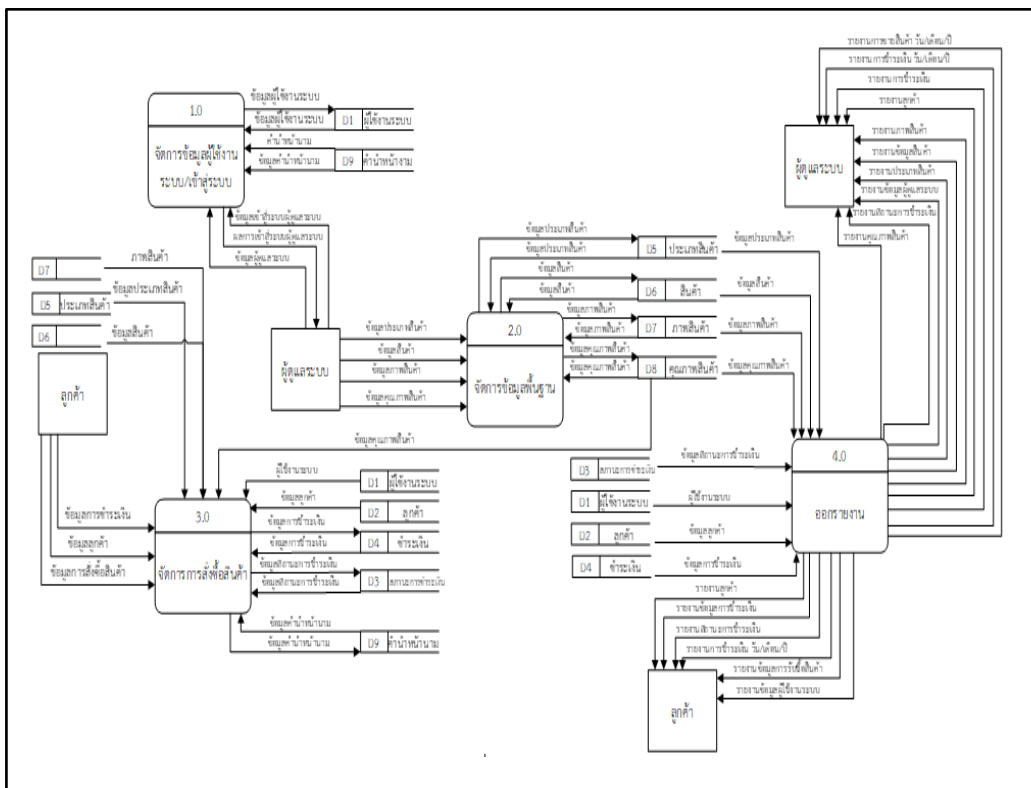
การสร้างความสัมพันธ์ของลูกค้า การสร้างความสัมพันธ์ของลูกค้าตามแนวคิดของ Kotler and Keller (2012) มีองค์ประกอบ 5 ส่วนคือ การสร้างการรับรู้ให้กับลูกค้า การทำให้ลูกค้าสนใจสินค้า การสร้างช่องทางให้กับลูกค้าสอบถามได้ การเข้าถึงการตัดสินใจซื้อของลูกค้า และการทำให้ลูกค้าบอกต่อหรือกลับมาซื้อสินค้าซ้ำ จากการสัมภาษณ์วิสาหกิจชุมชนมีแนวทางการสร้างความสัมพันธ์กับลูกค้า คือ 1) กลุ่มลูกค้าใหม่ ซึ่งต้องการเพิ่มฐานลูกค้าทั่วไปให้กว้างขึ้นโดยเพิ่มช่องทางติดต่อออนไลน์ทางเว็บไซต์ สื่อวีดิทัศน์ เฟซบุ๊กมาร์เก็ตเพลส ซอปปี้ 2) รักษาลูกค้า โดยจะสร้างคอนเทนต์ในสื่อออนไลน์และจัดโปรโมชั่นลดราคาสินค้าเพื่อกระตุ้นความสนใจลูกค้า 3) ความภักดีในการใช้สินค้า โดยจะควบคุมทั้งคุณภาพสินค้า การให้บริการตอบคำถามหรือการส่งสินค้าให้เกิดความพึงพอใจ การวิเคราะห์พฤติกรรม การซื้อสินค้าเพื่อนำเสนอสินค้าได้ตรงกลุ่มลูกค้า

2. ผลพัฒนาระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัลสำหรับผลผลิตลำไย

จากการวิเคราะห์ข้างต้น นำแนวทางมาพัฒนาระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัล 2 ส่วนคือ การพัฒนาเว็บไซต์ และสร้างสื่อวีดิทัศน์ แสดงดังนี้

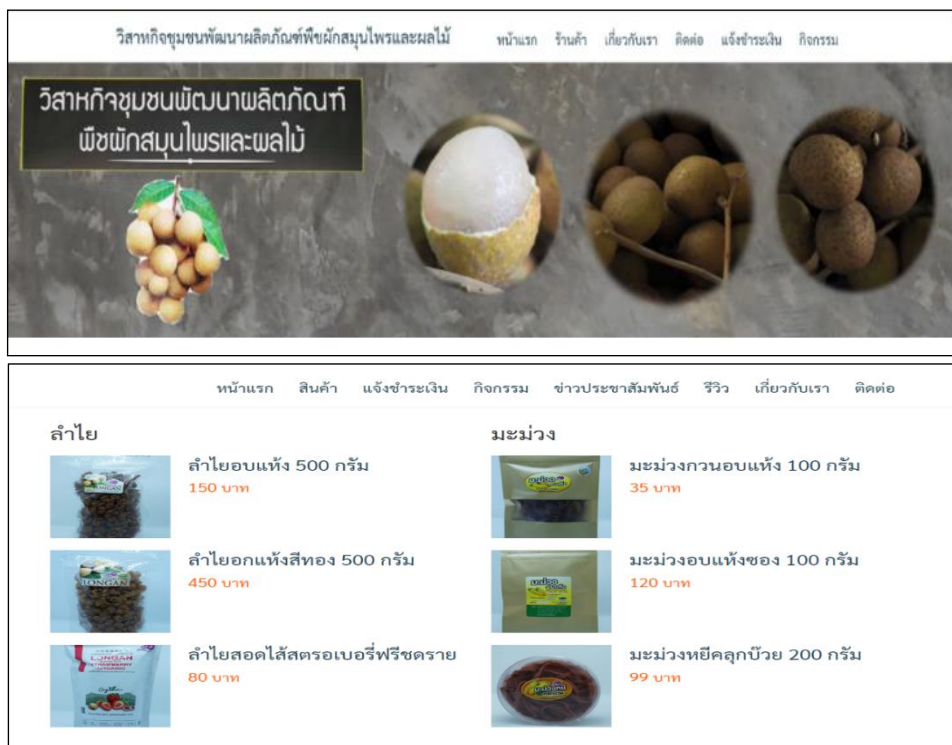
2.1 การพัฒนาเว็บไซต์

การพัฒนาเว็บไซต์โดยใช้หลักการพัฒนาระบบ SDLC คือ วิเคราะห์ปัญหา ศึกษาความเป็นไปได้ วิเคราะห์ระบบ ออกแบบระบบ พัฒนาและทดสอบ การติดตั้ง และการบำรุงรักษา โปรแกรมจัดการฐานข้อมูลคือ Mysql และภาษาที่ใช้ในพัฒนาระบบคือ HTML, PHP, Java Script แสดงผลการวิเคราะห์ตั้งแต่แผนภาพการไหลของข้อมูล ภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แผนภาพรวมกระแสข้อมูลระดับที่ 0 (Data Flow Diagram Level 0)
ระบบตลาดดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการตลาดของผลผลิตลำไย

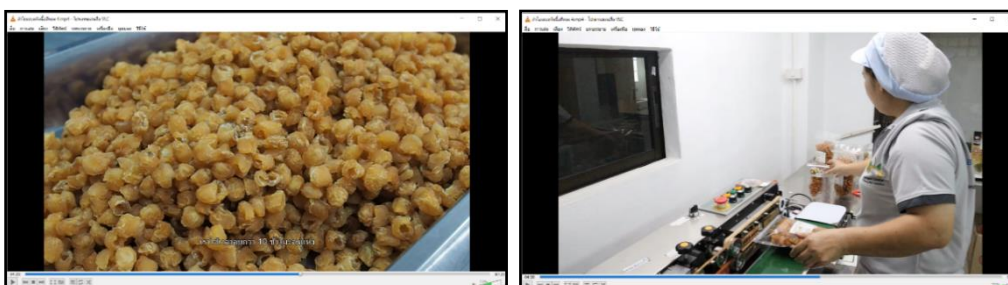
จากภาพประกอบ 2 ได้นำมาพัฒนาเว็บไซต์โดยมีฟังก์ชันการทำงาน คือ 1. การเข้าสู่ระบบ 2. การจัดการข้อมูลพื้นฐานคือ ประเภทสินค้า สินค้า ภาพสินค้า 3. การจัดการสั่งซื้อสินค้า คือ การสั่งซื้อสินค้า การชำระเงิน และรายงานต่าง ๆ ซึ่งนำไปพัฒนาเว็บไซต์ในเมนูต่าง ๆ ให้ทำงานตามฟังก์ชันที่ได้ออกแบบ และได้ผ่านการประเมินด้านคุณภาพของระบบแล้วดังรายละเอียดข้อ 3.2 ถัดไป สามารถใช้งานเว็บไซต์ได้ที่ <http://www.longan.cmru.ac.th> ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 หน้าเว็บไซต์วิสาหกิจชุมชนพัฒนาผลิตภัณฑ์พืชผักสมุนไพร และผลไม้

2.2 การสร้างสื่อวีดิทัศน์

สื่อวีดิทัศน์เกี่ยวกับความรู้ลำไยอบแห้งเนื้อสีทองของวิสาหกิจชุมชน ได้ทำการสร้างสื่อและประเมินคุณภาพของสื่อดังรายละเอียดข้อ 3.2 ถัดไป ตัวอย่างสื่อวีดิทัศน์แสดงดังภาพประกอบ 4

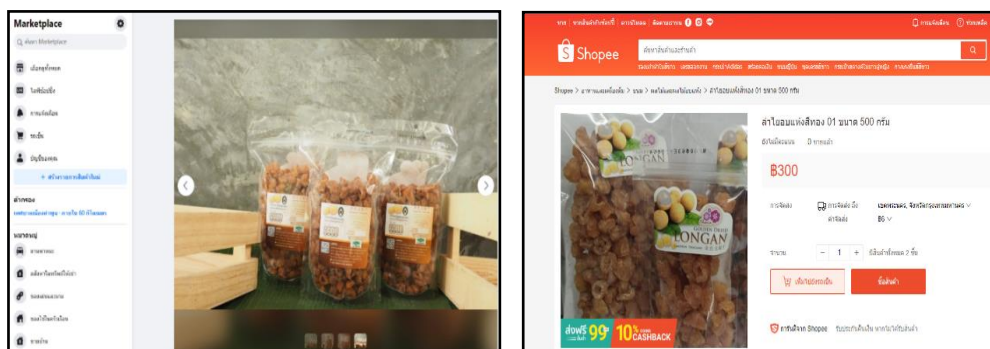


ภาพประกอบ 4 สื่อวีดิทัศน์ความรู้ลำไยอบแห้งเนื้อสีทองของวิสาหกิจชุมชน

3. ผลการเผยแพร่การใช้ระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการตลาดของผลผลิตลำไย

3.1 ประชาสัมพันธ์โปรโมชั่นสินค้าในช่องทางการตลาดดิจิทัล

นอกจากการสร้างเว็บไซต์และสื่อวีดิทัศน์ในการโปรโมทสินค้าแล้ว ได้เพิ่มช่องทางโปรโมทสินค้าทางเฟซบุ๊กมาร์เก็ตเพลส และช้อปปี้ ให้กระจายช่องทางในการจำหน่ายสินค้าและบริการตอบกลับลูกค้าได้สะดวกขึ้น ตัวอย่างแสดงดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 ตัวอย่างการโปรโมทสินค้าในเฟซบุ๊กมาร์เก็ตเพลส และช้อปปี้

ผลการเผยแพร่ประชาสัมพันธ์การใช้ระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัลพบว่า มีกลุ่มลูกค้าเพิ่มขึ้น โดยลูกค้าสามารถรายละเอียดของสินค้าผ่านทางเว็บไซต์และสื่อวีดิทัศน์ ช่วยทำให้ลูกค้าได้ข้อมูลในการตัดสินใจซื้อสินค้าในแพลตฟอร์มอื่น ๆ ได้สะดวกขึ้น

3.2 การจัดอบรมเชิงปฏิบัติการถ่ายทอดความรู้การตลาดดิจิทัลและเทคโนโลยีดิจิทัล

เนื่องจากมีสมาชิกเพียงบางส่วนที่สามารถใช้ซื้อขายสินค้าออนไลน์ และอีกหลายคนที่ยังขาดทักษะการขายสินค้าออนไลน์ จึงจัดอบรมเชิงปฏิบัติการถ่ายทอดความรู้การตลาดดิจิทัลและเทคโนโลยีดิจิทัลให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชน โดยเชิญวิทยากรที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญด้านการตลาดดิจิทัลและการใช้แพลตฟอร์มเฟซบุ๊กมาร์เก็ตเพลส และช้อปปี้ ในการอบรมครั้งนี้ มีการประเมินความพึงพอใจจากผู้เข้าร่วมอบรม จำนวน 20 คน โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การประเมินความพึงพอใจในด้านคุณภาพของระบบตลาดดิจิทัลและการถ่ายทอดความรู้การนำไปใช้งาน การประเมินผลโดยใช้สถิติค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่า ผลการประเมินความพึงพอใจคุณภาพของระบบตลาดดิจิทัลและการถ่ายทอดความรู้การนำไปใช้งาน โดยภาพรวมมีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.22$, $S.D. = 0.63$) เมื่อพิจารณาแยกเป็น 2 ส่วนแล้วมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 การประเมินความพึงพอใจในด้านคุณภาพของระบบตลาดดิจิทัล ผลสรุปโดยภาพรวมมีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.15$, S.D.=0.69) โดยหัวข้อที่มีลำดับค่ามากที่สุด 3 อันดับแรกคือ ความสามารถของระบบในการนำไปใช้ประโยชน์ ($\bar{X} = 4.40$, S.D.=0.60) รูปแบบการใช้งานระบบโดยรวมมีความสมบูรณ์ ($\bar{X} = 4.40$, S.D.=0.65) และสามารถตอบโจทย์ความต้องการของผู้ใช้ ($\bar{X} = 4.20$, S.D.=0.62) ตามลำดับ

ส่วนที่ 2 การประเมินความพึงพอใจต่อการถ่ายทอดความรู้การนำไปใช้งาน ผลสรุปโดยภาพรวมมีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.24$, S.D.=0.63) โดยหัวข้อที่มีลำดับค่ามากที่สุด 3 อันดับแรกคือ วิทยากรตอบคำถามได้ตรงประเด็นชัดเจน ($\bar{X} = 4.50$, S.D.=0.52) สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้ ($\bar{X} = 4.35$, S.D.=0.57) และวิทยากรถ่ายทอดความรู้ได้ถูกต้องชัดเจนเข้าใจง่าย ($\bar{X} = 4.30$, S.D.=0.62) ตามลำดับ

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบตลาดดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการตลาดของผลผลิตลำไย อำเภอบ้านไธสง จังหวัดลำพูน ได้ดำเนินการกับกลุ่มตัวอย่างคือ วิสาหกิจชุมชนพัฒนาผลิตภัณฑ์พืชผักสมุนไพร และผลไม้ โดยมีผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์คือ

วัตถุประสงค์ที่ 1 สร้างโมเดลธุรกิจตลาดดิจิทัลของผลผลิตลำไย ได้ดำเนินโดย 1) ศึกษาบริบทและสัมภาษณ์ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตและการตลาด วิเคราะห์สภาพแวดล้อม พบว่า จุดแข็งของกลุ่มคือด้านผลิตภัณฑ์ ผลผลิตลำไยของวิสาหกิจชุมชนมีทั้งแบบลำไยสดและลำไยแปรรูป มีโรงงานแปรรูปและผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ แต่ยังพบปัญหาด้านการตลาดที่ยังคงถูกเอาเปรียบจากพ่อค้าคนกลาง ช่องทางในการจำหน่ายสินค้ายังมีไม่มากและขาดการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการจัดการ จึงต้องมีการส่งเสริมทางด้านการตลาด สอดคล้องกับงานวิจัยของอัญญฐา ดิษฐานนท์ และ อรพรรณ คงมาลัย (2565) ที่ว่าผู้ประกอบการจะประสบความสำเร็จได้ต้องมีองค์ประกอบความพร้อมผลิตภัณฑ์ การส่งเสริมการตลาด และการให้ความรู้เชิงปฏิบัติการ 2) ศึกษาแบบจำลองธุรกิจ Business Model Canvas พบว่าด้านคุณค่าสินค้า กลุ่มเกษตรกรมีองค์ความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เป็นอย่างดีสามารถเล่าเรื่องราวเพื่อให้เป็นคุณค่าสินค้าได้ จึงไปสร้างการตลาดเชิงเนื้อหาได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของกรณีย์พัฒน์ อัมประเสริฐ (2565) ว่าการตลาดดิจิทัลต้องมีคอนเทนต์เนื้อหาที่น่าสนใจที่ด้านกลุ่มลูกค้าวิสาหกิจชุมชนมีความต้องการเพิ่มฐานข้อมูลลูกค้ามากขึ้น จึงพิจารณาด้านช่องทางการเข้าถึงลูกค้าซึ่งยังมีไม่มากโดยเฉพาะทางออนไลน์และความสัมพันธ์ลูกค้า ดังนั้นจึงวิเคราะห์ในส่วนที่ 3) ความสัมพันธ์ของลูกค้า (Digital CRM) ตามแนวคิดของ Kotler and Keller (2012) ให้ตระหนักการรับรู้และให้ลูกค้าสนใจ สร้างช่องทางติดต่อให้กับลูกค้า เข้าถึงการตัดสินใจซื้อของลูกค้าและกลับมา

ซื้อซ้ำได้ (จิตาพัชญ์ ไยเทศ, ฤฎาภา รมภูชัยพฤษ และ อธิกัญญ์ มาลี, 2565) ผลการสอบถามวิสาหกิจชุมชน พบว่ามีความต้องการโดยนำเสนอเนื้อหาในรูปแบบสื่อเว็บไซต์เพื่อรวบรวมข้อมูลสินค้า การทำวีดิทัศน์นำเสนอองค์ความรู้ให้เห็นคุณค่าสินค้า และใช้แพลตฟอร์มในตลาดออนไลน์เพื่อเป็นช่องทางในการจำหน่าย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Castronovo and Huang (2012) ที่กล่าวถึงกระบวนการสร้างสื่อสารตลาดดิจิทัลต้องเลือกกลุ่มลูกค้า สร้างสรรค์เนื้อหาข่าวสาร และคัดสรรช่องทางสำหรับการสื่อสาร

วัตถุประสงค์ที่ 2 พัฒนาระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัลสำหรับผลผลิตลำไย โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1) การพัฒนาเว็บไซต์ ด้วยหลักการพัฒนาระบบ SDLC (โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์, 2560) เพื่อรวบรวมสินค้าเปิดร้านบนโลกออนไลน์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของภริราภรณ์ บุตรขอ, อรยา อินตะชิล, เนตรดาว โทธรัตน์ และพิมาย วงค์ทา (2565) งานวิจัยของชนินทร์ มหัทธนชัย และคณะ (2565) ในหลักการพัฒนาระบบ 2) การสร้างสื่อวีดิทัศน์เพื่อนำองค์ความรู้ผลิตภัณฑ์มาเผยแพร่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์ที่ 3 เผยแพร่การใช้ระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการตลาดของผลผลิตลำไย โดย 1) การประชาสัมพันธ์ช่องทางการตลาดด้วยระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัล ได้ใช้ช่องทางเว็บไซต์ สื่อวีดิทัศน์ และเพิ่มช่องทางโปรโมทสินค้าทางเฟซบุ๊กมาร์เก็ตเพลส และช้อปปี้ ให้กระจายช่องทางในการจำหน่ายสินค้าและบริการตอบกลับลูกค้าได้สะดวกขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Castronovo and Huang (2012) ในการให้บริการช่องทางในการสื่อสาร งานวิจัยของ หทัยชนก ว่องเจริญพร (2565) การตลาดดิจิทัลที่ส่งผลต่อความพึงพอใจและความภักดีของลูกค้า 2) ถ่ายทอดความรู้การตลาดดิจิทัลและเทคโนโลยีดิจิทัลให้กับเกษตรกรในชุมชน โดยจัดอบรมเชิงปฏิบัติการให้กับสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชน จำนวน 20 คน เพื่อให้มีความรู้และทักษะนำไปใช้การทำตลาดออนไลน์ได้ สอดคล้องกับการอบรมผู้ประกอบการออนไลน์ของอัญญิฐา ดิษฐานนท์ และ อรพรรณ คงมัลย์ (2565) และรูปแบบการประเมินประสิทธิภาพของระบบในงานวิจัยของ อรรวรรณ แท่งทอง (2561) และภริราภรณ์ บุตรขอ, อรยา อินตะชิล, เนตรดาว โทธรัตน์ และพิมาย วงค์ทา. (2565) ผลการประเมินความพึงพอใจคุณภาพของระบบตลาดดิจิทัลและการถ่ายทอดความรู้การนำไปใช้งาน โดยภาพรวมมีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ =4.22, S.D.=0.63) เมื่อพิจารณาส่วนที่ 1 การประเมินความพึงพอใจในด้านคุณภาพของระบบตลาดดิจิทัล โดยภาพรวมมีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ =4.15, S.D.=0.69) และส่วนที่ 2 การประเมินความพึงพอใจต่อการถ่ายทอดความรู้การนำไปใช้งาน โดยภาพรวมมีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ =4.24, S.D.=0.63)

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. รูปแบบโมเดลธุรกิจตลาดดิจิทัล จะนำไปใช้วางแผนการตลาดดิจิทัล สร้างการรับรู้ ช่องทางในการติดต่อ และการตัดสินใจซื้อให้กับลูกค้าได้
2. ระบบเทคโนโลยีตลาดดิจิทัลในรูปแบบเว็บไซต์ สามารถนำมาใช้เปิดร้านค้าออนไลน์ และหากมีวิสาหกิจชุมชนกลุ่มอื่นต้องการนำไปใช้งาน ก็สามารถปรับข้อมูลสินค้าในระบบและนำไปใช้งานได้

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาสร้างกลยุทธ์การตลาดดิจิทัลเพื่อกำหนดเป้าหมาย กลุ่มลูกค้า ช่องทางโปรโมชัน การตัดสินใจซื้อของลูกค้า
2. การศึกษาวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงลึกของลูกค้า ให้เข้าถึงกลุ่มลูกค้าเป้าหมายได้
3. ศึกษาเทคนิคเชื่อมโยงถึงลูกค้ากลุ่มออฟไลน์ให้เข้ามาอยู่ในกลุ่มออนไลน์ เพื่อเพิ่มช่องทางการติดต่อลูกค้าช่วยให้เกิดการรักษาลูกค้าไว้

บรรณานุกรม

- กรณีย์พัฒน์ อิมประเสริฐ. (2565). การใช้เครื่องมือการตลาดดิจิทัลเพื่อให้ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อสินค้าง่ายขึ้น. *วารสารบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์*, 1(1), 1-15.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรมพัฒนาที่ดิน. (2564). *แนวทางการส่งเสริมการเกษตรที่เหมาะสมตามฐานข้อมูลแผนที่เกษตรเชิงรุก AGRI-MAP จังหวัดลำพูน*. ลำพูน: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- จิตาพัชญ์ ไยเทศ, ลฎาภา ร่มอุชัยพฤกษ์ และ อธิกัญญ์ มาลี. (2565). การพัฒนากลยุทธ์การตลาดดิจิทัลผลิตภัณฑ์ชุมชนในจังหวัดนครสวรรค์. *Journal of Roi Kaensarn Academi*, 8(3), 83-95.
- ชนินทร์ มหัทธนชัย, บุษราภรณ์ มหัทธนชัย, จิตราภรณ์ ธาราพิทักษ์วงศ์, ทิยาวลัย ต๊ะการ, วาสนา สันติธรรมา และ ประยูร ไชยบุตร. (2565). นวัตกรรมดิจิทัลเพื่ออนุรักษ์ภูมิปัญญาการปลูกและส่งเสริมการตลาดผลิตภัณฑ์ไม้สัก. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์*, 6(1), 61-75.
- นิสาชล ลีรัตนกร และ กันตพร ช่วงชิด. (2564). ตลาดดิจิทัลของลำไยอบแห้งเนื้อสีทอง: การวิเคราะห์โดยใช้วิทยาการข้อมูล (Data Science). *วารสารวิจัยราชภัฏธนบุรีรับใช้สังคม*, 7(2).

- บุญชม ศรีสะอาด. (2560). *การวิจัยเบื้องต้น* (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- ภิราภรณ์ บุตรขอ, อรยา อินตะขิล, เนตรดาว โทธรัตน์ และ พิมาย วงศ์ทา. (2565). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อจัดจำหน่ายสินค้าวิสาหกิจชุมชน กรณีศึกษา กลุ่มผลิตหมวกยางพารา อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ*, 2(2), 43-53.
- สำนักงานจังหวัดลำพูน. (2566). *แผนพัฒนาจังหวัดลำพูน พ.ศ. 2566-2570* (ฉบับทบทวน พ.ศ. 2567). ลำพูน: สำนักงานจังหวัดลำพูน.
- สถานนโยบายวิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ. (2560). *ยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม 20 ปี พ.ศ. 2560-2579*. กรุงเทพฯ: บริษัท โคคุน แอนด์ โค จำกัด.
- หทัยชนก ว่องเจริญพร. (2565). *การตลาดดิจิทัลที่ส่งผลต่อความพึงพอใจและความภักดีของลูกค้า*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). อดิเรก: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์.
- อรรณพ แห่งทอง. (2561). การพัฒนาระบบสารสนเทศด้านการตลาดเพื่อส่งเสริมผลิตภัณฑ์จากปลาช่อนแม่ลา อำเภอบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี. *วารสารสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 5(2), 253-266.
- อัญญา ดิษฐานนท์ และ อรพรรณ คงมาลัย. (2565). โมเดลการพัฒนาผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อมเข้าสู่ตลาดออนไลน์อย่างประสบความสำเร็จ. *วารสารเกษตรศาสตร์ธุรกิจประยุกต์*, 16(25), 1-24.
- โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. (2560). *การวิเคราะห์และออกแบบระบบ* (ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- Castronovo, C. & Huang, L. (2012). Social Media in an Alternative Marketing Communication Model. *Journal of Marketing Development & Competitiveness*, 6, 117-136.
- Kotler, P. & Keller, K.L. (2012). *Marketing Management*. 14th Edition, Pearson Education.
- Wertime, K. & Fenwick, L. (2008). *DigiMarketing*. Singapore: John Wiley & Sons (Asia) Pte. Ltd.

Quality of life in the outbreak of COVID-19 and related factors in public health students in Thailand. A Case Study of Public Health Students, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University.

Chawiwat Yord-in*, Maneenuch Haisirikul and Thanart Armartmuntri

Program in Public Health, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University, Thailand

E-mail: Chawiwat.rom@gmail.com

Received : May 1, 2023
Revised : June 8, 2023
Accepted : June 22, 2023

ABSTRACT

A cross-sectional survey was conducted to study the quality of life and factors affecting the quality of life of 83 students majoring in Public Health at Buriram Rajabhat University during the COVID-19 pandemic. A random sample of 83 students was selected from a population of 350 students. The World Health Organization Quality of Life-BREF Thai version (WHOQOL-BREF-THAI) was used to measure the quality of life. Descriptive statistics, percentages, and Fisher's Exact Test were used to analyze the data.

The results showed that the overall quality of life of the students was relatively good, with 42 (50.61%) of the students reporting a good quality of life. When considering the individual domains, the psychological and social relationship domains had a good quality of life, with 50 and 46 students, respectively (60.24% and 55.42% respectively). However, the environmental and physical health domains had a poor quality of life, with 50 and 46 students, respectively (60.24% and 55.42% respectively). Only the body mass index factor was found to be statistically significantly correlated with the level of the social relationship domain ($p < 0.05$).

Keywords: quality of life, public health students, Coronaviruss -2019

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงสำรวจแบบภาคตัดขวาง เพื่อศึกษาระดับคุณภาพชีวิตและศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพชีวิตของนักศึกษาสาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ในประเทศไทย เก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 83 คน ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มจากประชากรทั้งหมด 350 คน โดยใช้เครื่องมือชี้วัดคุณภาพชีวิตขององค์การอนามัยโลกชุดย่อ ฉบับภาษาไทย (WHOQOL-BREF-THAI) นำเสนอผลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ และสถิติเชิงอนุมาน Fisher's Exact Test

การวิจัย พบว่านักศึกษามีคุณภาพชีวิตโดยรวมอยู่ในระดับดี จำนวน 42 คน (50.61%) เมื่อพิจารณาองค์ประกอบเป็นรายด้าน พบว่า ด้านจิตใจและด้านสัมพันธภาพทางสังคมมีคุณภาพชีวิตอยู่ในระดับดี จำนวน 50 คน และ 46 คน ตามลำดับ (60.24%, 55.42% ตามลำดับ) ส่วนด้านสิ่งแวดล้อมและด้านสุขภาพกายมีคุณภาพชีวิตอยู่ในระดับไม่ดี จำนวน 50 คน และ 46 คน ตามลำดับ (60.24%, 55.42% ตามลำดับ) และมีเพียงปัจจัยดัชนีมวลกายที่มีความสัมพันธ์กับระดับองค์ประกอบด้านสัมพันธภาพทางสังคมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: คุณภาพชีวิต นักศึกษาสาธารณสุขศาสตร์ เชื้อไวรัสโคโรนา 2019

Introduction

The United Nations (1997) defined quality of life in notion of human welfare (well-being) measured by social indicators rather than by “quantitative” measured of incomes and production. Quality of Life defined by the World Health Organization (2012) as an “individuals” perceptions of their position in life in the context of the culture and value systems in which they live and in relation to their goals, expectations, standards and concern”. It is a brand ranging concept incorporating in a complex way the person’s physical health, psychological state, level of independence, social relationships, personal beliefs, and their relationships to salient features of the environments. As a matter of fact; quality of life is very important to the country development. This is because it is development in an individual, family and community levels having relationships to each other. Consequently, it has an effect on the country development as a whole. The measurement of people’s quality of life has tools of both an individual

and the country overview. In Thailand, the overall quality of life indicators are based on basic needs which are data used for the determination of minimum standards in basis household necessities. People can develop their livelihoods which at least must pass criteria of basic needs and the minimum benchmark is considered to be revised every five years. This is by setting up indicators on health, environment, education, employment and incomes, and value (Ministry of Interior, 2016). Meanwhile, Thai version of the world health organization's Quality of Life indicators (WHOQOL-BREF-THAI or WHOQOL-26) is popular to apply and it was developed by Mahatnirunkul et al. (2002) from the quality-of-life indicators of the World Health Organization. It is the assessment of quality of life based on 4 aspects: physical health, mind, social relationships and environment. This is under the conceptual framework of level measuring by valuing the subjective values that are ingrained in the contexts of culture, society and environment. It focused on the perceived quality of life of the respondents. In fact, it is not expected to be a method for measuring the details of any disease or condition but it is an assessment of the effect of disease and treatment on the quality of chevron in a given situation.

According to the current situation of the Corona virus 2019 pandemic, it is found that throughout the world, as well as Thailand, there are impacts of the Corona virus 2019 pandemic. The number of infected people until August 5, 2022, will be 586,517,091 cases, 6,430,411 deaths, and 556,549,727 recoveries. An epidemic has been found in Thailand since 2020 and has severely spread across the country. According to data on the number of infected people from Thailand's COVID Situation Administration Center, there were 4,600,978 infected people, 32,529 deaths, and 4,548,639 recoveries (Trueid, 2022). Initially, it was expected that Thailand would be able to control the epidemic in 2021, but the epidemic was heavily spread and mutated into several subspecies. Also, it was expected that there would be a continual epidemic up to 2023. For the control of the epidemic, Thailand has measures for public health in terms of control according to the guidelines of the World Health Organization, such as maintaining social distance, wearing a protective mask, and speeding up vaccination. For the well-being of the people, the government sector has measures to stimulate the economy, such as a one trillion baht loan to solve the problem of public health and alleviate the suffering of people, as well as the country's economic rehabilitation. It is expected that 44 million

Thai people will benefit from the government sector's project during the COVID-19 pandemic.

Due to the ongoing outbreak, it is expected that the economy will not recover to the same level as before the epidemic, thus affecting vulnerable people who have to bear the burden of living. According to a World Bank survey and Gallup Poll (World Bank Blog, 2021) which conducted an urgent telephone survey of 2,000 people aged 18 years and older between April 27 and June 15, 2021 (using personal and family data such as occupation, income, food, access to health services, and vaccination), it was found that since the outbreak of the disease, Thailand has had 68% overall employment. It was found that employment in urban areas is declining but increasing in rural areas. This is because some of the population moved out of the city to return to the agricultural sector, which was their original hometown. Besides, more than 50 percent of people affected by the epidemic were forced to quit their full-time jobs. Also, some people had to reduce their working hours or compensation. These changes affected low-income households and had a significant impact on the education sector. Women with families and children had to bear the additional burden of care during the outbreak. More than 70 percent of people had decreased household incomes. With women burdened with additional care during the pandemic, the number of people receiving government welfare benefits nearly doubled from 2019.

In light of the aforementioned situation, the government has implemented a project to help the non-agricultural sector. Farming households will receive compensation from the "We Don't Leave You Behind" project for informal and independent workers. This includes other farmer assistance programs that cover 63 percent of farmers. Besides, it is found that low-income households and women having children (more than 60%) lack food to sustain life. About 40% have to endure starvation and worry about not having money to buy food to sustain life. This includes medical access, which was also limited during the epidemic, although these are community-based COVID-19 testing centers. It is because of limited operations that vaccination rates are still low since groups of people are not confident in side effects. Furthermore, the outbreak also affects education conditions in which attendance in online and on-site formats is normally restricted. In rural areas, few students go to school since they are worried about the risk of infection and lack of concentration while studying. Not only this, but some students cannot access learning equipment due to poverty (World Bank Blog, 2021).

Due to the aforementioned situation, different levels of educational institutions need to conduct teaching and learning in order to prepare quality personnel for the country under the limitations of the epidemic. Luckily, the government sector has integrated all sectors to be able to move forward in economy, society, education, livelihoods, and way of life in a universal form (the New Normal) for a better life. In the current situation, it has begun to relax the strictness of disease prevention and control and prepare to declare it an endemic disease. Meanwhile, the educational institutions had adapted themselves to be suitable for teaching and learning. This is particularly true for higher education institutions that produce professional personnel, like public health. There is improvement in teaching and learning forms (both theories and practice) to produce quality personnel in health services, health promotion, disease prevention and control, health care, health rehabilitation, and consumer protection. Therefore, this study can well reflect the needs of health personnel in the future. This will help create a learning process from self-assessment for development based on professional knowledge and skills and a better quality of life.

Materials and Research Methodology

This study was cross-sectional survey research aimed at exploring the quality level and factors related to quality of life among public health students at the Faculty of Science at Buriram Rajabhat University. This was under the epidemic situation of the Corona virus 2019 in Thailand and measures of teaching and learning facilitation at Buriram Rajabhat University. This was in accordance with the approach of the government sector and the Ministry of Public Health. Due to the easing of the epidemic, teaching and learning facilitation became on-site again.

An abbreviated Thai version of the World Health Organization's Quality of Life indicators by Mahatnirunkul et al. (2002) was developed from the WHOQOL-BREF-100, with reliability (Cronbach's alpha coefficient) at 0.8406 and validity at 0.6515. Compared to the Thai version of the WHOQOL-100 measurement, there were 26 items (WHOQOL-26) that the World Health Organization formally recognized. It consisted of two types of questions: the perceived objective and the self-reported subjective, used for inquiring about a level of feeling during the past two weeks. It involved quality of life components such as physical health, mental health, social relationships, the environment, and overall quality of life.

The team of researchers organized the questions into categories and rated them into two groups: the not-good group and the good group for each component, including overall quality of life. Then, determining the health of the Department of Health, Ministry of Public Health. It was divided into internal factors and external factors (Ministry of Public Health, 2013). The former included sex, body mass index, and learning outcomes. The latter included domicile, current residence, marital status of guardians, main occupation of guardians, and average monthly incomes of guardians. Hypothesis that internal and external factors affect the quality of life of the public health students at the Faculty of Science, Buriram Rajabhat University. This study was conducted in the first semester of the academic year 2022, during June–September 2022. Eighty-three samples out of 350 third-year public health students were obtained by cluster random sampling (Office of Academic Promoting and Registration, Buriram Rajabhat University, 2022).

A set of questionnaires was used for data collection based on components of quality of life level measurement in four aspects: 1) Physical: the questions involved perception of physical fitness condition, ability in daily life practice, and non-reliance on drugs or medical treatment; 2) Mental: the questions involved perception of self-image, self-esteem, self-confidence, and the ability to manage sadness or worry; 3) Social relationship: the question involved perception of their relationships with other people in society, getting help from other people, and sexual mood; and 4) Environmental : the question involved perception of the environment having an effect on lifestyle, independent living, safety and security in life, living in a good physical environment, convenient transportation, financial benefits, health service, and social welfare places, an opportunity to receive information or training, and recreation or pastime activities. The questionnaire asked about experiences over the past two weeks. The respondents must explore and assess their own experiences or feelings in various aspects and choose the most appropriate true answer.

The questionnaires had 5 possible answers: 1) Lowest (no feeling at all); 2) Low (seldom have the feeling); 3) Moderate (moderate satisfaction); 4) High (often have such a feeling); and 5) Highest (always have such a feeling or feel good). Scoring for the quality of life was measured using a total of 26 question items. It was a 5-rating scale comprising 23 positive question items and 3 negative question items (items 1, 5 and 12). In other words, there were 2 groups, as follows:

Group 1 (Positive questions)			Group 2 (Negative questions)		
Level	=	Score	Level	=	Score
Lowest	=	1	Lowest	=	5
Low	=	2	Low	=	4
Moderate	=	3	Moderate	=	3
High	=	4	High	=	2
Highest	=	5	Highest	=	1

The interpretation of quality-of-life levels was applied by dividing into 2 groups: not good and good groups (adapted from Mahatnirunkul et al., 2002).

Physical health-score 7-26 = not good, 27-35 = good

Mental health-score 6-22 = not good, 23-30 = good

Social relationship-score 3-11 = not good, 12-15 = good

Environment-score 8-29 = not good, 30-40 = good

Overall quality of life-score 26-95 = not good, 96-130 = good

The data were analyzed using descriptive statistics (frequency and percentage) and inferential statistics (finding relationships between factors affecting the quality of life level of the respondents, Fisher's Exact Test).

Results of the Study

The results of the study on the level of quality of life of the respondents (83 public health students) are shown in Tables 1–3.

Table 1. General data and quality of life levels of the respondents (n=83)

General data	n	percent
Sex		
Male	7	8.43
Female	76	91.57
Body Mass Index (Department of Disease Control, 2022) (kg./m ²)		
Underweight (Less than 18.5)	20	24.10

Table 1. (Continue)

General data	n	percent
Normal range (18.5-22.9)	38	45.78
Obese class I (23.0-24.9)	7	8.43
Obese class II (25.0-29.9)	10	12.05
Obese class III (30.0 ขึ้นไป)	8	9.64
Grade point average (Grade Point Average, 2022)		
Poor (1.50 – 1.99)	3	3.61
Rather poor (2.00 – 2.49)	34	40.96
Fair (2.50 – 2.99)	30	36.14
Good (3.00 – 3.49)	12	14.46
Excellent (3.50 – 3.99)	4	4.82
Province		
Buriram	56	67.47
Surin	13	15.66
Nakhon Ratchasima	7	8.43
Roi-Et	3	3.61
Sisaket	1	1.21
Maha Sarakham	2	2.41
Chonburi	1	1.21
Current residence		
The university dormitory	2	2.41
Private dormitory	56	67.47
Apartment	7	8.43
Rent a house	8	9.64
Stay at a relative's house	2	2.41
Stay at home	8	9.64
Marital status of guardians		
Married	64	77.11
Divorced	16	19.28

Table 1. (Continue)

General data	n	percent
Widowed	3	3.61
Main occupation of guardians		
Farmer	52	62.65
Hired worker	17	20.48
Merchant	6	7.23
Government service	7	8.43
Own business	1	1.21
Family average monthly income		
≥ 6,000 baht	9	10.84
6,001-8,000 baht	15	18.07
8,001-10,000 baht	21	25.30
10,001-12,000 baht	20	24.10
More than 12,000 baht	18	21.69
Quality of Life Level		
Physical health		
Not good (7 – 26 scores)	46	55.42
Good (27 – 35 scores)	37	44.58
Mental health		
Not good (6 – 22 scores)	33	39.76
Good (23 – 30 scores)	50	60.24
Social relationships		
Not good (3 – 11 scores)	37	44.58
Good (12 – 15 ค scores)	46	55.42
Environment		
Not good (8 – 29 scores)	50	60.24
Good (30 – 40 scores)	33	39.76

Table 1. (Continue)

General data	n	percent
Overall quality of life		
Not good (26 – 95 scores)	41	49.40
Good (96 – 130 scores)	42	50.61

According to Table 1, it was found that most of the respondents were females (91.57%), with an 18.5-22.9 body mass index (kg/m^2). Their grade point average range was 2.00-2.49. Their domicile was in Buriram Province, and they mostly stayed in private dormitories outside the campus. Most of the respondent's guardians were farmers and married, with an average monthly income range of 8,001–12,000 baht. The respondents had a high level of quality of life in terms of social relationships and their minds. However, it was found at a low level in terms of the environment and physical health. As a whole, the respondents had a high level of quality of life.

Table 2. The number and percentage of feeling levels of the respondents in the past two weeks (n=83)

		Feeling level					
Item	Feeling towards situation during the past two weeks	Lowest (%)	Low (%)	Moderate (%)	High (%)	Highest (%)	Description
Physical Health							
1	Body pain such as head ache or stomach ache makes you unable to do what you want.	14	24	28	14	3	Moderate
		(16.87)	(28.92)	(33.73)	(16.87)	(3.61)	
2	You have enough energy to do things each day. (Leaving and daily life activities)	2	4	25	38	14	High
		(2.41)	(4.82)	(30.12)	(45.78)	(16.87)	
3	You are satisfied with your sleep.	3	17	34	19	10	Moderate
		(3.61)	(20.48)	(40.97)	(22.89)	(12.05)	

Table 2. (Continue)

Item	Feeling towards situation during the past two weeks	Feeling level					Description
		Lowest (%)	Low (%)	Moderate (%)	High (%)	Highest (%)	
4	You are satisfied with what you have done each day.	2 (2.41)	2 (2.41)	32 (38.55)	31 (37.35)	16 (19.28)	Moderate
5	You need to get medical care in order to work or live.	34 (40.97)	30 (36.14)	12 (14.46)	5 (6.02)	2 (2.41)	Lowest
6	You are as satisfied with your learning ability as before.	0 (0.00)	13 (15.66)	39 (46.99)	25 (30.12)	6 (7.23)	Moderate
7	You can go anywhere by yourself.	0 (0.00)	2 (2.41)	7 (8.43)	22 (26.51)	52 (62.65)	Highest
Mental Health (Mind)							
8	You are satisfied with your life in terms of calm, happiness, and hope.	1 (1.21)	2 (2.41)	25 (30.12)	36 (43.37)	19 (22.89)	High
9	You concentrate on studying and working.	1 (1.21)	4 (4.82)	47 (56.62)	24 (28.92)	7 (8.43)	Moderate
10	You are satisfied with yourself.	1 (1.21)	3 (3.61)	25 (30.12)	27 (32.53)	27 (32.53)	Highest
11	You accept your appearance.	1 (1.21)	3 (3.61)	22 (26.51)	32 (38.55)	25 (30.12)	High
12	You have a bad feeling such as loneliness, sadness, dismalness, and despair.	9 (10.84)	40 (48.19)	18 (21.70)	13 (15.66)	3 (3.61)	Low
13	You feel that your life is meaningful.	2 (2.41)	3 (3.61)	11 (13.25)	28 (33.73)	39 (47.00)	Highest
Social relationships							
14	You are satisfied with befriending or getting along with others.	1 (1.21)	6 (7.23)	23 (27.70)	34 (40.97)	19 (22.89)	High
15	You are satisfied with the help of a friend.	1 (1.21)	3 (3.61)	8 (9.64)	32 (38.55)	39 (46.99)	Highest

Table 2. (Continue)

Item	Feeling towards situation during the past two weeks	Feeling level					Description
		Lowest (%)	Low (%)	Moderate (%)	High (%)	Highest (%)	
16	You are satisfied with your sexual life. (sexual feelings and how to deal with them)	4 (4.82)	4 (4.82)	35 (42.17)	21 (25.30)	19 (22.89)	Moderate
Environment							
17	You feel like your life is safe each day.	0 (0.00)	1 (1.21)	33 (39.75)	35 (42.17)	14 (16.87)	High
18	You are satisfied with the condition of the house where you live.	1 (1.21)	5 (6.02)	20 (24.10)	27 (32.53)	30 (36.14)	Highest
19	You have enough money to spend as needed.	3 (3.61)	16 (19.27)	40 (48.19)	18 (21.70)	6 (7.23)	Moderate
20	You are satisfied that you can go to public health services as needed.	0 (0.00)	5 (6.02)	34 (40.97)	37 (44.58)	7 (8.43)	High
21	You perceive news and information as needed in daily life.	0 (0.00)	6 (7.23)	39 (46.99)	29 (34.94)	9 (10.84)	Moderate
22	You have the opportunity to relax and unwind.	3 (3.61)	9 (10.84)	44 (53.01)	23 (27.72)	4 (4.82)	Moderate
23	The environment is good for your health.	0 (0.00)	6 (7.23)	20 (24.10)	40 (48.19)	17 (20.48)	High
24	You are satisfied with your journey.	0 (0.00)	4 (4.82)	39 (46.99)	29 (34.94)	11 (13.25)	Moderate
Overall health and wellbeing							
25	You are satisfied with your health.	3 (3.61)	8 (9.64)	31 (37.35)	31 (37.35)	10 (12.05)	High
26	What level of quality of life do you think you have?	0 (0.00)	4 (4.82)	32 (38.55)	31 (37.35)	16 (19.28)	Moderate

According to Table 2, the respondents had the highest level of physical health. That meant they were able to go anywhere as needed and had no need to be hospitalized. The following were found at a moderate level: leaving ability, sleeping or relaxation, satisfaction with daily life activities, and body pain, respectively. Regarding mental health, the respondents had the highest level of self-satisfaction and a meaningful life. Learning/working level concentration was found at a moderate level, but loneliness, worry, sadness, and despair were found at a low level. For social relationships, the respondents were most satisfied with help from friends, while sexual feelings were found at a moderate level. In terms of the environment, the respondents were most satisfied with their houses. These following factors were found at a moderate level: relaxation (stress relief), having the necessary expenses, and journey ability, respectively. It was also found that the respondents were satisfied with their health at a moderate level, but their quality of life was at a moderate level.

Table 3: Data on the determination of relationships between factors and the level of quality of life of the respondents (n = 83)

Factor	Level of quality of life components (%)									
	Physical health		Mental health		Social relationships		Environment		Overall quality of life	
	Not good (7-26 score)	Good (27-35 score)	Not good (6-22 score)	Good (23-30 score)	Not good (3-11 score)	Good (12-15 score)	Not good (8-29 score)	Good (30-40 score)	Not good (26-95 score)	Good (96-130 score)
Body Mass Index										
Underweight (less than 18.5 kg/m ²) 20 persons	12 (60.00)	8 (40.00)	7 (35.00)	13 (65.00)	6 (30.00)	14 (70.00)	13 (65.00)	7 (35.00)	8 (40.00)	12 (60.00)
Normal range (18.5-22.9 kg/m ²) 38 persons	23 (60.53)	15 (39.47)	16 (42.11)	22 (57.89)	22 (57.89)	16 (42.11)	23 (60.53)	15 (39.47)	21 (55.26)	17 (44.74)
Obese class I (23.0-24.9 kg/m ²) 7 persons	2 (28.57)	5 (71.43)	3 (42.86)	4 (57.14)	3 (42.86)	4 (57.14)	5 (71.43)	2 (28.57)	4 (57.14)	3 (42.86)
Obese class II (25.0-29.9 kg/m ²) 10 persons	5 (50.00)	5 (50.00)	4 (40.00)	6 (60.00)	5 (50.00)	5 (50.00)	6 (60.00)	4 (40.00)	6 (60.00)	4 (40.00)
Obese class III (more than 30.0 kg/m ²) 8 persons	4 (50.00)	4 (50.00)	3 (37.50)	5 (62.50)	1 (12.50)	7 (87.50)	3 (37.50)	5 (62.50)	2 (25.00)	6 (75.00)

Table 3: (Continue)

Factor	Level of quality of life components (%)									
	Physical health		Mental health		Social relationships		Environment		Overall quality of life	
	Not good (7-26 score)	Good (27-35 score)	Not good (6-22 score)	Good (23-30 score)	Not good (3-11 score)	Good (12-15 score)	Not good (8-29 score)	Good (30-40 score)	Not good (26-95 score)	Good (96-130 score)
Fisher's Exact Test	2.941		0.256		8.248		2.101		3.002	
Exact Sig	0.417		0.986		0.041*		0.567		0.409	

**p-value* < 0.05

According to Table 3, it was found that there was a statistically significant relationship between the body mass index factor with the components on social relationships ($p < 0.05$). This conformed to the hypothesis as set. However, there was no relationship between the level of quality of life of the respondents with the following factors including: sex, learning outcome, domicile, current residence, marital status of guardians, main occupation of guardians, and their average monthly income. Therefore, the results of this study rejected the hypothesis as set.

Discussions

The measurement of quality of life was based on satisfaction or perception of an individual. The team of researcher employ the quality-of-life indicators of Thai version of the World Health Organization for this study. The sample group consisted of 83 Public Health students of the Faculty of Science, Buriram Rajabhat University. It was found that the female students had body mass index below standard (less than 18.5 kg./m²) and their learning achievement was fair (G.P.A.=2.50-2.99). Most of the students stayed in the private dormitory outside the campus. Most of their guardians were farmers and married with an average monthly income of 8,001 baht and above. Most of the students had good quality of life comparison with those in the same group. Based on its details, the components on mind and social relationships were found at a high level (Good). This conformed to a study of Junaidi Budi Prihanto, et al. (2021) which found that Surabaya University students (Indonesia) had a high level of quality of life on the basis of mental and social aspects. However they had a low level in terms of physical health and environment. This also conformed to a study of Wittayawongsarужи (2007) which found

that the students were dissatisfied with the university dormitory in terms of management and privacy. Although the government had easing measures disease control but relaxation, having money to spend as needed, information perception and transportation were found at a moderate level, respectively. Aside from the Corona virus 2019 pandemic, there was a war situation between Russian and Ukraine which it had impacts on Thailand. The rising price of oil had caused even more declines in household incomes at the former income level. This study had impacts on travelling for relaxation, daily expenses, and transportation.

In addition, restricting access to necessary information and receiving fake information resulted in misunderstanding. With regards to the component or physical health of the student, it was found at a low level even though they had received at least three doses of the prophylactics vaccine. Their health was not good in terms of the followings: learning ability, not enough sleeping, and ability to use daily life. Limitations that prevent students from developing their physical potential, such as concerns about exercising in sport fields and parks, as well as being restricted in activities, prevent them from developing their potential. However, mind and social relationships were found at a high level because the students understood and accepted their own work. Besides, it was found that the students were worried and sad about learning concentration and various daily life practices. For social relationships they were satisfied with help from friends but worried about proper sexual orientation.

According to factors having a relationship with quality of life, it was found that only body mass index had a statistically significant relationship with social relationship ($p < 0.05$). This conformed to a study of Naim Nur, Ahmet Kibik, Esma Kilic, and Haldun Sumer (2017) and Junaidi Budi Prihanto et.al. (2021) which found that body mass index had a relationship with the mental health and social relationships components (particularly on those having underweight)

This study showed that the students having body mass index below the standard (less than 18.5 kg./m^2) and above the standard (more than 30 kg./m^2) had the mental component better than those having other body mass index. This conformed to the mental question item which found that the students were satisfied with help from friends at a highest level and followed by making friends on getting along with others (High level). This denoted that the students having little body weight (Thin) and those having much weight receive good care and attention from society. The following did not have relationships with the level of quality of life of the students; sex, grade point average, domicile, current residence, and personal data of their guardians. This

conformed to a study of Mohd Rizal Abdul Manaf et al. (2021) which found that only age had a relationship with all components effecting quality of life of university staff in Malaysia.

According to results of the study as a whole, the students had a high level of quality of life. This might be because the quality of life level of health profession students in Thailand understood and accepted the current situations mainly under the measures of the government section. The clear measures based on that of the World Health Organization included wearing mask, vaccination and providing services to key groups such as group with underlying disease. At present, it is found that the number of vaccinations worldwide up to July,2020 is 12,314,269,121 or an average of 11,099,125 injections per day (Trueid, 2022). Besides there is integration with key ministries such as Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation having strict measures on teaching and learning facilitation. This include : selection of important activities for students to join under activity holding measures to prevent disease pandemic; community leader participation in the disease prevention and control; village health volunteers are strong in performing their duties; and individual measures by self-screening for infection.

Although the overall of the study showed that the students had a high level of quality of life during the Corona virus 2019 pandemic but now there is an incidence of disease-monkey pox in Europe and found in Thailand on 5th August,2022. (3 patients) (Thaipbs, 2022). This had impacts on the quality of life level of students and people. Hence, concerned international agencies such as World Health Organization and the United Nations needed to accelerate the processing of information rapidly. This included research and development of good innovation and safe for life for a better quality of life of the world community. In Thailand, the government played vital roles to create stability in economy, society and environment for sustainable happiness and prosperity of people. This was under the vision of the 20-year National Strategic Framework - “Thailand is stable, prosperous and sustainable” (Thaigov, 2006). It aimed to make Thailand be developed country according to the principles of sufficiency economy that are adapted accordingly.

Conclusions

During the period of Corona virus 2019 pandemic in Thailand, as a whole, it was found that about one-half of the Public Health students of the Faculty of Science had a high level of quality of life. Their mental health and social relationship components were found at a high level but physical health and environment were found at a low level (60.24% and 55.42%, respectively). Their body mass index was found to have a statistically significant relationship with the social relationship components ($p < 0.05$).

References

- Department of Disease Control. (2022). *Know your numbers & know your risks*. Retrieved from <https://ddc.moph.go.th/uploads/publish/1064820201022081932.pdf>.
- DIVISION OF MENTAL HEALTH AND PREVENTION OF SUBSTANCE ABUSE WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2012). *PROGRAME ON MENTAL HEALTH*. WHOQOL USER MANUAL. pp. 11.
- koi_la_zy. (2022). Grade Point Average. from <https://teen.mthai.com/education/40179.html>.
- Mahatnirunkul S., Tantipiwattanasakul W., Pumpaisalchai W., Wongsuwan K., and Ponmanajirakul R. (2002). The World Health Organization's quality of life indicators, Thai language abbreviation (WHOQOL-BREF-THAI). The 2003 project to create a package of mental health care programs in the region. Retrieved from <https://www.dmh.go.th/test/download/files/whoqol.pdf>
- Ministry of Interior, Department of Community Development People's Quality of Life Development Governing Committee. (2016). *2017-2021 Basic essential Data Storage Guide*. Retrieved from https://rdic.cdd.go.th/wp-content/uploads/sites/154/2017/07/bManualBook_BMN60.pdf
- Ministry of Public Health, Department of Health. (2013). *Guideline for applying health impact assessment at the local level*. Nonthaburi: Department of Health.
- Mohd Rizal Abdul Manaf et al. (2021). Factors Associated with Health-Related Quality of life amongst Employees in Malaysian Public University. *Journal of Environmental Research Public Health*, 18(20), 10903.

- Naim, N., Kibik, A., Kilic, E., and Sumer, H. (2017). Health-related Quality of Life and ssociated Factors Among Undergraduate University Students. *Oman Med Journal*, 32(4), 329-334.
- Office of Academic Promoting and Registration, Buriram Rajabhat University. (2022). *Statics on the number of students enrolled 1-65*. Retrieved from <http://oapr.bru.ac.th/wp-content/uploads/2022/06/61-65.pdf>.
- Prihanto, J.B., Wahjuni, E.S., Nurhayati, F., Matsuyama, R., Tsunematsu, M. and Kakehashi, M. (2021). Health Literacy, Health Behaviors, and Body Mass Index Impacts on Quality of Life: Cross-Sectional Study of University Students in Surabaya, Indonesia. *Journal of Environment Research Public Health*, 18(24), 13132.
- Thaigov. (2006). *20-year national strategic framework (2017-2036)*. Retrieved from <https://www.thaigov.go.th>.
- Thaipbs. (2022). *Thailand find 3rd monkey pox in German man*. Retrieved from <https://news.thaipbs.or.th/content/318100>.
- trueid. (2022). *Latest balance update COVIC-19 cases around the world. August 5, 2022, Japan has the highest number of new case*. Retrieved from <https://travel.trueid.net/detail/EpwDxDy0Jd17>.
- trueid. (2022). *Update countries for vaccination against COVID-19 on July 23, 2022*. Retrieved from https://travel.trueid.net/detail/A5GQPOLbYkGX?utm_source=web-trueid&utm_medium=ctw&utm_term=clicklink&utm_campaign=travel_EpwDxDy0Jd17_relatecontent_travel_A5GQPOLbYkGX_01/02/2021.
- UNITED NATION STATISTIC DIVISION. (1997). *Term of Description "Quality of Life"*. Retrieved from <https://unstats.un.org/unsd/environmentgl/gesform.asp?getitem=936>.
- Wittayawongsaruj, K. (2007). *Quality of Life of Students Staying at the Dormitory of Buriram Rajabhat University*. Buriram: Buriram Rajabhat University.
- World bank blog. (2021). *Impacts of COVID-19. On Households in Thailand*. Insight data from telephone expedited surveys. Retrieved from <https://blogs.worldbank.org/th/eastasiapacific/phlkrathbkhxngokhwid-19-txkhraweruuxninptraethsithy>.

การเพาะเลี้ยงเมล็ดและการศึกษาผลของ BA และ NAA ต่อการพัฒนาเป็นต้นที่สมบูรณ์
ของเอื้องเทียนสามดอก
In vitro Seed Culture and Study Effect of BA and NAA on Plant Regeneration
of *Coelogyne viscosa* Rchb.f.

เกศริน หยิ¹ ธวัชชัย ทรดี¹ อติกานต์ ปล่อยทุม¹ และ จิราภรณ์ นิคมทัศน^{2*}
Ketsarin Yee¹, Thawatchai Thoradee¹, Atikan Ploithum¹, and Jiraporn Nikomtat²

สาขาชีววิทยา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์¹

Biology Program, Faculty of Education, Uttaradit Rajabhat University¹

สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์²

Biology Program, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University²

Email: jnikomtat@uru.ac.th

Received : September 10, 2022

Revised : June 25, 2023

Accepted : June 26, 2023

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรอาหารที่เติมน้ำตาลซูโครสต่อการพัฒนาไปเป็นโปรโตคอร์มและเพื่อศึกษาผลของสูตรอาหารที่เติม BA และ NAA ต่อการพัฒนาด้านอ่อนเป็นต้นที่สมบูรณ์ของกล้วยไม้เอื้องเทียนสามดอก (*Coelogyne viscosa* Rchb.f.) โดยนำเมล็ดกล้วยไม้เอื้องเทียนสามดอกมาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และ 1/2MS ที่เติมน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ คือ 15, 20 และ 30 กรัมต่อลิตร เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 และ 12 สัปดาห์ บันทึกค่าคะแนนการเกิดโปรโตคอร์ม ตั้งแต่ 0 ถึง 5 คะแนน จากนั้นนำต้นอ่อนมาศึกษาสูตรอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 9 สัปดาห์ เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ผลการศึกษาพบว่า สูตรอาหาร 1/2MS ที่เติมน้ำตาล 20 กรัมต่อลิตร มีผลต่อการงอกเป็นโปรโตคอร์มของเมล็ด แสดงค่าคะแนนสูงสุดตั้งแต่สัปดาห์ที่ 8 เท่ากับ 4.80±0.42 นอกจากนี้อาหารสูตร 1/2MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ต้นอ่อนมีการพัฒนาไปเป็นต้นสมบูรณ์ดีที่สุด โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับสูตรอาหารอื่น งานวิจัยนี้จึงเป็นการขยายพันธุ์กล้วยไม้โดยใช้เมล็ดซึ่งเป็นการอนุรักษ์กล้วยไม้ไทยให้มีความหลากหลายทางชีวภาพต่อไป

คำสำคัญ: เอื้องเทียนสามดอก, การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ, เมล็ดกล้วยไม้, สารควบคุมการเติบโต

ABSTRACT

The objectives of this study were to culture orchid seeds in culture media with different sucrose levels and to study the effects of BA and NAA on plant regeneration of *Coelogyne viscosa* Rchb.f. seedlings. Orchid seeds were inoculated onto Murashige and Skoog (MS) and 1/2MS media with three different sucrose levels (15, 20, and 30 g/L) for 8 and 12 weeks. After that, the seedlings were cultured on 1/2MS medium with 20 g/L sucrose supplemented with different concentrations of BA (0, 1, 2, and 4 mg/L) and NAA (0, 0.5, and 1 mg/L) for 9 weeks. All experiments were conducted under standard conditions: a 16-hour photoperiod with cool white light (3,000 lx) at $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$. A completely randomized design (CRD) was used. The results showed that orchid seeds successfully germinated on 1/2MS medium with 20 g/L sucrose, with a protocorm score of 4.80 ± 0.42 . Additionally, 1/2MS medium with 20 g/L sucrose supplemented with BA 2 mg/L and NAA 0.5 mg/L showed the highest plant regeneration after 9 weeks of culture, with a significant difference ($P \leq 0.05$). Therefore, *Coelogyne viscosa* Rchb.f. seed culture is a promising method for orchid conservation and biodiversity.

Keywords: *Coelogyne viscosa* Rchb.f., Tissue culture, Orchid seed, Plant Growth Regulator

บทนำ

กล้วยไม้เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของไทย โดยเป็นไม้ดอกส่งออกขายต่างประเทศทำรายได้เข้าประเทศ มีการปลูกเลี้ยงอย่างครบวงจร ตั้งแต่การผสมเกสร เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เลี้ยงลูกกล้วยไม้ เลี้ยงต้นกล้วยไม้จนกระทั่งให้ดอก ตัดดอกบรรจุหีบห่อและส่งออก ซึ่งศาสตราจารย์ ดร.เต็ม สมิตินันท์และศาสตราจารย์ Gunnar Seidenfaden นักการทูต และนักพฤกษศาสตร์ชาวเดนมาร์ก ค้นพบกล้วยไม้ในประเทศไทย จำนวน 177 สกุล (Genus) และจำนวน 1,125 ชนิด (Species) ตั้งแต่ พ.ศ. 2502 จนถึง พ.ศ. 2543 (องอาจ ตัณฑวนิช, 2561) แต่เนื่องจากในสถานการณ์ปัจจุบันกล้วยไม้ในประเทศไทยกำลังอยู่ในภาวะวิกฤติ โดยพบว่ากล้วยไม้หลายชนิดเสี่ยงต่อการคุกคามและใกล้สูญพันธุ์ กล้วยไม้ที่เสี่ยงสูญพันธุ์และหาชมได้ยากสามารถศึกษาได้ที่สวนพฤกษศาสตร์บ้านร่มเกล้า พิษณุโลก

ในพระราชดำริ ซึ่งเป็นสถานที่รวบรวมพันธุ์ไม้ท้องถิ่นที่ใกล้จะสูญพันธุ์และหาชมได้ยากเอาไว้ โดยกล้วยไม้เสี่ยงสูญพันธุ์ที่สวนพฤกษศาสตร์บ้านร่มเกล้า พิษณุโลก ในพระราชดำริมีทั้งหมด 25 สกุล 69 ชนิด เช่น กุหลาบกระเปาะเปิด กุหลาบน่าน สิงโตนันทา สิงโตกลอกตา สิงโตลายภูหลวง สิงโตมูเซอ เอื้องเทียนสามดอก กะเรกะร่อนภูหลวง เอื้องลายวิสูตร เขาพระวิหาร เป็นต้น (จรัญ มากน้อย และคณะ, 2562: 43-46)

เอื้องเทียนสามดอก (*Coelogyne viscosa* Rchb.f.) จากการบันทึกลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ณ สวนพฤกษศาสตร์บ้านร่มเกล้า พิษณุโลก ในพระราชดำริ ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 พบว่าเป็นกล้วยไม้อิงอาศัย มีการเจริญทางข้าง (Sympodial) รากเป็นเส้นฝอยออกจากโคนลำลูกกล้วยมีร่องมีไหล (Stolon) ระหว่างลำลูกกล้วย ใบ 2 ใบต่อลำลูกกล้วย แผ่นใบรูปแถบยาวปลายแหลม โคนใบสีเขียวเข้ม มีร่องกลางชัด ฝักยาวรี ห้อยลง สีเขียวอ่อนอมเหลือง สันสีอ่อนกว่า เมล็ดสีเขียวอ่อน

ทั้งนี้กล้วยไม้ในธรรมชาติมีการลดจำนวนลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการตัดไม้ทำลายป่า ทำให้ที่อยู่อาศัยของกล้วยไม้ลดลง อีกทั้งกล้วยไม้ยังต้องการองค์ประกอบอื่นที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต เช่น อาหาร เมื่อปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตกล้วยไม้ลดลง ส่งผลให้กล้วยไม้ลดจำนวนลง แพร่ขยายพันธุ์ตามธรรมชาติได้น้อยลงเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ จึงต้องมีการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการขยายพันธุ์และการเก็บรักษาพันธุ์เพื่ออนุรักษ์ให้กล้วยไม้คงอยู่ต่อไปในธรรมชาติในจำนวนที่มากขึ้น การขยายพันธุ์กล้วยไม้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตัดแยกกล้วยไม้ การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและการเพาะเมล็ดเทียม (ปริมลภ (วสุวัต) ชูเกียรติมัน และคณะ, 2542: 192)

เนื่องจากเมล็ดกล้วยไม้ตามธรรมชาติมีอัตราการงอกต่ำ อาหารสะสมในเมล็ดมีน้อยมาก ไม่เพียงพอต่อการงอกหรือได้รับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป (จตุพร หงส์ทองคำ และคณะ, 2560: 187-201) ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชให้ประสบความสำเร็จจึงต้องมีการคัดเลือกสูตรอาหารให้เหมาะสม รวมถึงการเติมน้ำตาลและการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตที่จำเป็นต่อการงอกและการพัฒนาของกล้วยไม้ให้เจริญเป็นต้นที่สมบูรณ์ (ศุภาวีร์ แสงจันทร์จิระเดช และจักรพงศ์ แห่งทอง, 2558: 109-118) อีกทั้งการเพาะเลี้ยงเมล็ดกล้วยไม้ยังเป็นการรักษาความหลากหลายทางชีวภาพของกล้วยไม้เมื่อนำกลับคืนสู่ป่าธรรมชาติ

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาสูตรอาหารที่เติมน้ำตาลซูโครสต่อการพัฒนาไปเป็นโปรโตคอร์มของเมล็ดเอื้องเทียนสามดอก
2. เพื่อศึกษาผลของสูตรอาหารที่เติมสารควบคุม BA และ NAA ต่อการพัฒนาดันอ่อนไปเป็นต้นที่สมบูรณ์ของกล้วยไม้เอื้องเทียนสามดอก

วิธีดำเนินการวิจัย

ตรวจสอบการมีชีวิตของเมล็ดกล้วยไม้

ตรวจสอบการมีชีวิตของเมล็ดกล้วยไม้โดยดัดแปลงจากวิธีของ Verieysen และคณะ (2004) (อ้างจากอารักษ์ จันศิลป์ และรัตน หิรัญพันธุ์, 2549: 7) โดยใช้สาร TTC (Triphenyl tetrazolium chloride) ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 เติม Tween 20 จำนวน 1 หยด ในสารละลาย 50 มิลลิลิตร ปรับ pH 7.0 แช่เมล็ดกล้วยไม้ในสารละลายและเก็บไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง จำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 เมล็ด สุ่มดูเมล็ดกล้วยไม้มาวัดขนาดความยาวและตรวจสอบการติดสีแดงที่เอนบริโอแสดงถึงการมีชีวิตของเมล็ดด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเลนส์ประกอบแบบ Bright field จากนั้นนำเมล็ดที่มีอยู่ในฝักไปศึกษาสูตรอาหารที่เติมน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นเหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นโปรโตคอร์มต่อไป

ศึกษาสูตรอาหารที่เติมน้ำตาลซูโครสต่อการพัฒนาเป็นโปรโตคอร์ม

นำฝักกล้วยไม้มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างจาน จุ่มฝักในแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ลนไฟผ่าฝักและแช่เมล็ดเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และ 1/2MS ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ (15, 20 และ 30 กรัมต่อลิตร) รวมจำนวน 6 สูตรอาหาร ๆ ละ 10 ซ้ำ เพาะเลี้ยงภายใต้อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวัน ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ และ 12 สัปดาห์ บันทึกเป็นค่าคะแนนพื้นที่การเกิดต้นอ่อน โดยระดับคะแนนแบ่งเป็น 0 ถึง 5 (ดัดแปลงจาก ศุภาวีร์ แสงจันทร์จิระเดช และจักรพงศ์ แท่งทอง, 2558: 109-118) ดังนี้

- คะแนน 5 หมายถึง เมล็ดเปลี่ยนแปลงเป็นโปรโตคอร์มร้อยละ 100 ของเมล็ดในขวด
- คะแนน 4 หมายถึง เมล็ดเปลี่ยนแปลงเป็นโปรโตคอร์มร้อยละ 75 ของเมล็ดในขวด
- คะแนน 3 หมายถึง เมล็ดเปลี่ยนแปลงเป็นโปรโตคอร์มร้อยละ 50 ของเมล็ดในขวด
- คะแนน 2 หมายถึง เมล็ดเปลี่ยนแปลงเป็นโปรโตคอร์มร้อยละ 25 ของเมล็ดในขวด
- คะแนน 1 หมายถึง เมล็ดเปลี่ยนแปลงเป็นโปรโตคอร์มไม่ถึงร้อยละ 25 ของเมล็ดในขวด
- คะแนน 0 หมายถึง เมล็ดไม่มีเปลี่ยนแปลงเป็นโปรโตคอร์ม

ศึกษาผลของ BA และ NAA ต่อการพัฒนาต้นอ่อนไปเป็นต้นกล้วยไม้ที่สมบูรณ์

นำต้นอ่อนกล้วยไม้เอื้องเทียนสามดอก ขนาด 5-6 มิลลิเมตร มาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร 1/2MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 20 กรัมต่อลิตร และเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA (6-benzyladenine) ความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA (1-Naphthaleneacetic acid) ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมทั้งหมด 12 สูตร ๆ ละ 10 ซ้ำ ๆ ละ 3 ต้นอ่อน

เพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 สัปดาห์ จากนั้นวัดความสูงต้น (เซนติเมตร) นับจำนวนยอด และนับจำนวนราก (ดัดแปลงจากฉัตรพร แก้วสาร และคณะ, 2558: 71-75)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design CRD) คำนวณค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation; SD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการวิจัย

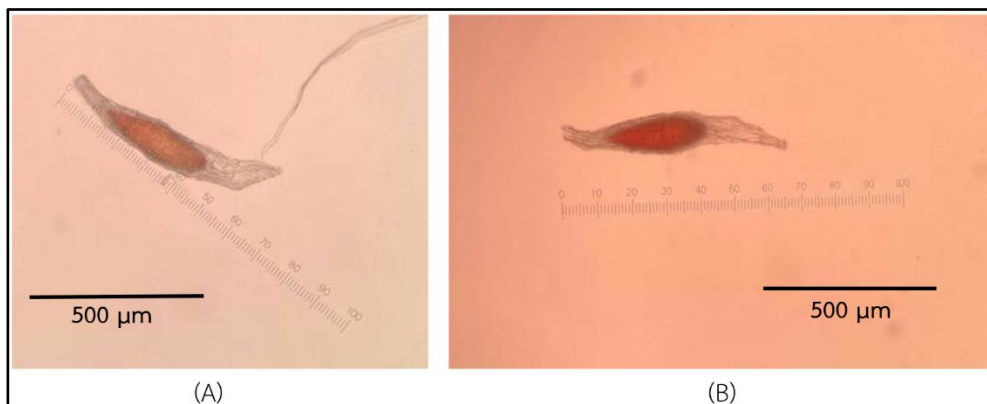
ตรวจสอบการมีชีวิตของเมล็ดกล้วยไม้

ตรวจสอบการมีชีวิตของเมล็ดกล้วยไม้ โดยใช้สาร TTC (Triphenyl tetrazolium chloride) ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 ใส่ Tween 20 ปรับ pH 7.0 แช่เมล็ดในสารละลายและเก็บไว้ในอุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ตรวจสอบการติดสีแดงของเอ็มบริโอแสดงถึงการมีชีวิตของเมล็ดหลังแช่เมล็ดไว้ 24 และ 48 ชั่วโมง พบการย้อมติดสีมีเอ็มบริโอที่ย้อมติดสีแดงบางเมล็ด ทั้งนี้สามารถพบการออกเป็นโปรโตคอร์มของเมล็ดเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารภายใน 8 สัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 1 และภาพประกอบ 1

ตารางที่ 1 การย้อมติดสีของเอ็มบริโอกล้วยไม้เอื้องเทียนสามดอก

ความยาว เมล็ด (มิลลิเมตร)	การย้อมติดสี มีชีวิตของเมล็ด*	การออกเป็นโปรโตคอร์มที่ 8 สัปดาห์		การออกเป็นโปรโตคอร์มที่ 12 สัปดาห์	
		งอก	ไม่งอก	งอก	ไม่งอก
0.15-0.70	+	✓		✓	

*หมายเหตุ: การติดสีของเอ็มบริโอเอื้องเทียนสามดอก; ++ หมายถึง เอ็มบริโอทุกเมล็ดย้อมติดสีแดง, + หมายถึง เอ็มบริโอบางเมล็ดติดสีแดง และ - หมายถึง เอ็มบริโอทุกเมล็ดย้อมไม่ติดสีแดง



ภาพประกอบ 1 การติดสีแดงของเมล็ดเอื้องเทียนสามดอก; ตรวจสอบการติดสีที่ 24 ชั่วโมง (A) ; scale bar = 500 ไมโครเมตร, ตรวจสอบการติดย้อมสีที่ 48 ชั่วโมง (B); scale bar = 500 ไมโครเมตร

ศึกษาสูตรอาหารที่เติมน้ำตาลซูโครสต่อการพัฒนาเป็นโปรโตคอร์ม

เมล็ดกล้วยไม้ไม่สามารถงอกได้บนสูตรอาหาร MS และ 1/2MS ที่เติมน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ (15, 20 และ 30 กรัมต่อลิตร) โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 2 และภาพประกอบ 2)

อาหารสูตร MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 15 กรัมต่อลิตร มีค่าคะแนนการเกิดโปรโตคอร์มที่ 8 และ 12 สัปดาห์ เท่ากับ 3.80 ± 1.16 และ 4.60 ± 1.26 ตามลำดับ อาหารสูตร MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 20 กรัมต่อลิตร มีค่าคะแนนการเกิดโปรโตคอร์มที่ 8 และ 12 สัปดาห์ เท่ากับ 4.30 ± 1.57 และ 4.50 ± 1.58 ตามลำดับ อาหารสูตร MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร มีค่าคะแนนการเกิดโปรโตคอร์มที่ 8 และ 12 สัปดาห์ เท่ากับ 4.60 ± 0.52 และ 5.00 ± 0.00 ตามลำดับ

อาหารสูตร 1/2MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 15 กรัมต่อลิตร มีค่าคะแนนการเกิดโปรโตคอร์มที่ 8 และ 12 สัปดาห์ เท่ากับ 4.20 ± 1.55 และ 4.50 ± 1.58 ตามลำดับ อาหารสูตร 1/2MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 20 กรัมต่อลิตร มีค่าคะแนนการเกิดโปรโตคอร์มที่ 8 และ 12 สัปดาห์ เท่ากับ 4.80 ± 1.55 และ 5.00 ± 0.00 ตามลำดับ และอาหารสูตร 1/2MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร มีค่าคะแนนการเกิดโปรโตคอร์มที่ 8 และ 12 สัปดาห์ เท่ากับ 4.30 ± 1.57 และ 5.00 ± 0.00 ตามลำดับ

ดังนั้น สูตรอาหาร 1/2MS ที่เติมน้ำตาล 15, 20 และ 30 กรัมต่อลิตรมีผลต่อการงอกเป็นโปรโตคอร์มของเมล็ดเอื้องเทียนสามดอกได้เป็นอย่างดี โดยสูตรอาหาร 1/2MS ที่เติมน้ำตาล 20 กรัมต่อลิตร มีผลต่อการงอกเป็นโปรโตคอร์มของเมล็ดเอื้องเทียนสามดอกดีที่สุด โดยแสดงค่าคะแนนสูงสุดตั้งแต่

สัปดาห์ที่ 8 ทั้งนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับสูตรอาหารอื่น

ตารางที่ 2 การเกิดโปรโตคอร์มของเมล็ดเอื้องเทียนสามดอกบนอาหารและระดับน้ำตาลซูโครสที่ต่างกันเมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 และ 12 สัปดาห์

สูตรอาหาร	น้ำตาลซูโครส (กรัมต่อลิตร)	ค่าคะแนนของการเกิดโปรโตคอร์ม* $\pm$ SD	
		8 สัปดาห์	12 สัปดาห์
MS	15	3.80 $\pm$ 1.36 ^{ns}	4.60 $\pm$ 1.26 ^{ns}
	20	4.30 $\pm$ 1.57	4.50 $\pm$ 1.58
	30	4.60 $\pm$ 0.52	5.00 $\pm$ 0.00
1/2MS	15	4.20 $\pm$ 1.55	4.50 $\pm$ 1.58
	20	4.80 $\pm$ 0.42	5.00 $\pm$ 0.00
	30	4.30 $\pm$ 1.57	5.00 $\pm$ 0.00

*ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD โดยคะแนนเต็มของการเกิดโปรโตคอร์มเท่ากับ 5 คะแนน

ns : not significant หมายถึง ทุกสูตรอาหารในคอลัมน์นี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ศึกษาผลของ BA และ NAA ต่อการพัฒนาต้นอ่อนไปเป็นต้นกล้วยไม้ที่สมบูรณ์

เพาะเลี้ยงต้นอ่อนกล้วยไม้เอื้องเทียนสามดอกบนอาหารสูตร 1/2MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 20 กรัมต่อลิตรและเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA ความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมทั้งหมด 12 สูตร เป็นเวลา 9 สัปดาห์ โดยวัดความสูงต้น นับจำนวนยอดและนับจำนวนราก พบว่าอาหารสูตร 1/2MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเติม NAA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถพัฒนาเป็นต้นที่สมบูรณ์ได้ดีที่สุด โดยแสดงค่าความสูงต้นเท่ากับ 1.71 $\pm$ 0.40 เซนติเมตร โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับสูตรอาหารอื่น ๆ จำนวนยอดเท่ากับ 3.46 $\pm$ 0.77 ยอดโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับสูตรอาหารอื่น ๆ และสามารถชักนำรากได้ 0.23 $\pm$ 0.43 ราก โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับสูตรอาหาร 1/2MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเติม NAA ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สามารถชักนำให้เกิดรากได้สูงที่สุด 0.43 $\pm$ 0.50 ราก (ตารางที่ 3 และภาพประกอบ 3)

ดังนั้นอาหารสูตร 1/2MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเติม NAA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถพัฒนาเป็นต้นที่สมบูรณ์ได้ดีที่สุด โดยแสดงความสูงต้นเท่ากับ 1.71 ± 0.40 เซนติเมตร จำนวนยอดเท่ากับ 3.46 ± 0.77 ยอด ชักนํารากได้ 0.23 ± 0.43 ราก โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับสูตรอาหารที่สามารถชักนำให้เกิดรากได้สูงที่สุด

อาหาร \ น้ำตาล	การพัฒนาเป็นโปรโตคอร์มของเมล็ดเอื้องเทียนสามดอก		
	15 กรัมต่อลิตร	20 กรัมต่อลิตร	30 กรัมต่อลิตร
สัปดาห์ที่ 8			
MS			
1/2MS			
สัปดาห์ที่ 12			
MS			
1/2MS			

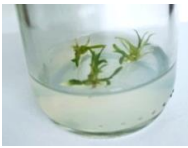
ภาพประกอบ 2 การเกิดโปรโตคอร์มของเมล็ดเอื้องเทียนสามดอกบนสูตรอาหาร MS และ 1/2MS ที่เติมน้ำตาลซูโครสระดับที่ต่างกัน (15, 20 และ 30 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 8 และ 12 สัปดาห์

ตารางที่ 3 ผลของ BA และ NAA ต่อการพัฒนาต้นอ่อนไปเป็นต้นกล้วยไม้เอื้องเทียนสามดอกที่สมบูรณ์บนอาหารที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตต่างกัน เป็นเวลา 9 สัปดาห์

สูตรอาหาร	BA (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	NAA (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	ความสูงต้น* (เซนติเมตร) $\pm$ SD	จำนวน ยอด* $\pm$ SD	จำนวน ราก* $\pm$ SD
1	0	0	0.73 $\pm$ 0.58 ^e	1.33 $\pm$ 0.87 ^d	0.13 $\pm$ 0.34 ^b
2	0	0.5	0.06 $\pm$ 0.19 ^f	1.13 $\pm$ 0.43 ^e	0.00 $\pm$ 0.00 ^b
3	0	1	0.08 $\pm$ 0.32 ^f	1.16 $\pm$ 0.46 ^e	0.00 $\pm$ 0.00 ^b
4	1	0	1.02 $\pm$ 0.60 ^d	2.00 $\pm$ 1.39 ^c	0.20 $\pm$ 0.40 ^{ab}
5	1	0.5	1.42 $\pm$ 0.41 ^{bc}	2.93 $\pm$ 1.57 ^{ab}	0.43 $\pm$ 1.16 ^a
6	1	1	1.58 $\pm$ 0.40 ^{ab}	2.97 $\pm$ 1.24 ^{ab}	0.30 $\pm$ 0.46 ^{ab}
7	2	0	1.20 $\pm$ 0.26 ^{cd}	2.70 $\pm$ 0.95 ^b	0.16 $\pm$ 0.37 ^{ab}
8	2	0.5	1.71 $\pm$ 0.40 ^a	3.46 $\pm$ 0.77 ^a	0.23 $\pm$ 0.43 ^{ab}
9	2	1	1.38 $\pm$ 0.60 ^{bc}	2.80 $\pm$ 1.34 ^b	0.26 $\pm$ 0.44 ^{ab}
10	4	0	0.98 $\pm$ 0.46 ^d	1.43 $\pm$ 0.93 ^{cd}	0.23 $\pm$ 0.43 ^{ab}
11	4	0.5	1.19 $\pm$ 0.68 ^{cd}	1.60 $\pm$ 1.30 ^{cd}	0.23 $\pm$ 0.43 ^{ab}
12	4	1	1.21 $\pm$ 0.78 ^{cd}	1.20 $\pm$ 0.80 ^d	0.43 $\pm$ 0.50 ^a

*ค่าเฉลี่ยจากต้นอ่อนกล้วยไม้จำนวน 10 ซ้ำ ๆ ละ 3 ต้นอ่อน $\pm$ SD

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

NAA (มิลลิกรัมต่อลิตร)	BA (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	0	1	2	4
0				
0.5				
1				

ภาพประกอบ 3 การพัฒนาต้นอ่อนไปเป็นต้นกล้วยไม้ที่สมบูรณ์บนสูตรอาหาร ที่เติม BA และ NAA ความเข้มข้นที่ระดับแตกต่างกัน เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 9 สัปดาห์

อภิปรายผลการวิจัย

การมีชีวิตของเมล็ดกล้วยไม้โดยตรวจสอบการย้อมติดสีของเอมบริโอด้วยสาร TTC (Triphenyl tetrazolium chloride) เมล็ดที่สมบูรณ์จะประกอบด้วยเอมบริโอที่มีชีวิตซึ่งติดสีแดงหลังจากทดสอบด้วยสาร TTC ซึ่งเป็นวิธีการทางชีวเคมีที่สามารถประเมินความมีชีวิตของกล้วยไม้ได้ภายในเวลารวดเร็ว เนื่องจากเซลล์ภายในเมล็ดที่มีชีวิตมีกระบวนการหายใจของเซลล์เกิดขึ้น เป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่มีเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส (Dehydrogenase) เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้มีการปลดปล่อยอนุมูลไฮโดรเจนซึ่งจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับสารละลาย TTC ที่เป็นสารใสไม่มีสี เปลี่ยนเป็นสาร 1,3,5-triphenylformazan (TPF) ที่มีสีแดง โดยเมล็ดที่มีเอมบริโอสีแดงจัดเป็นเมล็ดที่ยังมีชีวิต (Viable seed) (จุฑารัตน์ กรดสันและคณะ, 2562: 141-150)

จากการเพาะเลี้ยงเมล็ดเอื้องเทียนสามดอกบนอาหารสูตร MS และ 1/2MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส ที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ (15, 20 และ 30 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 8 และ 12 สัปดาห์ ผลการวิจัย

พบว่าการงอกเป็นโปรโตคอร์มจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารทุกสูตรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ทั้งนี้สูตรอาหาร 1/2MS ที่เติมน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้เกิดการพัฒนาเป็นโปรโตคอร์มได้ดีที่สุด พบว่ายอดที่เกิดขึ้นมีลักษณะปลายแหลม เรียว และมีสีเขียว ค่าคะแนนสูงสุดที่ 8 สัปดาห์ คือ 4.80 ± 0.42 ค่าคะแนนสูงสุดที่ 12 สัปดาห์ คือ 5.00 ± 0.00 สอดคล้องกับ Takano *et al.* (1990) ศึกษาผลของซูโครสต่อการเพิ่มโปรโตคอร์มของ *Cymbidium Mini Drea* ‘Golden Color’ พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมควรอยู่ในระดับต่ำกว่า 30 กรัมต่อลิตร (อ้างจากศุภาวีร์และจักรพงศ์ แห่งทอง, 2558: 109-118)

ต้นอ่อนกล้วยไม้เอื้องเทียนสามดอกมาเพาะเลี้ยงเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร 1/2MS น้ำตาล 20 กรัมต่อลิตร ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถพัฒนาเป็นต้นที่สมบูรณ์ได้ดี เนื่องจากแสดงถึงความสูงและจำนวนยอดได้สูงที่สุด อีกทั้งรูปร่าง ลักษณะของต้น ใบ ราก และลำต้นมีสีเขียว มีความสมบูรณ์กว่าอาหารสูตรอื่น ๆ ทั้งนี้มีการศึกษากล้วยไม้ชนิดอื่นที่ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต BA และ NAA เช่นกันโดยสุมิตรา สุปินราช และอิศร์ สุปินราช (2557: 84-92) ได้ศึกษาผลของ BA และ NAA ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้เอื้องผึ้งในสภาพปลอดเชื้อ พบว่าสูตรอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้จำนวนราก จำนวนใบ จำนวนหน่อ และน้ำหนักสูงสุด อีกทั้งฉัตรพร แก้วสาร และคณะ (2558: 71-75) ศึกษาผลของ BA และ NAA ต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของโปรโตคอร์มกล้วยไม้ไอยเรศ (*Rhynchostylis retusa* (L.) Blume) พบว่าอาหารสูตรที่เติม NAA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และสูตรที่เติม BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้เกิดโปรโตคอร์มสูงสุด 2.80 โปรโตคอร์ม นอกจากนี้สูตรอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ชักนำโปรโตคอร์มให้เกิดยอดสูงสุด 3.40 ยอดต่อโปรโตคอร์ม และทำให้เกิดจำนวนรากสูงสุด 4.00 รากต่อโปรโตคอร์ม ดังนั้นความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตจึงมีผลต่อการพัฒนาไปเป็นต้นที่สมบูรณ์ของโปรโตคอร์ม อีกทั้งรายงานจากศุภาวีร์ แสงจันทร์จิระเดชและจักรพงศ์ แห่งทอง (2558: 109-118) กล่าวว่า การเพาะเลี้ยงเมล็ดกล้วยไม้ในช่วงแรก การพัฒนาส่วนของโปรโตคอร์มนั้นนิยมใช้สารควบคุมการเจริญกลุ่มไซโตไคนินอย่างเดียว หรือไซโตไคนินความเข้มข้นสูงร่วมกับออกซินความเข้มข้นต่ำเพื่อเพิ่มจำนวนยอด แต่ถ้าเพาะเลี้ยงในอาหารที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มออกซินอย่างเดียวหรือมีสัดส่วนระหว่างไซโตไคนินต่อออกซินในระดับสูงขึ้น จะพัฒนารากได้ดีขึ้น

ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้

การงอกของเมล็ดกล้วยไม้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชขึ้นอยู่กับสูตรอาหารและปริมาณน้ำตาล การใช้สูตรอาหารที่ต่างจากการศึกษาในครั้งนี้ อาจมีผลต่อปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดกล้วยไม้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.จรัญ มากน้อย หัวหน้าสวนพฤกษศาสตร์บ้านร่มเกล้า พิษณุโลก ในพระราชดำริและเจ้าหน้าที่ ณ สวนพฤกษศาสตร์บ้านร่มเกล้า พิษณุโลก ในพระราชดำริ ในการสนับสนุนข้อมูลกล้วยไม้และฝักกล้วยไม้ ขอขอบคุณคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณศูนย์ประสานงาน อพ.สธ.-มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ และหลักสูตรชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่สนับสนุน อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จตุพร หงส์ทองคำ, รชยา พรมงคล และสุรัชย์ รัตนสุข. (2560). การขยายพันธุ์และการเก็บรักษาพันธุ์กล้วยไม้เอื้องกุหลาบกระเปาเปิด โดยเทคนิคเมล็ดเทียม. *SDU Research Journal*, 10(3), 187-201.
- จรัญ มากน้อย, นาวัน อินทกุล, และเกรียงไกร อินท่ามา. (2562). รายชื่อพรรณไม้ในสวนพฤกษศาสตร์บ้านร่มเกล้า พิษณุโลก ในพระราชดำริ. พิษณุโลก: บริษัท ไฟกัส พรินต์ติ้ง จำกัด.
- จุฑารัตน์ กรดสัน ศุทธิณัฐ์ สุนทรกลัมพ์ และปวีณา แก้วอุบล. (2562). ผลของโคโตซานต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการออกของโปรโตคอร์มกล้วยไม้เอื้องเทียนส้ม (*Coelogyne brunnea* Lindl. (Orchidaceae)). *แก่นเกษตร*, 47(1), 141-150.
- ฉัตรพร แก้วสาร, สุรเชษฐ เอี่ยมสำอาง, และกาญจน์ คุ่มทรัพย์. (2558). ผล BA และ NAA ต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของโปรโตคอร์มกล้วยไม้ไอยเรศ (*Rhynchostylis retusa* (L.) Blume) ในสภาพปลอดเชื้อ [ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์]. *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์*, 71-75.
- ปริมลภ (วสุวัต) ชูเกียรติมัน, คมกฤช ชูเกียรติมัน, เสริมลภ วสุวัต, ทวีศักดิ์ บุญเกิด, อบฉันท ไทยทอง และมานิต คิดอยู่. (2542). สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ฉบับเสริมการเรียนรู้ เล่มที่ 13. กรุงเทพฯ: โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว.
- ศุภาวีร์ แสงจันทร์จิระเดช และจักรพงศ์ แท่งทอง. (2558). การเพาะเมล็ดเอื้องดอกมะขาม (*Dendrobium delacourii* Guilloumin) ในสภาพปลอดเชื้อ. *SDU Research Journal*, 8(1), 109-118.
- สุมิตรา สุปินราช และอิสร สุปินราช. (2557). ผลของ BA และ NAA ต่อการเจริญเติบโตของของต้นกล้าเอื้องผึ้งในสภาพปลอดเชื้อ. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 19(2), 84-92.

- องอาจ ตัณฑวณิช. (2561). *กล้วยไม้ในเมืองไทย*. สืบค้นจาก https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_85112.
- อารักษ์ จันศิลป์ และรัตนา หิรัญพันธุ์. (2549). *การเก็บรักษากล้วยไม้ม้าวี่ง (Doritis pulcherrima Lindl.) ในหลอดทดลอง โดยการเก็บรักษาเมล็ดและวิธีชะลอการเจริญเติบโต* (รายงานการวิจัย). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Takano, T., Oyamada, T., & Hira, J. (1990). Improvement in nutrient composition of culture medium for growth and multiplication of PLB in Cymbidium. *Proc. of Nagoya Intl. Orch. Cong*, 95-101.