

วารสารวิทยาศาสตร์
วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

JSET
LRU

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 (2023) : กรกฎาคม - ธันวาคม 2566

Journal of Science,
Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY



ISSN : 2773-9856 (Online)

วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย มีวัตถุประสงค์ เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่บทความวิจัยคุณภาพสูงด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี และเป็นสื่อประสานและส่งข่าวระหว่างเครือข่ายนักวิชาการด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี

เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

คณะกรรมการอำนวยการ

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์สมเจตน์ ดวงพิทักษ์ | อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิ พลภุชา | รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและประกันคุณภาพ |
| 3. ดร.สัญญาชัย เกียรติทรงชัย | ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา |
| 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรัสวัณณ์ รักษ์มณี | คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 5. รองศาสตราจารย์ศักดิ์ชาย พวงจันทร์ | คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม |

กองบรรณาธิการ

- | | |
|---|-------------------|
| 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ ตันเมืองปัก | บรรณาธิการ |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ แสนประสิทธิ์ | รองบรรณาธิการ |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะพงษ์ ชุมศรี | ผู้ช่วยบรรณาธิการ |
| 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์นภัสสร วงเปี้ยว | ผู้ช่วยบรรณาธิการ |
| 5. นางสาวพรชนก บุญลับ | ผู้ช่วยบรรณาธิการ |

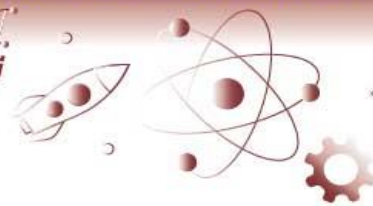
ผู้ทรงคุณวุฒิประจำกองบรรณาธิการ

- | | |
|---|---|
| 1. ศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ ลิ่มสุวรรณ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปิ่นละออ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 3. ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 4. ศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วงศ์วัฒนาเสถียร | สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 5. ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม |
| 6. รองศาสตราจารย์ ดร.โอภาส วนิชชีวะ | มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร |
| 7. รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิ คงบรรทัด | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| 8. รองศาสตราจารย์ ดร.จักรมาส เลหาวิช | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 9. รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติไทย แก้วทอง | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 10. รองศาสตราจารย์ ดร.ต้องจิตร์ ถิ่นขมนาง | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |

- | | |
|---|--|
| 11. รองศาสตราจารย์ ดร.บุญเสถียร บุญสูง | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 12. รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เดช สารการ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 13. รองศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน พิรพัฒนา | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 14. รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์ | สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 15. รองศาสตราจารย์ ดร.นนทพงษ์ พลพวก | สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม |
| 16. รองศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ พรหมที | สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี |

เจ้าหน้าที่ประจำวารสาร

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1. นางสาวอชฎาภรณ์ หาคำแพง | เจ้าหน้าที่ประจำกองบรรณาธิการ |
| 2. นางสาวอัญชลีพร เนื่องมัจฉา | เจ้าหน้าที่ประจำกองบรรณาธิการ |
| 3. นางทัศนีย์ บุตรเพ็ง | เจ้าหน้าที่ประจำกองบรรณาธิการ |
| 4. นายชนาธิป สุรงษา | เจ้าหน้าที่ประจำกองบรรณาธิการ |



ชื่อวารสาร	(ภาษาไทย) วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย (ภาษาอังกฤษ) Journal of Science, Engineering and Technology Loei Rajabhat University
หน่วยงานเจ้าของวารสาร	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
เลข ISSN	ISSN : 2773-9856 (Online)
บรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ ตันเมืองปัก
สถานที่ติดต่อ	234 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตึก 28 มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ถนนเลย-เชียงคาน อำเภอเมือง ตำบลเมือง จังหวัดเลย 42000 เบอร์โทรศัพท์ 042-835224 ต่อ 8 E-mail : Jsetlru@lru.ac.th
เว็บไซต์ของวารสาร	https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSET/

กระบวนการพิจารณาบทความ

บทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญอย่างน้อย 2 ท่าน แบบผู้ทรงคุณวุฒิและ ผู้แต่ง
ไม่ทราบชื่อกันและกัน (double-blind review)

ประเภทของบทความ

- บทความวิจัย (research article)
- บทความวิชาการ (academic article)
- บทความปริทัศน์ (review article)

ภาษาที่รับตีพิมพ์

ภาษาไทย

กำหนดออกวารสารตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี

- ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน
- ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม

วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย วารสารฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 3 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2566) ได้จัดทำขึ้นโดย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ร่วมกับคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ซึ่งบทความในวารสารเป็นบทความที่ได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย มีวัตถุประสงค์การจัดทำเพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ เป็นสื่อกลางรายงานความก้าวหน้าทางวิจัย และแลกเปลี่ยนแนวความคิด ในการวิจัย การตีพิมพ์ฉบับนี้ กองบรรณาธิการได้พิจารณาบทความวิจัยลงตีพิมพ์เผยแพร่ จำนวน 6 บทความ

ในการนี้ กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ขอเชิญชวน นักวิจัย นักวิชาการ นิสิต นักศึกษา เครือข่าย หน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ส่งบทความที่ดีมีประโยชน์เผยแพร่ต่อสาธารณชน ในการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งทางวิชาการและพัฒนาต่อยอดต่อไป หากท่านใดประสงค์ที่จะเป็นสมาชิก สามารถสมัครได้ตามระเบียบ การตีพิมพ์แนบท้ายวารสารนี้และเว็บไซต์ <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSET/>

บทความวิจัย

- | | |
|--|-------|
| การพัฒนากระบวนการจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุ
ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร | 1-15 |
| <i>ภราเดช สุจริต สุรสิทธิ์ อัยย์ปัดผาวงค์ ชัยนันท์ สมพงษ์ สุธาสนี คุปตะบุตร และ นิภาพร ชนะมาร*</i> | |
| | |
| ปฏิกิริยาควมแน่นแบบอัลดอลของอะซีโตนกับบิวทิลดีไฮด์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาอัลคาไลบนไฮโดรทัลไซต์
ปานชีวา สิงไธสง และ อาทิตย์ อัครสุชี* | 16-27 |
| | |
| การพัฒนาแบบสอบถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ | 28-39 |
| <i>ขจรศักดิ์ วงศ์จันทร์ สุธาสนี คุปตะบุตร ปิยวรรณ โกปาสอน อุบลศิลป์ โพธิ์พรม และ แพรตะวัน จารุตัน*</i> | |
| | |
| ผลของแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ | 40-51 |
| <i>ธีรวัฒน์ สีทองแดง บุรินทร์ มนตรีวิสัย ทรงกลด ไบยา อารณ บัวหลวง สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ และ บงกช บุญบุรพงค์*</i> | |
| | |
| ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดพืชบางชนิดในป่าบุ่งป่าทามและการทดสอบการงอกเบื้องต้น | 52-63 |
| <i>เทียมหทัย ชูพันธ์ ธิติรัตน์ มีศรี และ สุนิสา โสนาคา</i> | |
| | |
| ระบบตรวจสอบความผิดปกติระหว่างการทำงานปั้มน้ำโซลาร์เซลล์ | 64-76 |
| <i>พิสุทธิ แสนดีน้อย ธันว์ ขำทับทิม ธีรศักดิ์ ไหมมบุรี ธนภูมิ เฟื่องเพียร และ นัฐพงษ์ เนินชัด*</i> | |
| | |

การพัฒนาระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร

Development of Concrete Equipment Management System for Depot Unit of Sakon Nakhon Provincial Electricity Authority

ภราเดช สุจริต¹ สุรสิทธิ์ อัยปัตตมาวงศ์² ชัยนันท์ สมพงษ์³ สุธาสิณี คุปตะบุตร⁴ และ นิภาพร ชนะมาร^{5*}
Paradach Sucharit¹ Surasit Uypatchawong² Chaiyanun Sompong³ Suthasinee Kuptabut⁴
and Nipaporn Chanamarn^{5*}

^{1,2,3,4,5} สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

^{1,2,3,4,5} Department of Computer, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University,
Sakon Nakhon Province, 47000

*Corresponding author E-mail: nipaporn@snru.ac.th

Received 2 June 2023, Accepted 5 October 2023, Published 24 October 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร 2) ประเมินประสิทธิภาพระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร และ 3) ประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร พัฒนาด้วยวงจรการพัฒนาแบบ (SDLC) และใช้ภาษา HTML ภาษา PHP ตกแต่งออกแบบหน้าเว็บไซต์ CSS และ JavaScript การจัดการระบบฐานข้อมูลด้วย MySQL การประเมินประสิทธิภาพด้วยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน และกลุ่มตัวอย่างประเมินความพึงพอใจของระบบ จำนวน 30 คน ใช้การคัดเลือกด้วยวิธีการแบบเจาะจง

ผลการวิจัยพบว่า ระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร สามารถใช้ประโยชน์ได้จริง ช่วยจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบและลดปัญหาข้อมูลสูญหาย อีกทั้งสามารถเรียกดูข้อมูลรายการเบิกจ่ายข้อมูลคอนกรีตที่นำออกไปบริการติดตั้งตามจุดบริการต่างๆ ของการไฟฟ้าได้สะดวกมากขึ้น โดยพิจารณาจากผลการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ภาพรวมของระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.37$, S.D.=0.56) โดยด้านตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.56$, S.D.=0.49) รองลงมาด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.53$, S.D.=0.53) ด้านความเร็วในการประมวลผล อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.32$, S.D.=0.66) ด้านการทำงานได้ตรงตามหน้าที่ของฟังก์ชัน อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.28$, S.D.=0.58) และด้านความง่ายต่อการใช้งาน อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.20$, S.D.=0.56) ตามลำดับ และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.81$, S.D.=0.46)

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศ, ระบบบริหารจัดการ, แผนกคลังพัสดุ, อุปกรณ์ประเภทคอนกรีต, การประเมินประสิทธิภาพ, ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ABSTRACT

The goals of this study were to 1) create a practical equipment management system for Sakon Nakhon Provincial Electricity Authority's depot unit, 2) assess the system's effectiveness, and 3) gauge users' satisfaction with it. The System Development Lifecycle (SDLC) and the HTML and PHP languages are used in the research development. MySQL was utilized for database system management, along with JavaScript, CSS, and JavaScript for web page design embellishment. Using a purposive sampling technique, 5 experts and a sample of 30 people assessed the system's effectiveness and user satisfaction.

The findings of the study shown that it is possible to use the management system of concrete equipment to good effect, to systematically store data, and to lessen the issue of data loss. Additionally, it is more practical to examine the information on the concrete list that will be delivered to the installation service at different Electricity Authority service locations. According to expert performance assessment results, the system is generally quite effective ($\bar{X} = 4.37$, S.D. = 0.56). ($\bar{X} = 4.56$, S.D. = 0.49), the side that satisfies user requests, was at the greatest level. Second, the greatest level ($\bar{X} = 4.53$, S.D. = 0.53) was information security. High processing speed ($\bar{X} = 4.32$, S.D. = 0.66) was achieved. The system's operation closely matches its intended purpose ($\bar{X} = 4.28$, S.D. = 0.58). Additionally, the usability was excellent ($\bar{X} = 4.20$, S.D. = 0.56, respectively). The findings of the evaluation of user satisfaction were at the highest level ($\bar{X} = 4.81$, S.D. = 0.46).

Keywords: Information System, Management System, Depot Unit, Concrete Equipment, Performance Assessment, User Satisfaction Assessment

บทนำ

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร โดยแผนกคลังพัสดุ จะมีการเบิก-จ่ายวัสดุอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตให้กับพนักงานช่าง และผู้รับเหมาหลายครั้งต่อวันผ่านระบบ SAP ซึ่งเป็นระบบสารสนเทศที่เรียกว่า ระบบคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปสำหรับธุรกิจหลัก (Software Application Product in Data Processing) โดยมีการวางระบบโครงข่ายถึงกันทุกกระบวนการการทำงาน และเชื่อมต่อสัมพันธ์กันทั่วประเทศของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทั้งนี้ระบบงานนี้ก็ยังไม่ครอบคลุมในหน่วยงานย่อย ๆ ของผู้ปฏิบัติการในดำเนินงานบางอย่าง เช่น ระบบยังไม่รวมวัสดุอุปกรณ์ประเภทอื่น ๆ ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการเบิก-จ่ายวัสดุอุปกรณ์ที่ล่าช้า เนื่องจากรหัสผู้ใช้งานระบบ SAP มีจำนวนจำกัดต่อการเข้าใช้งานในแผนกคลังพัสดุ ทำให้ไม่ทันต่อความต้องการการเบิก-จ่าย และรับอุปกรณ์ประเภทคอนกรีต การแก้ไขปัญหาในปัจจุบัน คือ 1) ทำการจัดบันทึกหมายเลขงานและหมายเลขเสาลงในกระดาษ 2) ทำการจ่ายอุปกรณ์ก่อนตัดในระบบ 3) ให้ช่างผู้ควบคุมงานถ่ายรูปหมายเลขเสาส่งมาให้ผู้ดูแลผ่านแอปพลิเคชัน Line Facebook และ 4) ทำการลงลายมือเป็นลายลักษณ์อักษรลงสมุดคุมทะเบียนการเบิกเสา ซึ่งยากต่อการรวบรวมข้อมูลและสรุปข้อมูลวัสดุคงเหลือ และมีการสูญหายของกระดาษที่จัดบันทึกหมายเลขงานและหมายเลขเสาไว้ และเมื่อมีการตรวจนับมักจะมีการประเภตเสาขาด-เกินอยู่เสมอ ดังนั้นควรมีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อให้สามารถบริหารจัดการข้อมูลในแผนกคลังพัสดุให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (นิตยา คำชมภู, ตุลาคม 2565: สัมภาษณ์)

เทคโนโลยีสารสนเทศในปัจจุบันยังเป็นที่นิยมในการนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาหรือการบริหารจัดการข้อมูล ซึ่งก็มีนักวิจัยหลากหลายศาสตร์ได้นำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหา ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ สุกัญญา ทับทิม (สุกัญญา, 2562) ได้พัฒนาระบบงานพัสดุสำนักงานโดยใช้โปรแกรมทะเบียนวัสดุสำนักงาน สำหรับสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม มีวัตถุประสงค์คือ 1) ศึกษากระบวนการดำเนินงานการพัฒนากระบวนการเบิก-จ่ายวัสดุสำนักงานด้วยโปรแกรมทะเบียนวัสดุสำนักงาน 2) ประเมินผลความพึงพอใจของผู้ใช้บริการก่อนและหลัง โดยใช้กระบวนการพัฒนาตามแบบวงจรการพัฒนาแบบ (SDLC) ผลการวิจัยพบว่าระบบงานเบิก-จ่ายวัสดุสำนักงานด้วยโปรแกรมทะเบียนวัสดุสำนักงาน คณะวิทยาศาสตร์ฯ สามารถมีระบบงานเบิก-จ่ายวัสดุสำนักงานที่สามารถใช้จริงทำให้การปฏิบัติงานพัสดุของสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ฯ มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น งานวิจัยของ โสภณ พินิจกิจเจริญกุล, รัฐวิภาค อู่ทองมาก และ อัญชลี เล็กประดิษฐ์ (โสภณ, รัฐวิภาค และอัญชลี, 2562) ได้พัฒนาระบบบริหารจัดการพัสดุออนไลน์ โครงการจัดตั้งศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการพัสดุออนไลน์ ตามแนวทางที่ได้ศึกษาวิเคราะห์ความต้องการและออกแบบระบบได้ในงานวิจัยปี 2561 และทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการพัสดุออนไลน์ที่พัฒนา โดยพัฒนาระบบด้วยภาษา PHP และทำการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาระบบสารสนเทศของมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จำนวน 5 คน และทำการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบบริหารจัดการพัสดุออนไลน์ ผลการวิจัย พบว่า 1) ประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการพัสดุออนไลน์ จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาระบบสารสนเทศของมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 4 ด้าน คือด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ อยู่ในระดับมากที่สุด ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ อยู่ในระดับมากที่สุด ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ อยู่ในระดับมากที่สุด และด้านความสามารถในการทำงานตามความต้องการผู้ใช้งาน อยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบบริหารจัดการพัสดุออนไลน์อยู่ในระดับมากที่สุด งานวิจัยของ ศิริวงศ์ รักษาสร้อย และนิภาพร ชนะมาร (ศิริวงศ์ และนิภาพร, 2564) ได้พัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ กรณีศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ซึ่งพัฒนาในรูปแบบของระบบเว็บแอปพลิเคชัน ด้วยภาษา PHP และพัฒนาตามกระบวนการของ SDLC โดยเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินเป็นแบบสอบถามประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน และประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานระบบ จำนวน 30 คน คัดเลือกด้วยวิธีการเจาะจง ผลการศึกษพบว่า ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สามารถใช้งานได้จริงตามวัตถุประสงค์ โดยช่วยลดปัญหาการจัดเก็บข้อมูล การรายงานสรุปข้อมูล และการติดตามสถานะข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ของสาขาวิชาได้ ซึ่งประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับมาก และความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบอยู่ในระดับมาก และงานวิจัยของ สุรียัน นิลทะราช และ สมบูรณ์ ชาวชายโขง (สุรียัน และสมบูรณ์, 2563) ได้พัฒนาระบบสารสนเทศการบริหารงานพัสดุ เพื่อการควบคุมวัสดุ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร มีจุดมุ่งหมาย 1) เพื่อศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหา และความต้องการระบบสารสนเทศการบริหารงานพัสดุ 2) เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศการบริหารงานพัสดุ 3) เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศการบริหารงานพัสดุ 4) เพื่อหาความพึงพอใจของระบบสารสนเทศการบริหารงานพัสดุ โดยใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จำนวน 98 คน ผลการวิจัยพบว่า 1) สภาพปัจจุบัน ปัญหา และความต้องการระบบสารสนเทศการบริหารงานพัสดุ ปัจจุบันมีการกำหนดผู้รับผิดชอบโดยมอบหมายให้เจ้าหน้าที่พัสดุเป็นผู้ควบคุมวัสดุ มีการจัดทำบัญชีเพื่อควบคุมวัสดุส่วนใหญ่มีการจัดเก็บข้อมูลเป็นแฟ้มเอกสารสำหรับปัญหาพบว่า การสืบค้นข้อมูลที่มีความล่าช้า ไม่มีระบบสารสนเทศเพื่อควบคุมวัสดุการรายงานข้อมูลการเบิกจ่ายวัสดุล่าช้าและการตรวจสอบวัสดุทำได้ยาก 2) ระบบสารสนเทศการบริหารงานพัสดุมีคุณสมบัติ คือ การนำข้อมูลเข้าระบบ การค้นหาข้อมูล และการสรุปผลข้อมูล ครอบคลุมการควบคุมวัสดุในด้านการลงบัญชีเพื่อควบคุมวัสดุ ข้อมูลด้านการเก็บรักษาวัสดุ ข้อมูลด้านการเบิกวัสดุ ข้อมูลด้านการจ่ายวัสดุ 3) ประสิทธิภาพของระบบโดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ด้านที่มีค่าเฉลี่ยมาก

ที่สุดคือ ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ อยู่ในระดับมากที่สุด 4) ความพึงพอใจของระบบโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก

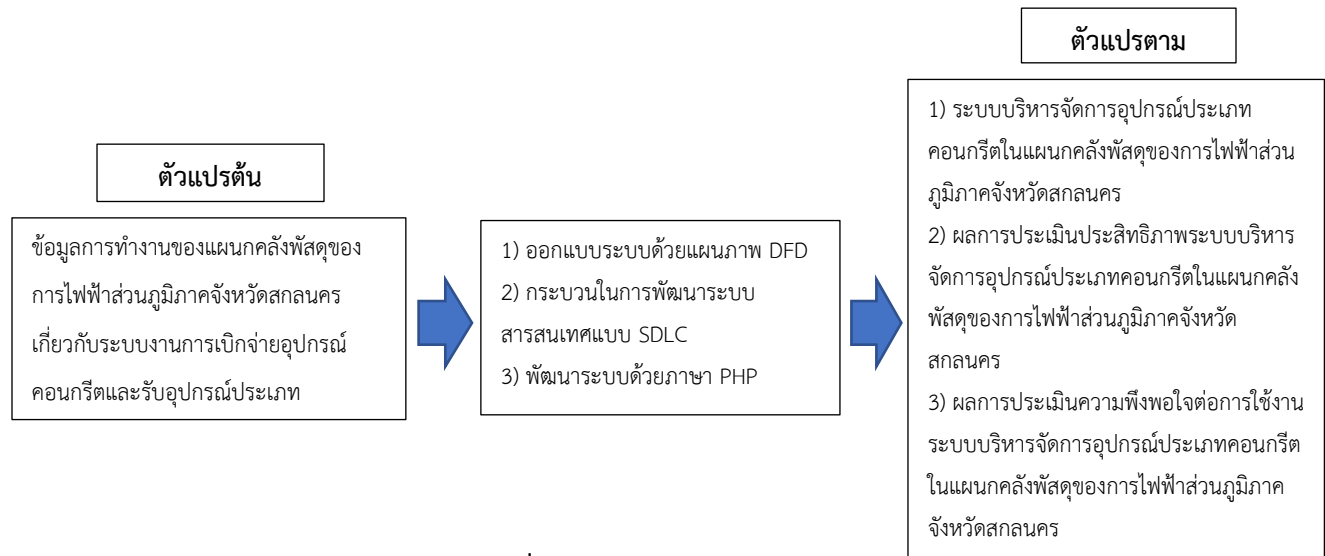
จากข้อมูลข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นของแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร จึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์จากงานวิจัยหลายๆ ชิ้นงานที่สามารถนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาได้และส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตให้กับแผนกคลังพัสดุให้มีความสะดวกในการบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีต สามารถลดความซ้ำซ้อนจัดเก็บข้อมูล ลดระยะเวลาในการเบิก-จ่าย และนำไปใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการข้อมูลในองค์กรได้อย่างเหมาะสม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร
- 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนครส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร
- 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร

วิธีการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้ดำเนินการวิจัยตามกรอบการวิจัย (ภาพที่ 1) และขั้นตอนกระบวนการวิจัยตามวงจรการพัฒนาแบบ (SDLC) ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการวิจัยดังนี้



ภาพที่ 1 กรอบการดำเนินการวิจัย

จากภาพที่ 1 คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาปัญหาและความต้องการของแผนกคลังพัสดุเพื่อทำการวิเคราะห์ระบบงานเดิมและออกแบบระบบงานใหม่ โดยใช้การวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง และพัฒนาระบบตามหลักการขั้นตอนการพัฒนาแบบ (System Development Life Cycle : SDLC) (ศิริวงศ์ และนิภาพร, 2564) ซึ่งการพัฒนาครั้งนี้ได้ใช้ภาษา PHP เมื่อได้ระบบ

สารสนเทศที่สมบูรณ์แล้วทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบและประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบ ซึ่งอธิบายตามระเบียบวิธีวิจัยและขั้นตอนการพัฒนาดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ บุคลากรในการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร จำนวน 95 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ พนักงานเจ้าหน้าที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร จำนวน 30 คน ได้มาโดยใช้วิธีการคัดเลือกแบบเจาะจง สำหรับประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบนี้

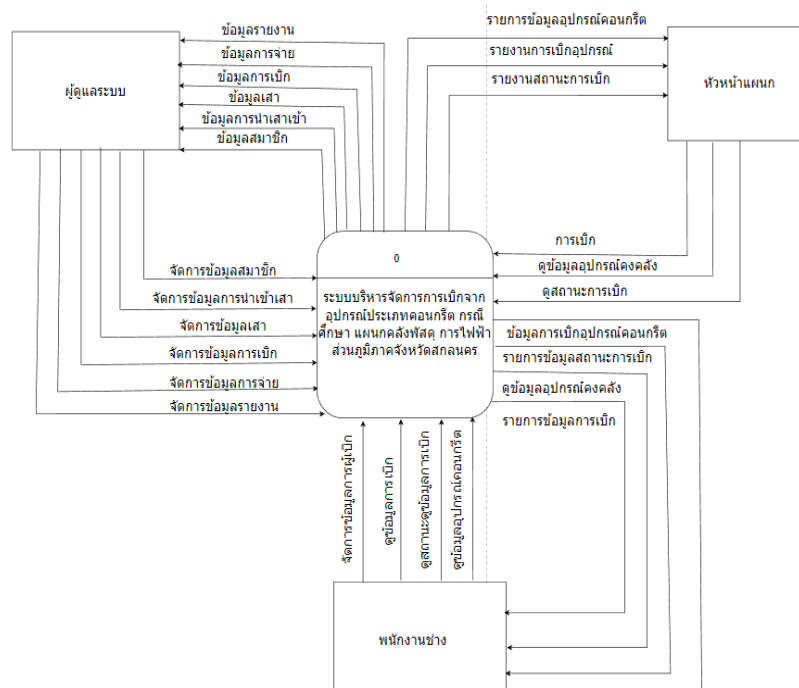
2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

การพัฒนากระบวนการบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนครมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดปัญหา ผู้วิจัยได้ลงสำรวจพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร เพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับการเบิก-จ่ายอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตของแผนกคลังพัสดุ และได้สัมภาษณ์ผู้ดูแลควบคุมการเบิก-จ่ายอุปกรณ์ประเภทคอนกรีต ซึ่งพบว่าระบบดังกล่าวมีการจัดเก็บในรูปแบบเอกสารและยังทำการค้นหาข้อมูลมีความยุ่งยาก

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาความเป็นไปได้ จากปัญหาที่เกิดขึ้นกับการเบิก-จ่ายอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตของแผนกคลังพัสดุ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร เมื่อทำการวิเคราะห์แนวทางเบื้องต้นแล้ว สามารถพัฒนาระบบขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาเพื่อช่วยแก้ไขปัญหา และสร้างความสะดวก รวดเร็วในการเบิก-จ่ายอุปกรณ์ ให้แก่พนักงานช่าง ผู้รับเหมาได้ โดยวิเคราะห์ระบบงานเดิมและนำไปออกแบบระบบงานใหม่

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ระบบ คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ระบบงานใหม่ตามวิธีการวิเคราะห์และออกแบบเชิงโครงสร้าง ทั้งการออกแบบฐานข้อมูลที่ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน การแสดงผลข้อมูล ซึ่งเกี่ยวข้องกับงาน 3 ระดับ คือ 1) ส่วนของพนักงานช่าง 2) ส่วนของหัวหน้าแผนก และ 3) เจ้าหน้าที่หรือผู้ดูแลระบบ ซึ่งสามารถบริหารจัดการข้อมูลได้ดังแสดงการวิเคราะห์ดังภาพที่ 2

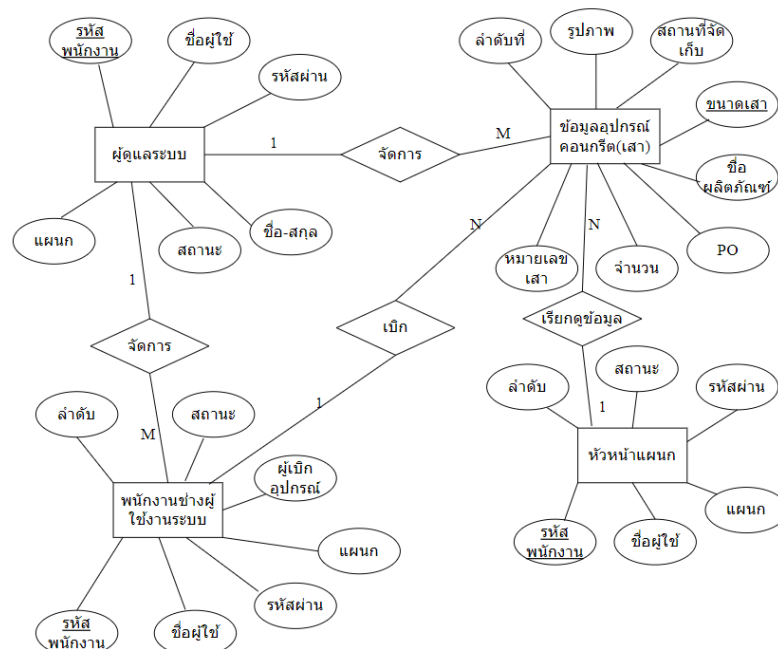


ภาพที่ 2 แผนภาพบริบท

ขั้นตอนที่ 4 การออกแบบระบบ ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ความต้องการทำการออกแบบระบบ เพื่อนำไปพัฒนาเป็นระบบงานใหม่ ตามแผนภาพลำดับชั้น โครงสร้างและความสัมพันธ์ของข้อมูล ดังแสดงตามภาพที่ 3-4 สำหรับนำไปสร้างฐานข้อมูลการออกแบบและพัฒนาระบบต่อไป



ภาพที่ 3 แผนภาพลำดับชั้น



ภาพที่ 4 แผนภาพแสดงโครงสร้างและความสัมพันธ์ของข้อมูล

ขั้นตอนที่ 5 การพัฒนาระบบ ในขั้นตอนนี้ทำการ Implement ระบบตามที่ได้ออกแบบไว้ด้วยเครื่องมือในการพัฒนาระบบ ซึ่งใช้ภาษา HTML, PHP และตกแต่งหน้าเว็บด้วยภาษา CSS, JavaScript และการจัดการฐานข้อมูลด้วย MySQL โดยจำลองเครื่องเป็น Web Server ด้วยโปรแกรม XAMPP ในการจัดการข้อมูลระบบเว็บแอปพลิเคชัน

ขั้นตอนที่ 6 ทดสอบและปรับปรุง เมื่อได้ระบบที่พัฒนาขึ้นแล้ว คณะผู้วิจัยได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบตามการประเมินประสิทธิภาพระบบสารสนเทศด้วยวิธีการทดสอบระบบแบบ Black Box (มนต์ชัย, 2548) โดยคณะผู้วิจัยเลือกประเด็นด้านตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ด้านการทำงานได้ตรงตามหน้าที่ของฟังก์ชัน ด้านความง่ายต่อการใช้งาน ด้านประสิทธิภาพความเร็วในการประมวลผล และด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล โดยแบ่งระดับของการให้คะแนนออกเป็น 5 ระดับ ตามมาตรวัดลิเคิร์ต (Likert Scale) (Best, 1997; สุรเชษฐ์ และฤทธิชัย, 2562) ซึ่งประเมินด้วยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านข้อมูล จำนวน 2 คน และเชี่ยวชาญทางด้านระบบสารสนเทศ จำนวน 3 คน เมื่อได้ข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว จะนำข้อเสนอแนะนั้นมาทำการปรับปรุงระบบเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสม ก่อนนำระบบนั้นไปประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบต่อไป

ขั้นตอนที่ 7 การประเมินความพึงพอใจและการนำไปใช้ประโยชน์ ในขั้นตอนนี้ คณะผู้วิจัยได้นำระบบไปประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยในกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน จากนั้นเมื่อได้ระบบที่เป็นที่น่าพอใจของผู้ใช้งานแล้ว ทำการติดตั้งระบบให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนครนำไปใช้งานต่อไป ซึ่งสถิติที่ใช้ในการวิจัย คือ ค่าเฉลี่ย และ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกับเกณฑ์การประเมินจาก 5 ระดับ ตามมาตรวัดลิเคิร์ต (Best, 1997; สุรเชษฐ์ และฤทธิชัย, 2562) ดังนี้

- ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.51 - 5.00 หมายความว่า ระดับมากที่สุด
- ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.51 - 4.50 หมายความว่า ระดับมาก
- ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.51 - 3.50 หมายความว่า ระดับปานกลาง
- ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.51 - 2.50 หมายความว่า ระดับน้อย
- ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.00 - 1.50 หมายความว่า ระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

ระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร สามารถสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. ผลการพัฒนาระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร ระบบนี้เป็นระบบสารสนเทศที่อยู่ในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน ที่สามารถบริหารจัดการข้อมูลอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตของแผนกคลังพัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบจะต้องทำการระบุตัวตนหรือสิทธิ์ในการเข้าใช้งานระบบ สิทธิ์ในการเข้าใช้งาน ดังภาพที่ 5 ซึ่งมีอยู่ 3 ส่วนงาน คือ 1) ส่วนพนักงานช่าง สามารถเข้าดูรายงานข้อมูลต่างๆ ของระบบได้ และทำการเบิกอุปกรณ์คอนกรีตได้ตามงานที่ต้องการ ทั้งนี้ไม่สามารถแก้ไขข้อมูลในระบบได้ 2) ส่วนหัวหน้าแผนก สามารถเข้าดูรายงานข้อมูลต่างๆ ของระบบได้ ดังภาพที่ 6 และตรวจสอบและอนุมัติข้อมูลการเบิก และ 3) เจ้าหน้าที่หรือทำหน้าที่ดูแลระบบ สามารถทำงานในส่วนของการจัดการข้อมูลทั้งหมดของระบบ ทั้งการกำหนดสิทธิ์ของผู้ใช้งาน การเพิ่ม แก้ไข และลบ ข้อมูลอุปกรณ์คอนกรีต ดังภาพที่ 7-8 ระบบนี้ได้ถูกนำไปใช้งานจริง และสามารถช่วยจัดเก็บข้อมูลได้อย่างเป็นระบบและลดปัญหาข้อมูลสูญหาย

อีกทั้งสามารถรายงานข้อมูลต่อผู้บริหารได้ถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ โสภณ พินิจกิจเจริญกุล, รัฐวิภาค อุทองมาก และอัญชลี เล็กประดิษฐ์ (โสภณ, รัฐวิภาค และอัญชลี, 2562) ได้กล่าวไว้ว่าการพัฒนาระบบจากงานเดิมเป็นระบบงานใหม่ จะทำให้สามารถจัดเก็บข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ และสะดวกรวดเร็ว และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุกัญญา ทับทิม (สุกัญญา, 2562) กล่าวไว้ว่า ข้อมูลที่ได้จากระบบสามารถนำไปใช้ในการรายงานข้อมูลให้กับผู้บริหารหรือหน่วยงานอื่นๆ ที่ต้องการ เช่น สำนักงานตรวจเงินแผ่นดิน เป็นต้น ทั้งนี้ระบบบริหารจัดการต่างๆ พัฒนาขึ้นตามบริบทของหน่วยงานหรือองค์กรนั้นๆ ตามความต้องการในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ดังนั้นจากการวิจัยนี้จะเห็นได้ว่า การวิเคราะห์ข้อมูลตามความต้องการของผู้ใช้งานและวิเคราะห์ระบบงานเดิมที่เกิดขึ้น ทำให้สามารถวิเคราะห์ ออกแบบระบบ และพัฒนาระบบงานใหม่ให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงกับองค์กรได้อย่างเหมาะสม

เข้าสู่ระบบ

Concrete

ผู้ใช้งาน

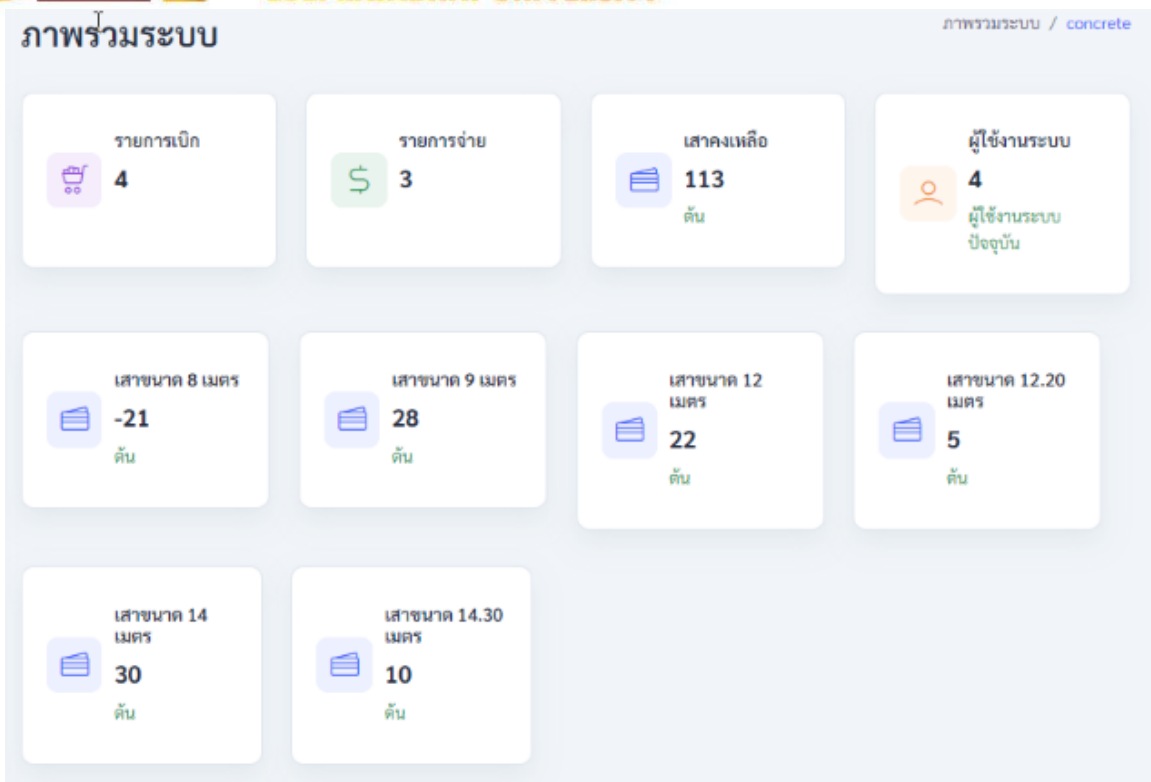
adminparadach

รหัสผ่าน

☐ จดจำฉันในครั้งต่อไป

เข้าสู่ระบบ

ภาพที่ 5 หน้าจอเข้าสู่ระบบ



ภาพที่ 6 หน้าจอภาพรวมระบบ

ตารางข้อมูลผู้ใช้งานระบบ / ตารางข้อมูลผู้ใช้งานระบบ

ข้อมูลผู้ใช้งานระบบ

คลิกเพื่อเพิ่มผู้ใช้งานระบบ

Show 10 entries Search:

ลำดับ	ผู้ใช้งาน	ชื่อ	รหัสผ่าน	รหัสประจำตัวพนักงาน	ตำแหน่ง	แผนก	แก้ไข	ลบ
1	เซ็นเซอร์ข้อมูลสำคัญ	ผู้ดูแลอุปกรณ์คอนกรีต	คลังพัสดุ					
2		ผู้ช่วยเจ้าหน้าที่พัสดุ	คลังพัสดุ					
3		พ.ม.ค.น.	คลังพัสดุ					
4		ช่างผู้ควบคุมงาน	ก่อสร้าง					

Showing 1 to 4 of 4 entries Previous 1 Next

ภาพที่ 7 ตารางข้อมูลผู้ใช้งานระบบ

ตารางจัดการเสา

ตารางจัดการเสา / ตารางจัดการเสา

จัดการเสา

Show 10 entries

Search:

ลำดับ	รหัสเสา	ชื่อเสา	ขนาดเสา	สถานะ	แก้ไข
1	11	90001	9	จ่ายแล้ว	
2	12	90002	9	จ่ายแล้ว	
3	13	90003	9	เบิกได้	
4	14	90004	9	เบิกได้	
5	15	90005	9	เบิกได้	
6	16	90006	9	เบิกได้	
7	17	90007	9	เบิกได้	
8	18	90008	9	เบิกได้	
9	19	90009	9	เบิกได้	
10	20	90010	9	เบิกได้	

Showing 1 to 10 of 147 entries

Previous 1 2 3 4 5 ... 15 Next

ภาพที่ 8 เมนูจัดการเสา

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร เมื่อคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบเรียบร้อยแล้วนั้น จากนั้นได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ที่มีความเชี่ยวชาญแตกต่างกัน คือมีความเชี่ยวชาญทางด้านข้อมูล จำนวน 2 คน และมีความเชี่ยวชาญทางด้านระบบสารสนเทศ จำนวน 3 คน ประเมินว่าระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีประสิทธิภาพเหมาะสมตรงตามความต้องการและสามารถทำงานได้จริงมากน้อยเพียงใด เพื่อให้ได้ข้อเสนอแนะมาปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งการประเมินประสิทธิภาพครั้งนี้ได้พิจารณาการประเมิน 5 ด้าน ตามหลักการประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศแบบ Black Box ได้แก่ ด้านตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ด้านการทำงานได้ตรงตามหน้าที่ของฟังก์ชัน ด้านความง่ายต่อการใช้งาน ด้านประสิทธิภาพความเร็วในการประมวลผล และด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ดังแสดงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร

	ประเด็นวัดประสิทธิภาพของระบบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
ด้านตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน				
1	ความสามารถในการแสดงรายการข้อมูลของนามจากฐานข้อมูล	4.80	0.40	มากที่สุด
2	ความสามารถของระบบในการเพิ่มข้อมูล	4.80	0.40	มากที่สุด
3	ความสามารถของระบบในการแก้ไขข้อมูล	4.80	0.40	มากที่สุด
4	ระบบฐานข้อมูลมีความถูกต้องและแม่นยำ	3.80	0.75	มาก
5	ความสามารถในการเรียกใช้งานในระบบฐานข้อมูล	4.60	0.49	มากที่สุด
	สรุปภาพรวมด้านตรงตามความต้องการ	4.56	0.49	มากที่สุด
ด้านการทำงานได้ตรงตามหน้าที่ของฟังก์ชัน				
1	ความถูกต้องของการทำงานระบบในภาพรวม	4.20	0.75	มาก
2	ความถูกต้องของระบบในการจัดประเภทของข้อมูล	4.60	0.49	มากที่สุด
3	ความถูกต้องของระบบในการเพิ่มข้อมูล	4.80	0.40	มากที่สุด
4	ความถูกต้องของระบบในการแก้ไขข้อมูล	3.60	0.49	มาก
5	ความถูกต้องของระบบในการรายงานข้อมูล	4.20	0.75	มาก
	สรุปภาพรวมด้านสามารถทำงานได้ตามหน้าที่	4.28	0.58	มาก
ด้านความง่ายต่อการใช้งาน				
1	ความง่ายในการเรียกใช้ระบบการบันทึกข้อมูล	4.20	0.40	มาก
2	ความเหมาะสมในการออกแบบหน้าจอโดยภาพรวม	3.60	0.49	มาก
3	ความชัดเจนของข้อความที่แสดงบนจอภาพ	4.20	0.75	มาก
4	ความสะดวกในการเข้าใช้ระบบ	4.80	0.40	มากที่สุด
5	ความน่าใช้ของระบบในภาพรวม	4.20	0.75	มาก
	สรุปภาพรวมด้านความง่ายต่อการใช้งาน	4.20	0.56	มาก
ด้านประสิทธิภาพความเร็วในการประมวลผล				
1	ความเร็วในการแสดงผลจากการเปลี่ยนเมนู	4.60	0.49	มากที่สุด
2	ความเร็วในการติดต่อกับฐานข้อมูล	4.60	0.49	มากที่สุด
3	ความเร็วในการบันทึก แก้ไขข้อมูล	4.20	0.75	มาก
4	ความเร็วในการนำเสนอข้อมูล	4.40	0.80	มาก
5	ความเร็วในการทำงานของระบบในภาพรวม	3.80	0.75	มาก
	สรุปภาพรวมด้านประสิทธิภาพ	4.32	0.66	มาก

	ประเด็นวัดประสิทธิภาพของระบบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล				
1	การกำหนดสิทธิ์การเข้าใช้ระบบเกิดความปลอดภัยในการใช้งาน	4.40	0.80	มาก
2	การควบคุมให้ใช้งานตามสิทธิ์ผู้ใช้อย่างถูกต้อง	4.40	0.80	มาก
3	การตรวจสอบสิทธิ์ก่อนใช้งานของผู้ใช้ระบบในระดับต่าง ๆ	4.80	0.40	มากที่สุด
สรุปภาพรวมด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล		4.53	0.53	มากที่สุด
สรุปภาพรวมประสิทธิภาพของระบบ		4.37	0.56	มาก

จากตารางที่ 1 สรุปความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญได้ประเมินประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในภาพรวมของระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในมาก ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.61 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบในแต่ละด้านพบว่า ด้านตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.49 รองลงมาคือด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.53 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.56 ด้านประสิทธิภาพความเร็วในการประมวลผล มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.32 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.66 ด้านการทำงานได้ตรงตามหน้าที่ของฟังก์ชัน มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.28 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 และด้านความง่ายต่อการใช้งาน มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.56 ตามลำดับ จากผลการประเมินดังกล่าวสามารถเป็นข้อมูลสนับสนุนว่า ระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนครนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงสำหรับองค์กร เพราะมีประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับที่น่ายอมรับ คือประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากขึ้นไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการรักษาความปลอดภัย และด้านความง่ายต่อการใช้งาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุริยัน นิลทะราช และสมบุรณ์ ขาวชายโขง (สุริยัน และสมบุรณ์, 2563) ที่ได้พัฒนาระบบสารสนเทศการบริหารงานพัสดุเพื่อการควบคุมวัสดุมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ผลประเมินประสิทธิภาพของระบบทั้ง 2 ด้านนี้ มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิริวงศ์ รักษาสร้อย และนิภาพร ชนะมาร (ศิริวงศ์ และนิภาพร, 2564) พัฒนาระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ กรณีศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับมาก อีกทั้งพบว่าประสิทธิภาพด้านการรักษาความปลอดภัยมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุดเช่นกัน ซึ่งวิเคราะห์ได้ว่า การวิเคราะห์ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำงานหรือปฏิบัติงานกับการจัดการอุปกรณ์คอนกรีตของแผนกคลังพัสดุ ปัญหาที่พบในระหว่างการทำงาน และความต้องการในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้ตรงจุด จะทำให้การออกแบบกำหนดสิทธิ์การทำงานต่างๆ สามารถทำงานได้ตามความต้องการ และทำให้ระบบการจัดการมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทำให้องค์กรได้รับประโยชน์ส่งผลให้องค์กรมีการพัฒนามากขึ้นตามไปด้วย

3. ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร เมื่อได้ระบบที่มีประสิทธิภาพแล้ว จากนั้นได้ดำเนินการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบ ซึ่งการประเมินครั้งนี้ได้ใช้กลุ่มตัวอย่างที่ปฏิบัติงานอยู่ในการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร ได้มาด้วยวิธีการแบบเจาะจง จำนวน 30 คน ซึ่งประเด็นในการสอบถามจะเป็นรายชื่อ จำนวน 13 ข้อ ดังแสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร

รายการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1 มีความง่ายต่อการใช้งานระบบ	4.77	0.56	มากที่สุด
2 มีความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอภาพ	4.90	0.40	มากที่สุด
3 มีความเหมาะสมในการใช้ขนาด ชนิดและสีตัวอักษรบนจอภาพ	4.80	0.54	มากที่สุด
4 มีความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมาย	4.60	0.61	มากที่สุด
5 มีความเหมาะสมในการใช้สัญลักษณ์หรือรูปภาพในการสื่อความหมาย	4.77	0.42	มากที่สุด
6 มีความเหมาะสมในการปฏิสัมพันธ์โต้ตอบกับผู้ใช้	4.77	0.50	มากที่สุด
7 มีความเหมาะสมในการวางตำแหน่งของส่วนประกอบบนจอภาพ	4.87	0.34	มากที่สุด
8 มีศัพท์ที่ผู้ใช้มีความคุ้นเคยและสามารถปฏิบัติตามได้โดยง่าย	4.93	0.25	มากที่สุด
9 มีความสะดวกในการเข้าใช้ระบบ	4.93	0.25	มากที่สุด
10 มีความสะดวกและไม่ซับซ้อน	4.83	0.52	มากที่สุด
11 มีระบบช่วยลดเวลาในการตรวจสอบข้อมูล	4.73	0.63	มากที่สุด
12 ระบบสามารถช่วยสืบค้นข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและสะดวก	4.80	0.54	มากที่สุด
13 มีประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการตอบสนองของระบบ	4.90	0.40	มากที่สุด
สรุปภาพรวมผลประเมินความพึงพอใจของระบบ	4.81	0.46	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร พบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบโดยภาพรวม มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.81 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46 ซึ่งจะเห็นได้ว่ารายชื่อที่สอบถามทั้งหมด ผู้ใช้งานระบบมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบที่มีการใช้คำศัพท์ที่ผู้ใช้มีความคุ้นเคย สามารถปฏิบัติตามได้โดยง่าย และระบบมีความสะดวกในการเข้าใช้ระบบ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.93 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.25 รองลงมาคือ มีความพึงพอใจในความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอภาพ และระบบมีประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการตอบสนองของระบบ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.90 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.40 เป็นต้น จะเห็นได้ว่าระบบนี้ สามารถนำไปใช้งานได้จริงกับแผนกคลังพัสดุ เพราะผู้ใช้งานเมื่อได้ใช้งานระบบแล้วมีความพึงพอใจต่อการทำงานของระบบ ซึ่งสอดคล้องกับผู้เชี่ยวชาญที่ได้ประเมินประสิทธิภาพของระบบว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก มีความเหมาะสมที่จะนำระบบไปใช้งานจริงกับองค์กร สอดคล้อง

กับงานวิจัยของ สุรเชษฐ์ มีฤทธิ์ และฤทธิชัย อ่อนมิ่ง (สุรเชษฐ์ และฤทธิชัย, 2562) ได้พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อจัดเก็บและการสืบค้นฐานข้อมูลวิธีทัศน์ของสำนักสื่อและเทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ผลการประเมินจากผู้ใช้งานระบบมีความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของระบบ และความเร็วในการตอบสนองของระบบ พึ่งพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด และสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุกัญญา ทับทิม (สุกัญญา, 2562) ผู้ใช้งานระบบมีความพึงพอใจต่อความเร็วของระบบ อยู่ในระดับมากที่สุดเช่นเดียวกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระบบนี้สามารถนำไปใช้กับแผนกคลังพัสดุได้ เพราะจากผู้ใช้งานจริงกับระบบมีความพึงพอใจในการใช้งาน

สรุปผลการวิจัย

ระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนครนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหา ความต้องการ และเก็บรวบรวมข้อมูล ทั้งระบบงานเดิมและผู้ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตของแผนกคลังพัสดุ จากนั้นนำมาดำเนินงานวิจัยตามกระบวนการของวงจรการพัฒนาแบบ (SDLC) อีกทั้งศึกษาเทคโนโลยีเว็บแอปพลิเคชัน เครื่องมือในการพัฒนา และภาษา PHP ที่จะเหมาะสมกับการพัฒนาระบบบริหารจัดการนี้ และทำการวิจัยตามกรอบการวิจัยตามข้อมูลที่ได้รับ มาพัฒนาตามกระบวนการพัฒนางาน และได้ผลลัพธ์ที่ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความพึงพอใจเมื่อใช้งานระบบ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ระบบนี้สามารถทำงานได้ตามสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูล ที่สามารถเรียกดูข้อมูลการเบิก-จ่ายและรับอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตได้ สามารถทำการ เพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลสมาชิก และรายงานข้อมูลได้สามารถนำไปต่อยอดในการนำเสนอข้อมูลต่อผู้บริหารต่อไป ผลจากการประเมินประสิทธิภาพของระบบแล้วระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ =4.37, S.D.=0.56) และผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ =4.81, S.D.=0.46) ดังนั้นระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตในแผนกคลังพัสดุของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร จึงเป็นระบบที่มีความตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน ทั้ง พนักงานช่าง หัวหน้าแผนก และเจ้าหน้าที่หรือผู้ดูแลระบบ ที่สามารถจัดเก็บข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ ลดการใช้ทรัพยากรทั้งแรงงาน กระดาษ หมึกพิมพ์ หรืองบประมาณในจัดหามาเพื่อจัดการในการเก็บข้อมูลของแผนกคลังพัสดุ อีกทั้งยังสามารถตอบสนองการทำงานให้มีความสะดวกรวดเร็วมากขึ้น ระบบนี้จึงเป็นประโยชน์ต่อการจัดการข้อมูลของแผนกคลังพัสดุเป็นอย่างยิ่ง

ข้อเสนอแนะ

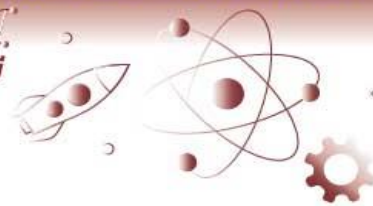
การพัฒนาระบบต่อไปควรมีการพัฒนาระบบให้ครอบคลุมทุกแผนกให้สามารถเชื่อมโยงงานที่เกี่ยวข้องกันได้ และรองรับการใช้งานในรูปแบบแอปพลิเคชันบนมือถือ (Mobile Application)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ นางสาวนิตยา คำชมภู เจ้าหน้าที่ควบคุมและดูแลอุปกรณ์ประเภทคอนกรีตแผนกคลังพัสดุ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร ที่อนุเคราะห์ข้อมูลการบริหารจัดการข้อมูลการเบิกจ่ายอุปกรณ์ในแผนก และข้อมูลความต้องการของระบบเพื่อสนับสนุนให้สามารถใช้งานระบบได้จริง

เอกสารอ้างอิง

- นิตยา คำชมภู. (2565). ข้อมูลการบริหารจัดการอุปกรณ์คอนกรีตแผ่นกลึงพัสดุการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร
สัมภาษณ์เมื่อเดือนตุลาคม 2565 ณ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสกลนคร.
- มนต์ชัย เทียนทอง. (2548). สถิติและวิธีการวิจัยทางเทคโนโลยีสารสนเทศ. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร
เหนือ.
- ศิริวงศ์ รักษาสร้อย และนิภาพร ชนะมาร. (2564). ระบบบริหารจัดการวัสดุและครุภัณฑ์ กรณีศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ.
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย, 1(2), 36-46.
- สุกัญญา ทับทิม. (2562). การพัฒนาระบบงานพัสดุสำนักงานโดยใช้โปรแกรมทะเบียนวัสดุสำนักงาน สำหรับสำนักงานคณะ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
6(1), 49-58.
- สุรเชษฐ์ มีฤทธิ์ และฤทธิชัย อ่อนมิ่ง. (2562). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อจัดเก็บและการสืบค้นฐานข้อมูลวิดิทัศน์ของสำนักสื่อ
และเทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. วารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม, 7(2), 170-179.
- สุรียัน นิลทะราช และ สมบูรณ์ ขาวชายโขง. (2563). การพัฒนาระบบสารสนเทศการบริหารงานพัสดุเพื่อการควบคุมวัสดุ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร. วารสารบัณฑิตศึกษา, 17(76), 191-201.
- โสภณ พินิจกิจเจริญกุล รัฐวิภาค อุ่ทองมาก และอัญชลี เล็กประดิษฐ์. (2562). การพัฒนาระบบบริหารจัดการพัสดุออนไลน์
โครงการจัดตั้งศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. รายงานวิจัยสถาบันทุนอุดหนุนวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562. 90 หน้า.
- Best, J. W. (1977). *Research in education* (3rd ed.). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.



ปฏิกิริยาควบแน่นแบบอัลดอลของอะซีโตนกับบิวทิลรัลดีไฮด์ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาอัลคาไลบนไฮโดรทัลไซต์

Aldol Condensation of Acetone with Butyraldehyde Over Alkali Supported Hydrotalcite Catalysts

ปานชีวา สิงโธสง¹ และ อาทิตย์ อัสวสุชี^{1*}

Pancheewa Singthaisong¹ and Artit Ausavasukhi^{1*}

¹สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹Department of Applied Chemistry, Faculty of Sciences and Liberal Arts,
Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima Province, 30000

*Corresponding author E-mail: artit.au@rmu.ac.th

Received 30 May 2023, Accepted 20 September 2023, Published 24 September 2023

บทคัดย่อ

ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรทัลไซต์ที่ได้รับการปรับสภาพด้วยความร้อนซึ่งถูกเตรียมที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (HT400, HT600 และ HT 800) และโลหะอัลคาไล (ลิเทียม โพแทสเซียม และซีเซียม) ที่เติมแต่งใน HT400 ถูกศึกษาความแตกต่างของสมบัติเชิงพื้นผิว และประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยา/ความสามารถในการเลือกสรรผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอลในสถานะแก๊สในระบบต่อเนื่องระหว่างอะซีโตนและบิวทิลรัลดีไฮด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ขึ้นถูกวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดซึ่งต่อกับสเปกโทรสโกปีรังสีเอกซ์แบบการกระจายพลังงาน และการโปรแกรมอุณหภูมิเพื่อศึกษาการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ ประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาของไฮโดรทัลไซต์ที่ได้รับการปรับสภาพด้วยความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับต่อไปนี้: HT400 < HT600 < HT800 โดยปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอลแบบข้าม และด้วยตัวเองทำให้เกิดส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ควบแน่นหลายชนิด ในปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอลระหว่างอะซีโตนและบิวทิลรัลดีไฮด์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HT600 การเกิดปฏิกิริยาอัลดอลด้วยตัวเองของบิวทิลรัลดีไฮด์ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนคาร์บอน 8 อะตอมเกิดขึ้นได้เร็วกว่าปฏิกิริยาอัลดอลแบบข้ามซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนคาร์บอน 7 อะตอม ภายหลังจากการเติมแต่งลิเทียม (1 โมล%) กับ HT400 โดยวิธีการฝังตัว ตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาได้ อย่างไรก็ตาม ลิเทียมสปีชีส์อาจเกิดการรวมตัวกันเกิดเป็นคลัสเตอร์ขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเติมแต่งโลหะเพิ่มขึ้น (5 และ 10 โมล%) ซึ่งนำไปสู่เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง เมื่อพิจารณาถึงผลของโลหะพบว่าประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาของโลหะอัลคาไลที่เติมแต่งใน HT400 (10 โมล%) จะลดลงตามลำดับต่อไปนี้: 10Li/HT400 > 10Cs/HT400 > 10K/HT400 สันนิษฐานว่าการเกิดขึ้นของสปีชีส์โลหะที่แตกต่างกันและขนาดของคลัสเตอร์สามารถมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยา ความเสถียร และการเลือกสรรผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอล

คำสำคัญ: ออกไซด์ที่ได้จากไฮโดรทัลไซต์, การปรับสภาพทางความร้อน, โลหะอัลคาไลที่ได้รับการเติมแต่ง, การควบแน่นแบบอัลดอล

ABSTRACT

Thermally treated hydrotalcite prepared at different temperatures (HT400, HT600 and HT 800) and alkali metal (Li, K and Cs) incorporated on HT400 catalysts have been studied for their surface properties and catalytic activity/selectivity in the continuous gas phase aldol condensation reaction between acetone and butyraldehyde. The synthesized catalysts were characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy with energy dispersive spectroscopy (SEM/EDS) and temperature-programmed desorption of carbon dioxide (CO_2 -TPD). The catalytic activity of the thermally treated hydrotalcite increases in the following order: HT400 < HT600 < HT800. The cross- and self-aldol condensation reactions give a mixture of multiple condensation products. In the aldol condensation reaction between acetone and butyraldehyde using HT600 catalyst, the self-aldol reaction of butyraldehyde to form C8 products proceeded much faster than the cross-aldol reaction to form C7 products. After incorporation of lithium (1 mol%) with HT400 by impregnation, such catalyst can increase the catalytic activity. However, the lithium species may agglomerate to form relatively larger clusters upon increasing metal loading (5 and 10 mol%) leading to the lower conversion. Regarding the effect of metal, the catalytic activity of the alkali incorporated HT400 (10 mol%) decreases in the following order: 10Li/HT400 > 10Cs/HT400 > 10K/HT400. It suggests that the formation of the different metal species and cluster size can influence the catalytic activity, stability and selectivity of catalyst in aldol condensation reaction.

Keywords: Hydrotalcite-Derived Oxides, Thermal Treatment, Alkali Metal Incorporation, Aldol Condensation

บทนำ

เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) และเศรษฐกิจสีเขียว (Green economy) เป็นโมเดลของการพัฒนาเศรษฐกิจแบบองค์รวมที่ไม่ได้มุ่งเน้นเพียงการพัฒนาเศรษฐกิจเท่านั้น แต่เป็นการพัฒนาที่ควบคู่ไปกับการพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อมได้อย่างสมดุล โดยเปลี่ยนข้อได้เปรียบที่ประเทศไทยมีความหลากหลายทางชีวภาพให้เป็นความสามารถในการแข่งขันด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อให้เกิดความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืนไปพร้อมกัน โดยอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวภาพและเคมีชีวภาพเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมตามยุทธศาสตร์ที่ใช้เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจปิสิจิของประเทศไทย (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.), 2563) โดยการเปลี่ยนสารชีวมวล (Biomass) เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) และเคมีชีวภาพ (Biochemical) ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนสารชีวมวลทำได้โดยใช้กระบวนการทางความร้อน (Thermochemical process) กระบวนการทางชีวเคมี (Biochemical process) และกระบวนการทางเคมี (Chemical process) (อาทิตย, 2559) กระบวนการเปลี่ยนสารชีวมวลที่เป็นเซลลูโลส หรือพอลิแซคคาไรด์เป็นมอนอแซคคาไรด์หรือน้ำตาลที่สามารถนำไปหมักด้วยแบคทีเรียตระกูล *Clostridium* จะให้อะซิโตน-บิวทานอล-เอทานอล (Acetone-Butanol-Ethanol; ABE) เป็นผลิตภัณฑ์ (Wiehn et al., 2013) ซึ่งกระบวนการหมักนี้กำลังได้รับความนิยมเนื่องจากสามารถใช้สารตั้งต้นหลายประเภทในกระบวนการผลิต เช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ชังข้าวโพด ชี้อ้อย ชานอ้อย รวมทั้งน้ำเสียที่มีองค์ประกอบ

ของแป้ง และน้ำตาล (Castro et al., 2015) ทำให้ประเทศไทยมีศักยภาพในการดำเนินการผลิตและมีโอกาสต่อยอดการผลิตอะซีโตน-บิวทานอล-เอทานอลเพื่อเปลี่ยนให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

ปัจจุบันมีการศึกษาการเปลี่ยนอะซีโตนและบิวทิลดีไฮด์ซึ่งสามารถผลิตได้จากการเร่งปฏิกิริยาอะตาโลติกดีไฮโดรจิเนชัน (Catalytic dehydrogenation) ของบิวทานอลให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มผ่านปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอล (Aldol condensation) โดยผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบซึ่ง สามารถนำไปใช้เป็นสารให้กลิ่นหอมหรือน้ำหอมในเครื่องสำอาง ยาฆ่าแมลง สารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์สารเคมี (FOODB, 2020)

จากการศึกษาทางวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีการศึกษาการทำปฏิกิริยาควบแน่นแบบอัลดอลระหว่างอะซีโตนกับซิทรัล (Citral) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะอัลคาไล ได้แก่ ลิเทียม โซเดียม และโพแทสเซียมที่เติมแต่งบนวัสดุรองรับไฮโดรทัลไซต์ (Hydrotalcite) ซึ่งเตรียมได้จากวิธีการตกตะกอนร่วม (Co-precipitation method) (Abello et al., 2004) และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะอัลคาไล ได้แก่ ลิเทียม โซเดียม โพแทสเซียม และซีเซียมที่เติมแต่งบนวัสดุรองรับแมกนีเซียมออกไซด์ที่มีพื้นที่ผิวสูง (Diez et al., 2006) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาปฏิกิริยาควบแน่นแบบอัลดอลของบิวทิลดีไฮด์กับไอโซบิวทิลดีไฮด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมที่เติมแต่งบนวัสดุรองรับซิลิกา (Hamilton et al., 2004) มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษาปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอลด้วยตัวเอง (Self-Aldol condensation) ของอะเซทัลดีไฮด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะอัลคาไล หรือทั้งสแตนออกไซด์ หรือโมลิบดีนัมออกไซด์ที่เติมแต่งบนวัสดุรองรับซิลิกา (Ji et al., 1997) รวมถึงการศึกษาปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอลด้วยตัวเองของบิวทิลดีไฮด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะอัลคาไล หรือโลหะออกไซด์ที่เติมแต่งบนวัสดุรองรับซีโอไลต์ (Rode et al., 1991) จากการศึกษางานวิจัยในช่วงต้นพบว่ามีการศึกษาทางวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำปฏิกิริยาควบแน่นแบบอัลดอลระหว่างอะซีโตนกับบิวทิลดีไฮด์อย่างจำกัด และยังไม่มีการศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมโดยวิธีการฝังตัวของโลหะอัลคาไลบนวัสดุรองรับไฮโดรทัลไซต์ที่ได้รับการปรับปรุงสภาพทางความร้อน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการเปลี่ยนอะซีโตน และบิวทิลดีไฮด์เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบด้วยปฏิกิริยาควบแน่นแบบอัลดอลโดยใช้กระบวนการต่อเนื่อง (Continuous process) ดำเนินการทดสอบปฏิกิริยาภายใต้ความดันบรรยากาศโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะอัลคาไล ได้แก่ ลิเทียม โพแทสเซียม และซีเซียมบนวัสดุรองรับไฮโดรทัลไซต์ที่ได้รับการปรับปรุงสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน งานวิจัยนี้จะช่วยสนับสนุนอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวภาพและเคมีชีวภาพ ซึ่งสนับสนุนโมเดลเศรษฐกิจบีบีจีจีของประเทศไทย

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

1.1. การเตรียมวัสดุรองรับไฮโดรทัลไซต์

เผาไฮโดรทัลไซต์ที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที วัสดุรองรับที่เตรียมได้จะใช้สัญลักษณ์แทนด้วย HT400, HT600 และ HT800 ตามลำดับ

1.2. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะอัลคาไลบนวัสดุรองรับด้วยวิธีการฝังตัว

เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะอัลคาไลบนวัสดุรองรับ HT400 ด้วยวิธีการฝังตัวโดยเติมแต่งลิเทียมจำนวน 1, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวลโดยใช้สารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยหยดสารละลายลงบนวัสดุรองรับพร้อมคนตลอดเวลา และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้จะใช้สัญลักษณ์แทนด้วย 1Li/HT400, 5Li/HT400 และ 10Li/HT400

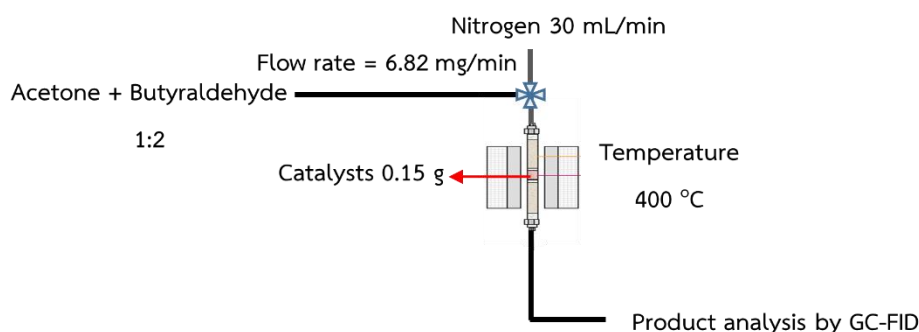
ส่วนในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมหรือซีซีเอ็มบนวัสดุรองรับ HT400 จำนวน 10 เปอร์เซ็นต์โดยโมล สามารถเตรียมได้ด้วยวิธีเดียวกัน โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือซีซีเอ็มในเตรตความเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้จะใช้สัญลักษณ์แทนด้วย 10K/HT400 และ 10Cs/HT400 ตามลำดับ

2. การวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวอย่างที่เตรียมได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray powder diffractometer; XRD) วิเคราะห์สภาพพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคการวิเคราะห์รังสีเอกซ์แบบการกระจายพลังงาน (Energy dispersive X-ray spectroscopy; EDS) และวิเคราะห์ตำแหน่งเบสด้วยเครื่องโปรแกรมอุณหภูมิเพื่อศึกษาการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂-temperature-programmed desorption; CO₂-TPD)

3. การทดสอบประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยา

ทดสอบการเร่งปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอลระหว่างอะซีโตนกับบิวทิลอัลดีไฮด์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed reactor) โดยป้อนอะซีโตนกับบิวทิลอัลดีไฮด์ที่อัตราส่วน 1:2 โดยโมล เข้าสู่ระบบโดยใช้ปั๊มควบคุมไหลอดฉีดสาร (Syringe pump) ด้วยอัตราการไหลของสารป้อน 6.82 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งต่อเข้ากับถังปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่ภายในบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาน้ำหนัก 0.15 กรัม ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส โดยใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สตัวพา ด้วยอัตราการไหล 30 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟแบบออนไลน์ โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทุกๆ 60 นาที



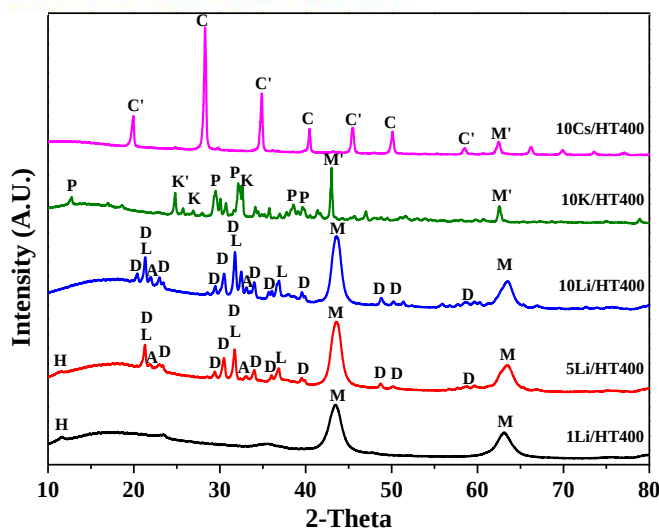
ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงถึงปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed reactor)

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา

1.1 การศึกษาคุณลักษณะด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด 1Li/HT400, 5Li/HT400, 10Li/HT400, 10K/HT400 และ 10Cs/HT400 มาศึกษาโดยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุมสแกน 10-80 องศา ให้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 2



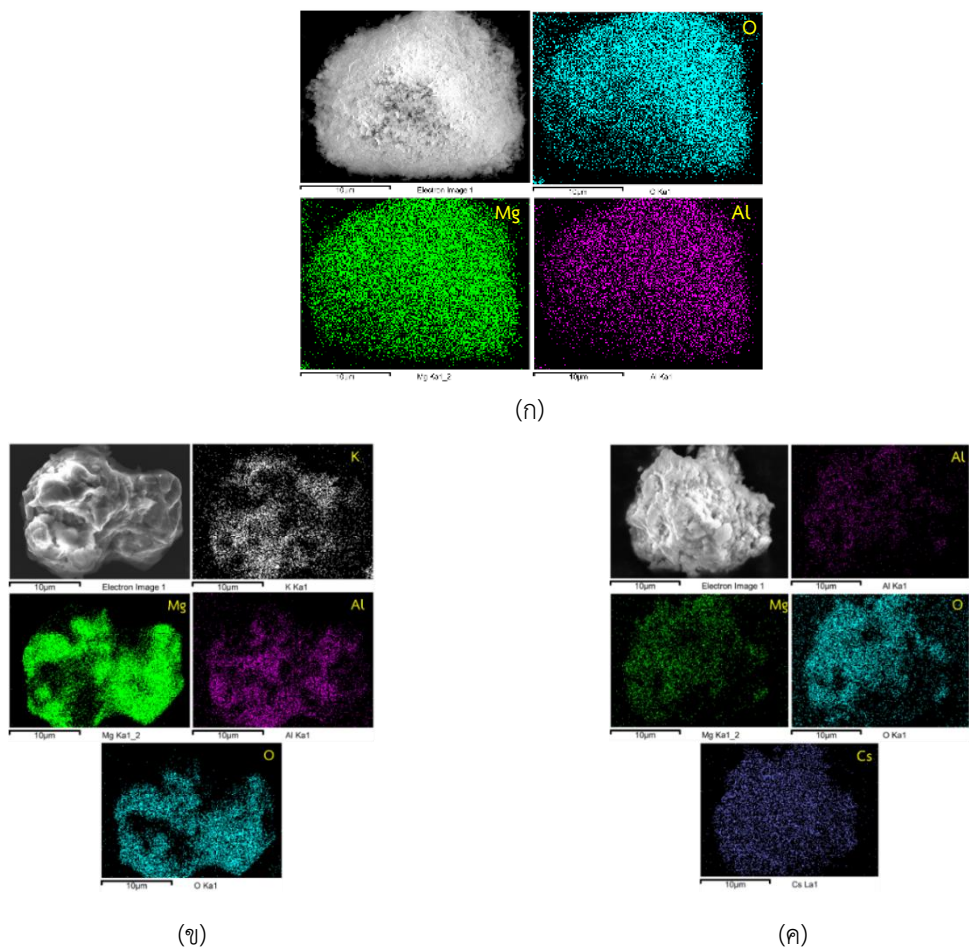
ภาพที่ 2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา

หมายเหตุ A = LiAlO_2 , C = Cs_2O , C' = Cs_2CO_3 , H = Hydrotalcite, K = KOH, K' = α -KOH, L = LiOH, D = Li_2CO_3 , P = K_2CO_3 , M = MgO, M' = Periclase MgO phase

จากภาพที่ 2 ตัวเร่งปฏิกิริยา 1Li/HT400 แสดงฟีกของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (M) ซึ่งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ที่มุม $2\theta = 43.0$ และ 63.0 องศา และพบสัญญาณความเข้มต่ำของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (H) ซึ่งแสดงโครงสร้างของไฮโดรทัลไซต์ที่มุม $2\theta = 11.0$ องศา จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไฮโดรทัลไซต์ซึ่งเป็นเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxides; LDSs) ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{OH})_6\text{CO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ เกิดการสลายตัวทางความร้อนให้โลหะออกไซด์ผสมของอลูมินา (Al_2O_3) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ausavasukhi (Ausavasukhi et al., 2023) เมื่อไฮโดรทัลไซต์ที่ถูกปรับสภาพด้วยความร้อนได้รับการเติมแต่งลิเทียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (5Li/HT400 และ 10Li/HT400) นอกจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะแสดงฟีกของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแมกนีเซียมออกไซด์ ยังพบฟีกของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (L) ที่มุม $2\theta = 21.0$, 32.0 และ 37.0 องศา ซึ่งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของลิเทียมไฮดรอกไซด์ (LiOH) โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yang et al. (2017) ฟีกของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (A) ที่มุม $2\theta = 21.0$ และ 33.0 องศา ซึ่งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของลิเทียมอลูมินา (LiAlO_2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Xie (Xie et al., 2018) และฟีกของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (D) ที่มุม $2\theta = 20.0$, 21.0 , 23.0 , 29.0 , 30.0 , 32.0 , 34.0 , 36.0 , 37.0 , 39.5 , 49.0 , 50.0 และ 58.0 องศา ซึ่งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของลิเทียมคาร์บอเนต (Li_2CO_3) โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lestariningsih (Lestariningsih et al., 2021) คาดว่าลิเทียมอลูมินาเกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาในสถานะของแข็ง (Solid state reaction) ของลิเทียมสปีชีส์และอลูมิเนียมสปีชีส์ที่อุณหภูมิสูง ในขณะที่ลิเทียมคาร์บอเนตเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บตัวอย่าง และตัวอย่างสัมผัสกับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เมื่อไฮโดรทัลไซต์ที่ถูกปรับสภาพด้วยความร้อนได้รับการเติมแต่งโพแทสเซียม (10K/HT400) จะพบฟีกของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (K) ที่มุม $2\theta = 27.0$ และ 32.6 องศา ซึ่งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ฟีกของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (K') ที่มุม $2\theta = 24.8$ องศา ซึ่งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของแอลฟา-โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (α -KOH) ฟีกของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (P) ที่มุม $2\theta = 29.5$, 32.2 , 38.5 และ 39.5 องศา ซึ่งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) (Zhang et al., 2016) และฟีกของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (M') ที่มุม $2\theta = 62.5$ องศา ซึ่งแสดง

คุณลักษณะเฉพาะของเพอริคลาสแมกนีเซียมออกไซด์ (Periclase MgO) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Benedictto (Benedictto et al., 2018) โดยคาดว่าโพแทสเซียมคาร์บอเนตเกิดขึ้นจากการที่ตัวอย่างสัมผัสกับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เมื่อไฮโดรทัลไซต์ที่ถูกปรับสภาพด้วยความร้อนได้รับการเติมแต่งซีเซียม (10Cs/HT400) จะพบฟีกของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (C) ที่มุม $2\theta = 28.3, 40.3$ และ 50.1 องศา ซึ่งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของซีเซียมออกไซด์ (CsO_2) และฟีกของการเลี้ยวเบน รังสีเอกซ์ (C') ที่มุม $2\theta = 20.0, 35.0, 35.5$ และ 58.5 องศา ซึ่งแสดงคุณลักษณะเฉพาะของซีเซียมคาร์บอเนต (Cs_2CO_3) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang (Zhang et al., 2016) โดยคาดว่าซีเซียมคาร์บอเนตเกิดขึ้นจากการที่ตัวอย่างสัมผัสกับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

1.2 การศึกษาคุณลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



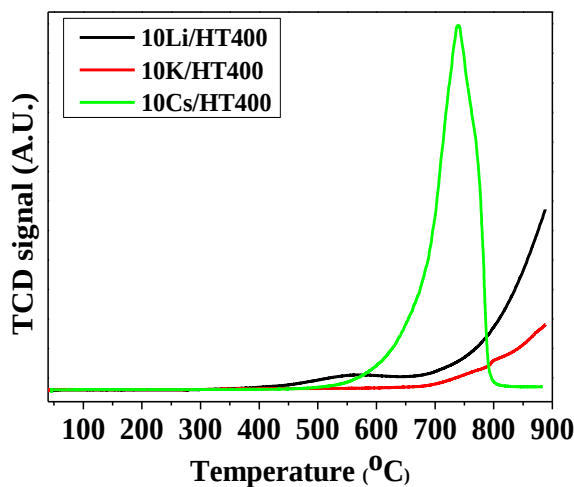
ภาพที่ 3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) 10Li/HT400 (ข) 10K/HT400 และ (ค) 10Cs/HT400

จากภาพที่ 3 การวิเคราะห์พื้นฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด 10Li/HT400, 10K/HT400 และ 10Cs/HT400 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเปรียบเทียบกับภาพวิเคราะห์แผนที่ธาตุด้วยเทคนิคการวิเคราะห์รังสีเอกซ์แบบการกระจายพลังงาน พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมดมีสภาพพื้นผิวไม่เป็นเกล็ด (Not flake-like) คาดว่าเกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของ

ความร้อนของเลเซอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบธาตุพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดมีการกระจายตัวของธาตุแมกนีเซียม อลูมิเนียม และออกซิเจนอย่างสม่ำเสมอ รวมถึงโลหะอัลคาไลที่ได้รับการเติมแต่ง ได้แก่ โพแทสเซียม และซีเซียม ยกเว้นในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด 10Li/HT400 ซึ่งไม่สามารถตรวจพบองค์ประกอบที่เป็นลิเทียมได้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์รังสีเอกซ์แบบการกระจายพลังงาน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำไฮดรอกไซด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดโลหะออกไซด์ผสมที่สามารถช่วยกระจายตัวโลหะอัลคาไลได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pischetola (Pischetola et al., 2021)

1.3 การศึกษาคุณลักษณะด้วยเทคนิคการโปรแกรมอุณหภูมิเพื่อศึกษาการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์

เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด 10Li/HT400, 10K/HT400 และ 10Cs/HT400 มาศึกษาปริมาณของเบส และความแรงของเบสโดยเทคนิคการโปรแกรมอุณหภูมิเพื่อศึกษาการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 50-900 องศาเซลเซียส ให้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โพรไฟล์การคายซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยา

จากภาพที่ 4 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด 10Cs/HT400 จะเกิดการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงอุณหภูมิ 500-800 องศาเซลเซียส ในปริมาณมาก แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยา 10Cs/HT400 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณเบส และความแรงของเบสสูง ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด 10Li/HT400 จะเกิดการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงอุณหภูมิ 450-650 องศาเซลเซียส ในปริมาณน้อย และจะเกิดการคายซับเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 650 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป ส่วนในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยา 10K/HT400 จะเกิดการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 650 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป อย่างไรก็ตามการศึกษาคายซับของคาร์บอนไดออกไซด์ดำเนินการที่อุณหภูมิ 50-900 องศาเซลเซียส ทำให้ยังไม่สามารถวิเคราะห์การคายซับของคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยา 10Li/HT400 และ 10K/HT400 ได้อย่างสมบูรณ์ แต่จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การเติมแต่งโลหะอัลคาไลลงบนวัสดุรองรับจะมีความแรงของเบสดังนี้ $Li > K > Cs$ (Choudhary et al., 1997) ซึ่งสอดคล้องกับการพบพิทของการคายซับที่อุณหภูมิสูงกว่าในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยา 10Li/HT400 และ 10K/HT400 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา 10Cs/HT400 จากผลการทดลองสามารถสรุปในเบื้องต้นว่าการเติมแต่งโลหะอัลคาไลบน

ไฮโดรทาลไซต์ที่ถูกปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความแรงของเบสที่แตกต่างกัน และความแรงของเบสที่แตกต่างกันนี้จะส่งผลต่อประสิทธิภาพ และการเลือกสรรการเกิดผลิตภัณฑ์

2. การศึกษาประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอล

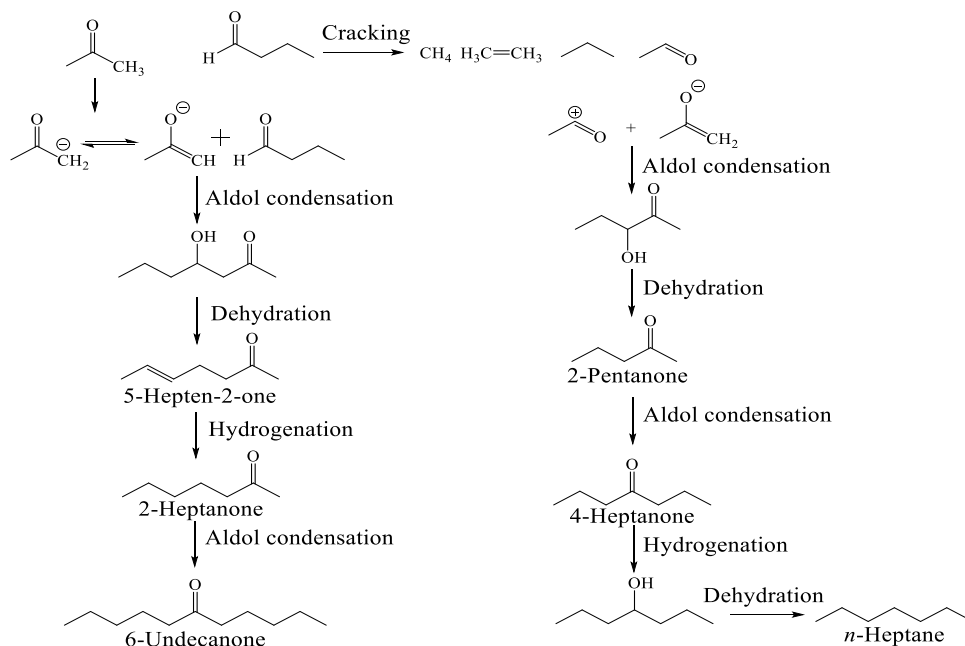
จากการศึกษาการเร่งปฏิกิริยาการควบแน่นระหว่างอะซีโตนกับบิวทิลดีไฮด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรทาลไซต์ที่ถูกปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ และไฮโดรทาลไซต์ที่ถูกปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสซึ่งได้รับการเติมแต่งโลหะอัลคาไล ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอล

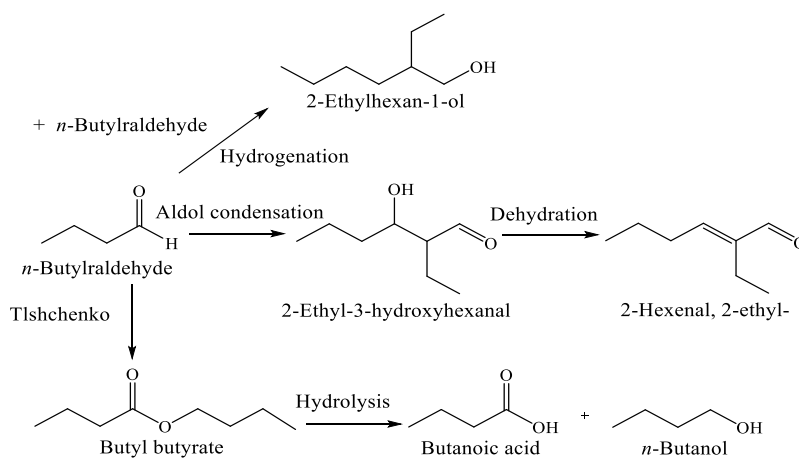
	HT400	HT600	HT800	Li1/HT400	Li5/HT400	Li10/HT400	K10/HT400	Cs10/HT400
Conversion								
Acetone	15.39	30.11	41.95	59.82	34.7	36.53	9.02	17.56
Butyraldehyde	6.66	16.96	25.39	45.08	17.7	19.48	2.94	6.43
Selectivity								
C1-C3	7.54	4.07	2.52	3.33	1.07	0.9	25.6	24.28
Acetaldehyde	1.84	1.65	2.25	0.76	0.2	0	0	18.71
Butanoic acid	5.38	1.08	0.73	6.35	0.79	2.14	0	0.68
2-Pentanone	5.13	1.17	0.38	3.55	1.89	2.13	7.08	10.88
n-Heptane	1.04	0.88	1.08	0.6	0	0	8.66	2.11
2-Heptanone	24.83	9.19	11.18	31.17	39.36	35.16	20.9	15.2
4-Heptanone	0	0.43	0.81	0.71	0.61	0	0	5.36
5-Hepten-2-one	1.02	15.55	41.06	7.24	0	0	0	1.82
2-Ethylhexan-1-ol	3.33	8.59	7.03	8.59	6.22	7.2	37.76	18.93
2-Hexenal, 2-ethyl-	7.82	30.05	3.23	20.92	6.58	4.12	0	2.01
6-Undecanone	19.99	19.84	6.66	6.77	0.44	3.63	0	0
Other	22.07	7.48	23.07	10.01	42.86	44.72	0	0
Condition : feed : acetone:butyraldehyde 1:2 molar ratio, reactant flow rate : 6.82 mg/min, temperature : 400 °C, catalyst : 0.15 g, W/F : 21.99 min, carrier gas : N ₂ , gas flow rate : 30 mL/min, reaction time : 5 h								

จากตารางที่ 1 ในการทดสอบประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ณ ชั่วโมงที่ 5 ของการทำปฏิกิริยา พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาให้ผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นหลายชนิด ได้แก่ สารไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนในช่วง 1-3 อะตอม (C1-C3) อะซีตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) กรดบิวทาโนอิก (Butanoic acid) 2-เพนทาโนน (2-Pentanone) นอร์มัล-เฮปเทน (n-Heptane) 2-เฮปทาโนน (2-Heptanone) 4-เฮปทาโนน (4-Heptanone) 5-เฮปทีน-2-โอน (5-Hepten-2-one) 2-เอทิลเฮกเซน-1-อล (2-Ethylhexan-1-ol) 2-เฮกซีนาล, 2-เอทิล- (2-Hexenal, 2-ethyl-) 6-อุนเดคคาโนน (6-Undecanone) และผลิตภัณฑ์อื่นๆ คาดว่าน่าจะเป็น 5-อุนเดคซีน-4-โอน (5-Undecen-4-one), 4-อุนเดคซีน-6-โอน

(4-Undecen-6-one), เบนซีน-เอทิลเพนทเมทิล (Benzene, ethylpentamethyl-), เฮกซานอิก, 2-เอทิล- (Hexanoic acid, 2-ethyl-) เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 5-6



ภาพที่ 5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอลของอะซิโตนและบิวทาลดีไฮด์



ภาพที่ 6 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอลด้วยตัวเองของบิวทาลดีไฮด์

เมื่อเปรียบเทียบการเลือกสรรผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ พบว่า HT400 ให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็น 2-เฮปทานอน (C7) และ 6-อุนเดคานอน (C11) ส่วนในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยา HT600 ให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็น 5-เฮปทีน-2-โอน (C7) 2-เฮกซีนาล, 2-เอทิล- (C8) และ 6-อุนเดคานอน (C11) ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยา HT800 ให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็น 5-เฮปทีน-2-โอน (C7) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยา HT600 จะเกิดการควบแน่นด้วยตัวเองของบิวทาลดีไฮด์มากกว่า

ในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยา HT400 และ HT800 แสดงให้เห็นว่าสภาพพื้นผิวของไฮโดรทัลไซต์ที่ถูกปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสมีการเลือกสรรการดูดซับบิวทิลรีดไฮด์มากกว่าในกรณีของอะซีโตน เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของอะซีโตน และบิวทิลรีดไฮด์พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา HT800 มีประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าในกรณีของ HT600 และ HT400 ตามลำดับ ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าการปรับสภาพไฮโดรทัลไซต์ที่อุณหภูมิสูงเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์จะเกิดการสลายตัวทางความร้อนให้โลหะออกไซด์ผสมของอลูมินา และแมกนีเซียมออกไซด์ได้มาก ทำให้มีตำแหน่งที่ว่างไวในการเร่งปฏิกิริยาจำนวนมากส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นสูง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเติมแต่งโลหะอัลคาไลต่อการเลือกสรรผลิตภัณฑ์จึงเลือกใช้ไฮโดรทัลไซต์ที่ถูกปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นวัสดุรองรับ จากผลการทดลองพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา 1Li/HT400 ให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของอะซีโตน และบิวทิลรีดไฮด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเติมแต่งตำแหน่งที่ว่างไวซึ่งเป็นเบสที่สามารถเร่งปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอลได้ เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเลือกสรรผลิตภัณฑ์ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา 1Li/HT400 ให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็น 2-เฮปทาโนน (C7) และ 2-เฮกซีนาล, 2-เอทิล- (C8) อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์การเติมแต่งลิเทียมให้สูงขึ้นในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยา 5Li/HT400 และ 10Li/HT400 พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของอะซีโตน และบิวทิลรีดไฮด์มีค่าลดต่ำลง เนื่องจากการดูดตันของลิเทียมบนวัสดุรองรับไฮโดรทัลไซต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Díez et al. (2006) ซึ่งศึกษาการเร่งปฏิกิริยาควบแน่นแบบอัลดอลระหว่างอะซีโตนกับซิทรัล (Citral) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะอัลคาไล ได้แก่ ลิเทียม โซเดียม โพแทสเซียม และซีเซียมที่เติมแต่งบนวัสดุรองรับแมกนีเซียมออกไซด์ที่มีพื้นที่ผิวสูง โดยเมื่อเติมแต่งโลหะในปริมาณเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นลดต่ำลง เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเลือกสรรผลิตภัณฑ์ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา 5Li/HT400 และ 10Li/HT400 ให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็น 2-เฮปทาโนน (C7) และผลิตภัณฑ์อื่นๆ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมแต่งลิเทียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นนอกจากจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาแล้ว ยังส่งผลต่อการเลือกสรรผลิตภัณฑ์ด้วย

ส่วนในกรณีของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 10K/HT400 พบว่าการเติมแต่งโพแทสเซียมในปริมาณมากส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของอะซีโตน และบิวทิลรีดไฮด์ลดต่ำลงมาก ในขณะที่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 10Cs/HT400 พบว่าการเติมแต่งซีเซียมในปริมาณมากไม่ส่งผลบวกต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของอะซีโตน และบิวทิลรีดไฮด์โดยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นมีค่าใกล้เคียงกับในกรณีของการใช้ HT400 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์การเลือกสรรผลิตภัณฑ์พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา 10K/HT400 และ 10Cs/HT400 ให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็น 2-เฮปทาโนน (C7) และ 2-เอทิลเฮกเซน-1-ออล (C8) มากไปกว่านั้นยังพบผลิตภัณฑ์ที่เป็นไฮโดรคาร์บอนแก๊สจำนวนมาก ซึ่งคาดว่าจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการสลายตัวของบิวทิลรีดไฮด์ (ดังภาพที่ 5) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากสปีชีส์ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โพแทสเซียมออกไซด์ (เกิดจากการสลายตัวทางความร้อนของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) แอลฟา-โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (α -KOH) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3)) เพอริคลาสแมกนีเซียมออกไซด์ (Periclase MgO) และซีเซียมออกไซด์ (Cs_2O_2) (เกิดจากการสลายตัวทางความร้อนของซีเซียมคาร์บอเนต (Cs_2CO_3)) ช่วยสนับสนุนปฏิกิริยาการสลายตัวของบิวทิลรีดไฮด์

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ศึกษาปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอลระหว่างอะซีโตนกับบิวทิลรีดไฮด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรทัลไซต์ที่ได้รับการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (HT400, HT600 และ HT 800) และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการเติมแต่งโลหะอัลคาไลใน HT400 (1Li/HT400, 5Li/HT400, 10Li/HT400, 10K/HT400 และ 10Cs/HT400) จากการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา และประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาพบว่าการปรับสภาพทางความร้อนของไฮโดรทัลไซต์ และการ

เติมแต่งโลหะอัลคาไลบนไฮโดรทัลไซต์ที่ถูกปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความแรงของเบสที่แตกต่างกัน และความแรงของเบสที่แตกต่างกันนี้จะส่งผลต่อประสิทธิภาพ และการเลือกสรรการเกิดผลิตภัณฑ์ โดยปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอลสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งแบบข้าม และแบบด้วยตัวเองทำให้เกิดส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ควบแน่นหลายชนิดโดยมีองค์ประกอบหลักเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนคาร์บอน 7, 8 และ 11 อะตอม อย่างไรก็ตามการเติมแต่งโพแทสเซียมและซีเซียมจะให้การเลือกสรรผลิตภัณฑ์ที่เป็นไฮโดรคาร์บอนแก๊สมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยทุนพัฒนานักวิจัยรุ่นกลาง (รหัสทุน NRCT5-RSA63008)

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). (2563). โมเดลเศรษฐกิจใหม่ BCG. ค้นจาก https://www.nstda.or.th/home/knowledge_post/bcg-by-nstda/
- อาทิตย์ อัสวสุชี. (2559). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการเร่งปฏิกิริยาเคมี. ใน อาทิตย์ อัสวสุชี, การเร่งปฏิกิริยาเคมี (น.101-121). กรุงเทพฯ: ทริบเพิล กรุ๊ป.
- Abelló, S., Medina, F., Tichit, D., Pérez-Ramírez, J., Rodríguez, X., Sueiras, J. E., and Cesteros, Y. (2005). Study of alkaline-doping agents on the performance of reconstructed Mg–Al hydrotalcites in aldol condensations. **Applied Catalysis A: General**, 281(1-2), 191–198. doi:10.1016/j.apcata.2004.11.037
- Ausavasukhi, A., Krukrathok, N., and Singthaisong, P. (2023). Thermal transformation of copper incorporated hydrotalcite-derived oxides and their catalytic activity for ethanol dehydrogenation. **Industrial and Engineering Chemistry**, 117, 371–385. Doi:10.1016/j.jiec.2022.10.025
- Benedicto, G. P., Sotelo, R. M., Dalla Costa, B. O., Fetter, G., and Basaldella, E. I. (2018). Potassium-containing hydroxylated hydrotalcite as efficient catalyst for the transesterification of sunflower oil. **Materials Science**, 53, 12828–12836. doi:10.1007/s10853-018-2581-0
- Castro, Y. A., Ellis, J. T., Miller, C. D., and Sims, R. C. (2015). Optimization of wastewater microalgae saccharification using dilute acid hydrolysis for acetone, butanol, and ethanol fermentation. **Applied Energy**, 140, 14–19. doi:10.1016/j.apenergy.2014.11.045
- Choudhary, V. R., Rane, V. H., and Pandit, M. Y. (1997). Comparison of alkali metal promoted MgO catalysts for their surface acidity/basicity and catalytic activity/selectivity in the oxidative coupling of methane. **Chemical Technology & Biotechnology**, 68(2), 177–186. doi:10.1002/(sici)1097-4660(199702)68:2<177::aid-jctb645>3.0.co;2-u
- Díez, V. K., Apesteguía, C. R., and Di Cosimo, J. I. (2006). Aldol condensation of citral with acetone on MgO and alkali-promoted MgO catalysts. **Catalysis**, 240(2), 235–244. doi:10.1016/j.jcat.2006.04.003

FOODB. (2020). Showing Compound 2-Heptanone (FDB008055) Retrieved from

<https://foodb.ca/compounds/FDB008055>

Hamilton, C. A., Jackson, S. D., and Kelly, G. J. (2004). Solid base catalysts and combined solid base hydrogenation catalysts for the aldol condensation of branched and linear aldehydes. **Applied Catalysis A: General**, 263(1), 63–70. doi:10.1016/j.apcata.2003.12.009

Ji, W., Chen, Y., and Kung, H. H. (1997). Vapor phase aldol condensation of acetaldehyde on metal oxide catalysts. **Applied Catalysis A: General**, 161(1-2), 93–104. doi:10.1016/s0926-860x(96)00390-0

Lestariningsih, T., Sabrina, Q., Ratri, C. R., and Lalasari, L. H. (2021). **Brine water as lithium source in the synthesis of LiBOB electrolyte for Lithium-Ion battery application**. Paper presented at the 4th Conference of International Seminar on Metallurgy and Materials.

Pischetola, C., Hesse, F., Bos, J. -W. G., and Cárdenas-Lizana, F. (2021). Effect of Lewis basicity on the continuous gas phase condensation of benzaldehyde with acetophenone over MgO. **Applied Catalysis A: General**, 623, 118277

Rode, E. J., Gee, P. E., Marquez, L. N., Uemura, T., and Bazargani, M. (1991). Aldol condensation of butanal over alkali metal zeolites. **Catalysis Letters**, 9(1-2), 103–113. doi:10.1007/bf00769088

Wiehn, M., Staggs, K., Wang, Y., and Nielsen, D. R. (2013). In situ butanol recovery from *Clostridium acetobutylicum* fermentations by expanded bed adsorption. **Biotechnology Progress**, 30(1), 68–78. doi:10.1002/btpr.1841

Xie, X., Su, H., Chen, J., Zuo, H., Tang, X., and Li, Y. (2018). Microwave dielectric properties of low-temperature-fired LiAlO₂-Li₂TiO₃ composite ceramics with near-zero temperature coefficient. **Materials Science: Materials in Electronics**, 29, 17771–17776. doi:10.1007/s10854-018-9884-4

Yang, X., Li, S., Huang, H., Li, J., Kobayashi, N., and Kubota, M. (2017). Effect of carbon nanoadditives on lithium hydroxide monohydrate-based composite materials for low temperature chemical heat storage. **Energies**, 10(5), 644. doi:10.3390/en10050644

Zhang, G., Zhang, H., Yang, D., Li, C., Peng, Z., and Zhang, S. (2016). Catalysts, kinetics and process optimization for the synthesis of methyl acrylate over Cs-P/V-Al₂O₃. **Catalysis Science & Technology**, 6(16), 6417–6430. doi:10.1039/c6cy00620e

Zhang, S., Tao, L., Zhang, Y., Wang, Z., Gou, G., Jiang, M., and Zhou, Z. (2016). The role and mechanism of K₂CO₃ and Fe₃O₄ in the preparation of magnetic peanut shell based activated carbon. **Powder Technology**, 295, 152–160. doi:10.1016/j.powtec.2016.03.034

การพัฒนาระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

Development of Line Bot System for Internship

ขจรศักดิ์ วงศ์จันทร์¹ สุธาสินี คุปตะบุตร¹ ปิยวรรณ โถปาสอน¹ อุบลศิลป์ โพธิ์พรม¹ และ แพรตะวัน จารุตน์^{1*}

Khajonsak Wongjantha¹ Suthasinee Kuptabut¹ Piyawan Thopasorn¹ Ubonsin Phoprom¹ and

Pratetawan Jarutan^{1*}

¹สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

¹Department of Computer, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University,

Sakon Nakhon Province, 47000

*Corresponding author E-mail: pratetawan9925@snru.ac.th

Received 9 July 2023, Accepted 20 September 2023, Published 24 September 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบตอบคำถามอัตโนมัติสำหรับการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ 2) ประเมินประสิทธิภาพระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ และ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ โดยใช้เทคโนโลยีไลน์ ด้วยไลน์เมสเสจจิง เอพีไอ (LINE Messaging API) เป็นเครื่องมือในการติดต่อฐานข้อมูลกับไลน์เอพีไอ ใช้การกำหนดคิวเวิร์ดและใช้ไลน์ออฟฟิเชียล แอคเคาท์ (LINE Official Account) เป็นตัวกลางในการติดต่อระหว่างผู้ใช้งานระบบ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลการวิจัย ประกอบด้วย 1) แบบสอบถามประสิทธิภาพระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ และ 2) แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในงานวิจัย เลือกแบบเจาะจง แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญ และผู้ใช้งาน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า ระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ มีฟังก์ชันหลัก 3 ส่วนการทำงาน ได้แก่ หน้าจอหลักของระบบ หน้าจอสำหรับอาจารย์นิเทศก์ และหน้าจอสำหรับหน่วยงาน ส่วนผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่า ผลรวมการประเมินประสิทธิภาพ อยู่ในระดับมากที่สุด และผลการประเมินความพึงพอใจพบว่า ผลรวมการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษา อาจารย์และบุคลากรอยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: ไลน์บอท, ไลน์เมสเสจจิงเอพีไอ, การฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

ABSTRACT

The objectives of this research were: 1) to develop a LINE Bot system to support the interactive services of an internship program 2) to evaluate the effectiveness of the LINE Bot system for an internship, and 3) to assess user satisfaction with the LINE Bot system for an internship. The LINE Messaging API, utilizing

LINE Messenger with a LINE Official account as the intermediary for user-system communication, is used to interact with the database. The research evaluation tools consist of 1) a questionnaire on the effectiveness of the Line bot system for internship and 2) a questionnaire on user satisfaction with the LINE Bot system for an internship. The research targets two specific groups: experts and users. Statistical analysis of the data includes measures such as a mean and a standard deviation.

The research findings showed that the results of the LINE Bot system for internship consist of three main functional components: the system's main interface, the interface for instructor guidance, and the interface for organizational use. The evaluation results from experts indicate that the overall effectiveness is at the highest level. Furthermore, the evaluation of satisfaction from students, instructors, and staff shows that the overall satisfaction level is also high.

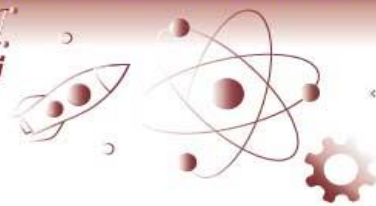
Keywords: LINE Bot, LINE Messaging API, Internship

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีไลน์เป็นแอปพลิเคชันสำหรับใช้ในการสื่อสารสนทนา 2 ทางระหว่างผู้ส่งสารไปยังผู้รับสาร ผ่านทางอุปกรณ์ในรูปแบบต่างๆ โดยมีทั้งการสนทนาแบบเดี่ยวและแบบกลุ่ม สามารถส่งได้ทั้งข้อความ เสียง รูปภาพ วิดีโอ ไฟล์เอกสาร สติกเกอร์ เป็นต้น แอปพลิเคชันไลน์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องให้สอดคล้องกับพฤติกรรมผู้ใช้ ประยุกต์ใช้ในการทำงานต่างๆ เช่น การรับส่งไฟล์เอกสาร สนับสนุนการทำงานด้านธุรกิจ การตลาด การแบ่งปันข้อมูล การติดต่อสื่อสารระหว่างบุคลากรในองค์กร การประสานงาน ส่งผลให้เกิดความรวดเร็ว ลดต้นทุนด้านเวลา ช่วยให้การงานสะดวกรวดเร็วขึ้น (ขวัญฤดี, 2560) ไลน์บอท (LINE Bot) เป็นแอปพลิเคชันที่จำลองรูปแบบการสนทนาของมนุษย์ ทำให้รู้สึกเหมือนกับได้สนทนากับคนจริงๆ ซึ่งสามารถสนทนาได้ตลอดเวลา โดยแชทบอทถูกประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น การจองคิวงานถ่ายภาพ (สกล และระติวัฒน์, 2565) การประชาสัมพันธ์ (โอปอ และคณะ, 2563) การสั่งอาหาร (กษิติธร, 2565) เป็นต้น

สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ เปิดสอนในหลักสูตรทางด้านคอมพิวเตอร์ ที่มีการจัดให้มีวิชาฝึกประสบการณ์วิชาชีพทางคอมพิวเตอร์ ที่เป็นการให้นักศึกษาออกไปฝึกประสบการณ์วิชาชีพในสถานประกอบการทั้งในภาครัฐ รัฐวิสาหกิจหรือเอกชน เพื่อให้นักศึกษามีทักษะ ความรู้ ทั้งในด้านวิชาชีพและการใช้ชีวิตในสถานการณ์จริง การดำเนินงานรายวิชานี้จะมีอาจารย์ผู้ดูแลทำหน้าที่ประสานงานกับผู้ที่เกี่ยวข้อง ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย 1) ก่อนออกฝึกประสบการณ์ฯ เป็นขั้นตอนที่อาจารย์ผู้ดูแลรายวิชาชี้แจงรายละเอียด ปฏิทินการฝึก สถานประกอบการ 2) ระหว่างฝึกประสบการณ์ฯ เป็นขั้นตอนที่อาจารย์นิเทศก์ออกไปติดตามประเมินนักศึกษาตามสถานที่ต่างๆ และ 3) หลังฝึกประสบการณ์ฯ หน่วยงานจะทำการประเมินนักศึกษา ซึ่งการดำเนินงานปัจจุบันอาจารย์ผู้ดูแลจะต้องคอยตอบคำถามข้อสงสัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจากทั้งนักศึกษา อาจารย์นิเทศก์ และหน่วยงาน ซึ่งมีข้อจำกัดทั้งในเรื่องเวลาและช่องทางการติดต่อ รวมถึงข้อคำถามที่สงสัยก็มักเป็นข้อคำถามซ้ำเดิมที่ต้องตอบหลายๆ ครั้ง

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ ในรูปแบบแชทบอท เพื่อเป็นการอำนวยความสะดวกให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องในการสอบถามข้อมูลที่มีข้อสงสัยได้ตลอด 24 ชั่วโมง และสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ด้วยตนเอง



เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การฝึกประสบการณ์วิชาชีพ หรือการฝึกงาน เป็นกระบวนการเพิ่มทักษะและประสบการณ์ที่เป็นประโยชน์แก่การประกอบอาชีพให้กับนักศึกษาทำให้มีความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติงานจริง ถือเป็นกระบวนการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่กระทำร่วมกันระหว่างสาขาวิชากับสถานประกอบการ มีความจำเป็นต่อการประกอบอาชีพของบัณฑิตที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการของสถานประกอบการ สามารถปฏิบัติงานได้อย่างเหมาะสมและก้าวหน้าเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยมีระยะเวลาของการฝึกประสบการณ์วิชาชีพตามที่หลักสูตรกำหนด (สุเทวี, 2565)

2. ระบบตอบคำถามอัตโนมัติ เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชนิดหนึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาให้มีบทบาทในการตอบกลับการสนทนาด้วยตัวอักษรแบบอัตโนมัติผ่าน Messaging Application เสมือนการโต้ตอบของคนจริงๆ หรืออาจเรียกง่ายๆ ว่าเป็นโปรแกรมตอบกลับอัตโนมัติ เช่น การใช้แชทบอททางการศึกษา สามารถช่วยในการจัดการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพ สามารถตอบคำถามของนักเรียนเกี่ยวกับบทเรียน การบ้าน ผู้สอนสามารถติดตามการเรียนรู้ของนักเรียน วิเคราะห์ความต้องการการเรียนรู้ของนักเรียนและแนะนำการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม (รัตนารักษ์ และอรุณ, 2565)

3. ไลน์เอพีโอ โดยบริษัท LINE Corporation ได้สร้าง official API คือ LINE API เพื่อให้นักพัฒนาสามารถนำไปใช้งานได้ฟรี การส่งข้อมูลผ่าน LINE API ไปยังผู้ใช้งานนั้นเป็นอีกช่องทางในการแจ้งเตือนอัตโนมัติ โดยไม่ต้องใช้คนในการนั่งเฝ้าตรวจสอบอยู่หน้าคอมพิวเตอร์ตลอดเวลา สามารถส่งได้ในรูปแบบ ตัวหนังสือ รูปภาพ วิดีโอ เสียง ตำแหน่งที่ตั้ง สติกเกอร์ (ขวัญลักษณ์ สมชัย และสุพรรณ, 2563)

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ระบบตอบคำถามอัตโนมัติ มีการประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น

ด้านการตลาด จักรินทร์ สันติรัตนภักดี (จักรินทร์, 2561) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การตลาดออนไลน์และบริการลูกค้าด้วยแชทบอท กรณีศึกษา การใช้แชทบอทปฏิสัมพันธ์กับลูกค้าผ่านเมสเซนเจอร์ เพื่อศึกษาออกแบบโครงสร้างการสนทนาด้วยการกำหนดคำถามและคำตอบจากข้อมูลจริงของผู้ขายสินค้าออนไลน์ ประเมินความสามารถในการใช้งานแชทบอทปฏิสัมพันธ์กับลูกค้าผ่านเมสเซนเจอร์และหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยผู้ใช้ที่ส่งผลต่อการประเมินในภาพรวม โดยเลือกกลุ่มตัวอย่าง ผู้ใช้งาน 30 คน จากผู้ที่มีบัญชีเฟสบุ๊คส่วนบุคคลของประเทศไทยด้วยการสุ่มแบบเจาะจงที่ความเชื่อมั่น 100% เก็บข้อมูลจริงจากผู้ขายสินค้าออนไลน์ 5 คน ในประเด็นคำถามที่พบในการซื้อขายสินค้า นำข้อมูลที่ได้มาจัดกลุ่มเป็นข้อคำถามแล้วกำหนดคำตอบที่สัมพันธ์กันในลักษณะการสนทนาของแชทบอท เริ่มจากการทักทายและจบลงเมื่อลูกค้าแสดงความสนใจสินค้าหรือสั่งซื้อสินค้า โดยฝากช่องทางการติดต่อกลับเพื่อดำเนินการปิดการขายในขั้นตอนต่อไปโดยให้ผู้ใช้แต่ละคนทดลองซื้อสินค้าผ่านเมสเซนเจอร์แบบไม่เปิดเผยต่อผู้ใช้งานกำลังสนทนากับแชทบอท

ด้านการศึกษา ณภัทร ไชยพราหมณ์ (ณภัทร, ณัฐภูมิ และชูพันธ์, 2563) ได้นำเสนอการพัฒนาแบบตอบกลับและแจ้งข้อมูลทางการศึกษาผ่านไลน์บอท ชื่อว่า NN Bot โดยใช้แอปพลิเคชันไลน์เป็นส่วนติดต่อกับนักศึกษาที่เป็นผู้ใช้งาน ภายในระบบมีการใช้ไลน์แมสเสจจิง เอพีโอ เชื่อมต่อไปยัง Dialogflow ที่ทำหน้าที่ประมวลผลภาษาธรรมชาติ เพื่อให้เข้าใจถึงคำถามที่นักศึกษาถามมา และตอบข้อมูลกลับไปยังนักศึกษา ในกรณีที่คำตอบเป็นค่าที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คำตอบนั้นจะถูกตั้งให้ Dialogflow ตอบกลับไปยังไลน์ของนักศึกษาทันที แต่หากเป็นคำตอบที่ต้องเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล Dialogflow จะส่งคำร้องไปยัง Webhook ที่ให้บริการแบบ Restful API ซึ่งพัฒนาด้วยภาษา Go เพื่อไปเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลและดึงคำตอบที่นักศึกษาต้องการและส่งกลับไปยังนักศึกษาต่อไป

ด้านการให้บริการ สมภพ มุสิกกร และพิมรินทร์ ศิริรินทร์ (สมภพ และพิมรินทร์, 2563) ได้พัฒนาระบบสนับสนุนการให้บริการ PSRU-LIB LINE Bot ร่วมกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI Auto Lib สำหรับห้องสมุด 4.0 ผลการทดลองใช้ระบบ

สนับสนุนการให้บริการร่วมกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ พบว่า ผลการประเมินความเหมาะสมของระบบจากผู้เชี่ยวชาญโดยรวม อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.87$, S.D. = 0.25) และความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการพัฒนาระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ โดยผู้วิจัยได้ศึกษาและพัฒนาระบบด้วยแนวคิดอาจิล (Agile Development Methodology) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. วิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้ ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาและวิเคราะห์ปัญหาจากการดำเนินงานในรายวิชาฝึกประสบการณ์วิชาชีพด้านคอมพิวเตอร์ของสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร พบว่าการสอบถามรายละเอียดจะมีข้อจำกัดเรื่องเวลา ทำให้ไม่สามารถตอบคำถามของผู้ที่เกี่ยวข้องได้อย่างทันที และมักจะเป็นปัญหาเรื่องเดิมๆ จึงได้มีการนำเทคโนโลยีแชทบอทเข้ามาช่วยในการจัดการตอบคำถาม ดังนั้นจากการจัดเก็บข้อมูลความต้องการของผู้ใช้ พบว่า

1.1 นักศึกษา ต้องการทราบข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้องก่อนฝึกประสบการณ์ ระหว่างฝึกประสบการณ์ และหลังฝึกประสบการณ์ ข้อมูลสถานที่ฝึกประสบการณ์ ช่องทางการติดต่อของสถานที่ฝึกฯ

1.2 อาจารย์นิเทศ ต้องการทราบข้อมูลนักศึกษา ข้อมูลสถานที่ฝึกประสบการณ์ ปฏิทินฝึกประสบการณ์ แบบประเมิน

1.3 หน่วยงานหรือสถานที่ฝึกประสบการณ์ ต้องการทราบข้อมูลนักศึกษา แบบประเมิน ปฏิทินฝึกประสบการณ์ และช่องทางติดต่ออาจารย์

2. วิเคราะห์และออกแบบระบบ เป็นขั้นตอนนำข้อมูลจากความต้องการของผู้ใช้งานมาออกแบบแพลตฟอร์มที่ใช้ในการสร้างแชทบอท ดังนี้ จัดกลุ่มชุดข้อมูลการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ แผนภาพบริบท (Context Diagram) (แสดงดังภาพที่ 1) แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram), ER-Diagram (แสดงดังภาพที่ 2) การออกแบบหน้าจอและส่วนประกอบของแชทบอท

3. พัฒนาระบบ เป็นขั้นตอนการพัฒนาระบบจากความต้องการของผู้ใช้ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ ประกอบด้วย ไลน์แมสเสจจิง เอฟไอ ภาษา PHP เป็นเครื่องมือในการติดต่อฐานข้อมูลกับ LINE API เพื่อกำหนดคีย์เวิร์ดและใช้ไลน์ออฟฟิเชียลแอดแคท เป็นตัวกลางในการติดต่อกับระบบ

4. ทดสอบระบบ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบระบบเพื่อหาข้อผิดพลาด และปรับปรุงแก้ไขให้ระบบมีความสมบูรณ์ก่อนนำไปใช้งานและประเมินผล

5. ประเมินผล ผู้วิจัยมีกระบวนการประเมินผลการพัฒนาระบบ โดยใช้แบบสอบถาม ดังนี้

5.1 แบบสอบถามประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาจำนวน 1 คน ด้านการออกแบบและกราฟิกจำนวน 2 คน และด้านการพัฒนาระบบ จำนวน 2 คน โดยวิธี Blackbox Testing ประเด็นในการประเมินทั้งหมด 5 ด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบ ด้านฟังก์ชันการทำงานของระบบ ด้านความถูกต้องเหมาะสมของข้อมูล ด้านความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการพัฒนาระบบ และด้านความปลอดภัยของระบบ

5.2 แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจการใช้ระบบโดยนักศึกษา อาจารย์นิเทศก์ เจ้าหน้าที่และหน่วยงานที่รับนักศึกษาฝึกประสบการณ์ รวม 30 คน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เหตุผลที่เลือกวิธีการนี้เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีคุณลักษณะเหมาะสมกับงานวิจัยและสามารถให้ข้อมูลได้อย่างเพียงพอ ส่วนจำนวนที่กำหนด เนื่องจากกลุ่ม

ตัวอย่างขนาดเล็กที่สุดที่สามารถวิเคราะห์ทางสถิติใดๆ (Gosset, 1908) มีประเด็นในการประเมิน 2 ด้าน ได้แก่ ด้านความง่ายต่อการใช้งานและด้านประโยชน์ที่ได้รับ

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการประเมิน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมินของชูศรี วงศ์รัตน์ (ชูศรี, 2560) ใช้เกณฑ์เดียวกันทั้งการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจ ดังนี้

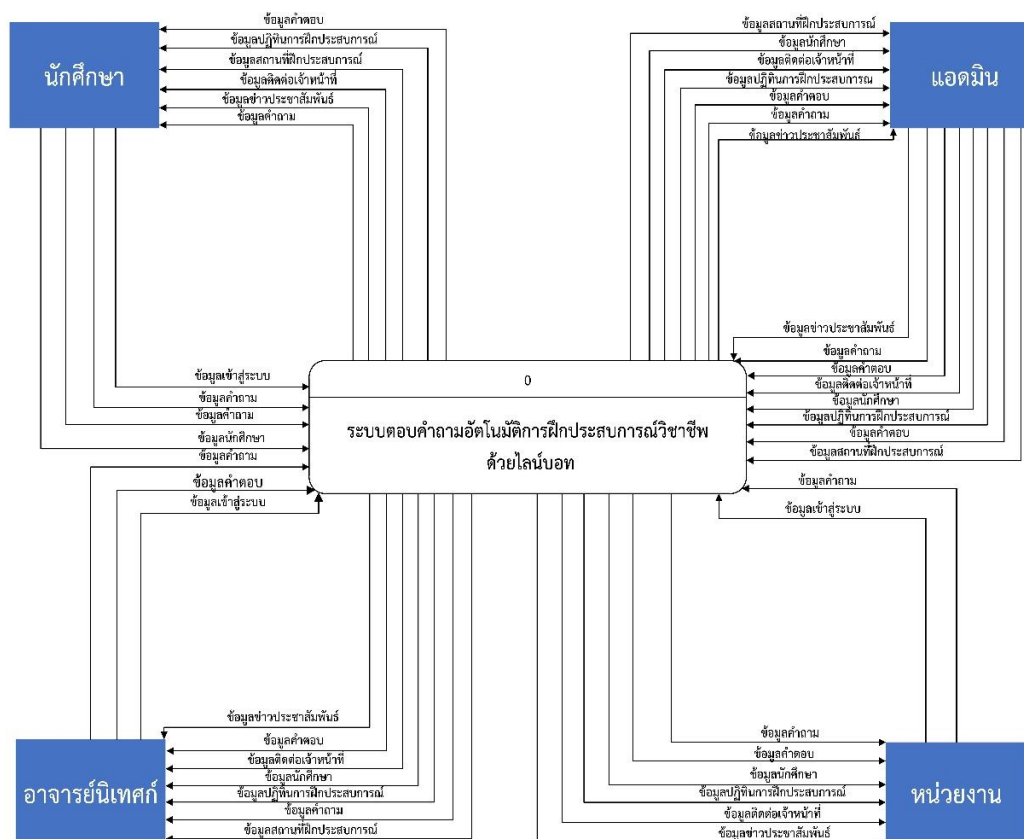
4.50 - 5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด

3.50 - 4.49 หมายถึง ระดับมาก

2.50 - 3.49 หมายถึง ระดับปานกลาง

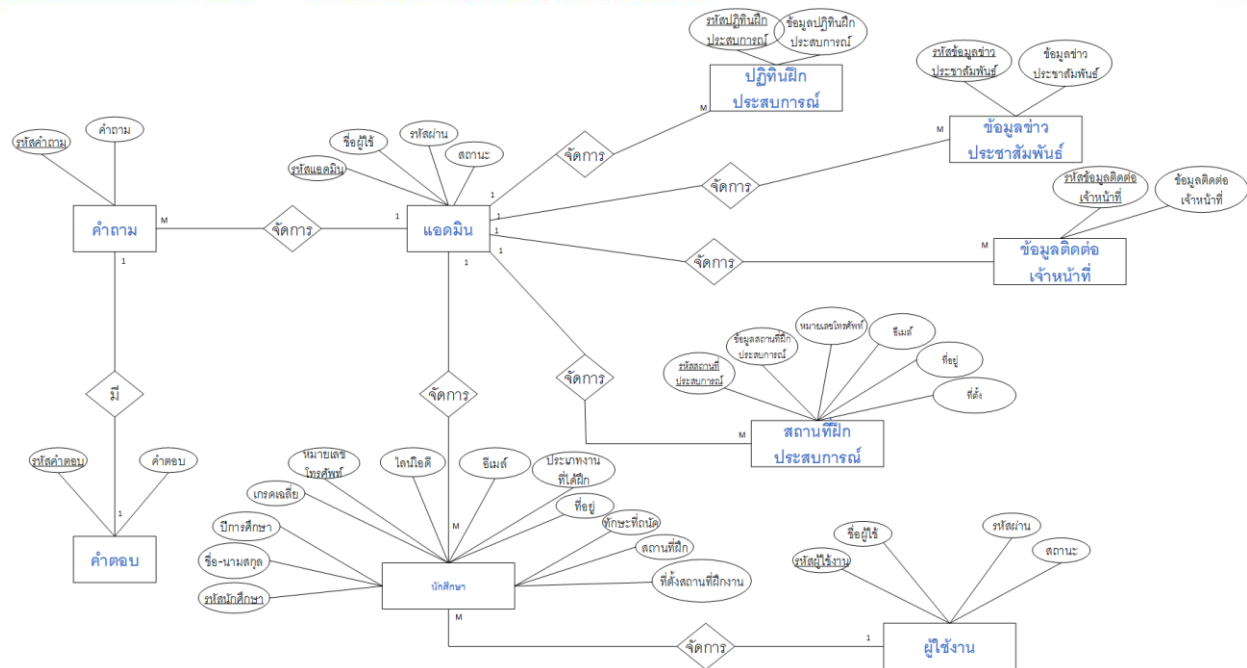
1.50 - 2.49 หมายถึง ระดับน้อย

1.00 - 1.49 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด



ภาพที่ 1 แผนภาพบริบท (Context Diagram) ของระบบงาน

จากภาพที่ 1 แสดงแผนภาพบริบทการทำงานของระบบงานการนำข้อมูลจากความต้องการของผู้ใช้งานมาออกแบบระบบที่ใช้ในการสร้างแชทบอท ตัวอย่างเช่น นักศึกษา กรอกข้อความเกี่ยวกับข้อมูลสถานที่ฝึกประสบการณ์ ระบบจะแสดงข้อมูลของหน่วยงาน ประกอบด้วย ชื่อหน่วยงาน ที่อยู่ ลักษณะงาน ข้อมูลติดต่อ



ภาพที่ 2 แบบจำลองความสัมพันธ์เอนทิตี (E-R Diagram)

จากภาพที่ 2 แสดงแบบจำลองความสัมพันธ์เอนทิตี ซึ่งใช้ในการออกแบบหน้าจอและส่วนประกอบของแอปพลิเคชัน ตัวอย่างเช่น ความสัมพันธ์ของข้อมูลนักศึกษากับแอดมินผู้ดูแลระบบ โดยแอดมินสามารถจัดการกับข้อมูลนักศึกษาแต่ละคนได้ หรือ ความสัมพันธ์ของข้อมูลคำถามกับคำตอบ อธิบายได้ว่า คำถาม 1 คำถาม จะมีเพียง 1 คำตอบ

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

การพัฒนาเว็บตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ สามารถสรุปผลการพัฒนาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

1. ผลการพัฒนาระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

ระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ สามารถแบ่งการใช้งานตามฟังก์ชันการทำงาน ได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

1.1 หน้าจอการทำงานหลัก เมื่อผู้ใช้เข้าสู่ระบบโดยการสแกน QR Code แล้วจะปรากฏหน้าจอหลักของการทำงาน ประกอบด้วย 6 เมนู แสดงดังภาพที่ 3 มีรายละเอียดต่อไปนี้

1. ก่อนฝึกประสบการณ์ แสดงหมวดข้อคำถามก่อนฝึกประสบการณ์ ได้แก่ ขั้นตอนการเสนอที่ฝึกประสบการณ์ ข้อมูลสถานประกอบการ ปฏิบัติการฝึกประสบการณ์ เอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อยื่นเสนอที่ฝึกประสบการณ์
2. ระหว่างฝึกประสบการณ์ แสดงหมวดข้อคำถามระหว่างฝึกประสบการณ์ ได้แก่ ปฏิบัติการฝึกประสบการณ์ ข้อปฏิบัติระหว่างฝึกประสบการณ์
3. หลังฝึกประสบการณ์ แสดงหมวดข้อคำถามหลังฝึกประสบการณ์ เช่น หลังจากการฝึกประสบการณ์แล้วมีขั้นตอนอย่างไร

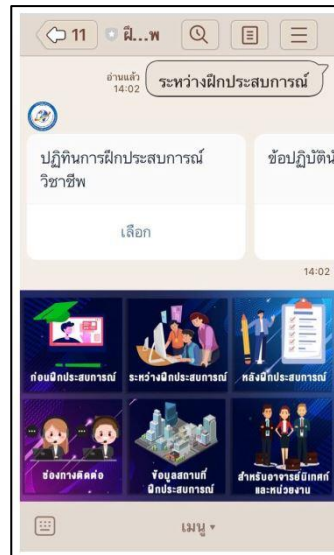
4. ช่องทางติดต่อ แสดงช่องทางติดต่อผ่าน ที่อยู่/หมายเลขโทรศัพท์ เฟซบุ๊ก และเว็บไซต์สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ รวมถึงข่าวประชาสัมพันธ์
5. ข้อมูลสถานที่ฝึกประสบการณ์ แสดงข้อมูลสถานที่ฝึกประสบการณ์ ลักษณะงาน ช่องทางติดต่อ และแสดงเส้นทางผ่าน Google Map
6. สำหรับอาจารย์นิเทศก์และหน่วยงาน แสดงหน้าเมนูเข้าสู่ระบบ/ลงทะเบียน โดยทำการลงทะเบียนการเข้าใช้ ก่อน เมื่อได้รับการอนุมัติแล้ว จะแสดงข้อมูลนักศึกษา ข้อมูลสถานที่ฝึกประสบการณ์ ปฏิทินการฝึกประสบการณ์ และเอกสารแบบประเมิน



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 3 หน้าจอการทำงานหลัก

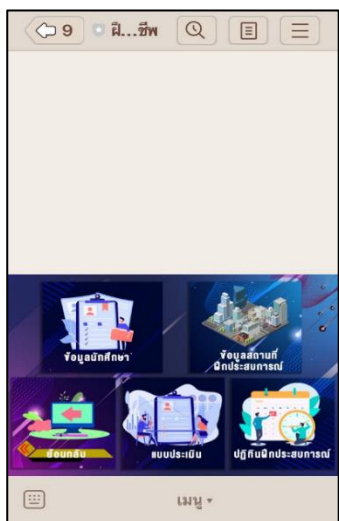
จากภาพที่ 3 (ก) เมื่อผู้ใช้คลิกเมนูก่อนฝึกประสบการณ์ ระบบจะตอบกลับแสดงหมวดข้อความก่อนออกฝึกประสบการณ์วิชาชีพ เช่น ขั้นตอนการเสนอที่ฝึกประสบการณ์ ดังภาพที่ 3 (ข) หรือถ้าผู้ใช้คลิกเมนูระหว่างฝึกประสบการณ์ ระบบจะตอบกลับแสดงหมวดข้อความระหว่างฝึกประสบการณ์ ได้แก่ ปฏิทินการฝึกประสบการณ์

1.2 หน้าจอสำหรับอาจารย์นิเทศ หน้าจอการทำงานในส่วนของอาจารย์นิเทศก์ประกอบด้วย 5 เมนู แสดงดังภาพที่ 4 มีรายละเอียดต่อไปนี้

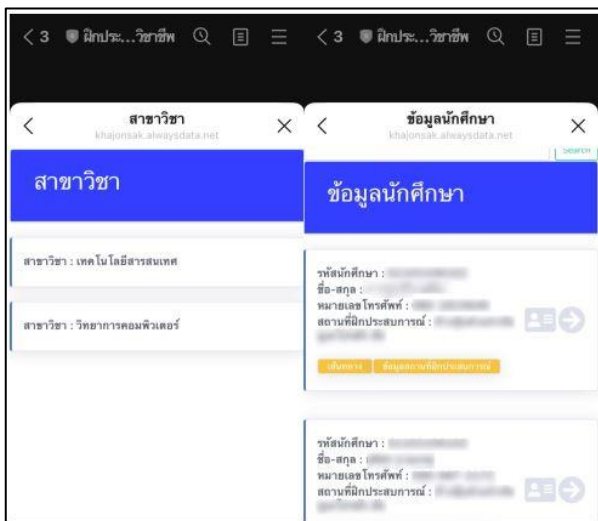
1. ข้อมูลนักศึกษา แสดงข้อมูลนักศึกษาในชั้นปีที่จะออกฝึกประสบการณ์ โดยแสดงรหัสนักศึกษา ชื่อ-สกุล หมายเลขโทรศัพท์ สถานที่ฝึกประสบการณ์ของนักศึกษาคนนั้น
2. ข้อมูลสถานที่ฝึกประสบการณ์ แสดงข้อมูลสถานที่ฝึกประสบการณ์ พร้อมรายละเอียด และแสดงเส้นทางผ่าน Google Map
3. ปฏิทินฝึกประสบการณ์ แสดงข้อมูลปฏิทินการฝึกประสบการณ์ โดยแสดงรายละเอียดกิจกรรม ระยะเวลา และรายละเอียดแต่ละกิจกรรมที่ดำเนินการ

4. แบบประเมิน แสดงแบบประเมินนักศึกษาสำหรับอาจารย์นิเทศ เพื่อใช้ในการประเมินติดตามการออกฝึก
ประสบการณ์ของนักศึกษา

5. ช่องทางติดต่อ แสดงช่องทางติดต่อผ่านที่อยู่/หมายเลขโทรศัพท์ เฟซบุ๊ก และเว็บไซต์ของสาขาวิชา



(ก)



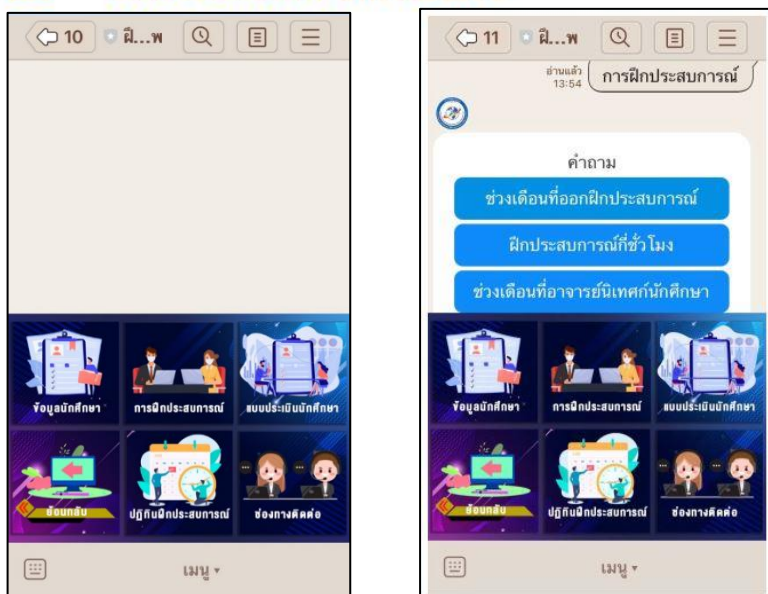
(ข)

ภาพที่ 4 หน้าจอสำหรับอาจารย์นิเทศ

จากภาพที่ 4 (ก) เมื่อผู้ใช้คลิกเมนูข้อมูลนักศึกษา ระบบจะแสดงข้อมูลนักศึกษาในชั้นปีที่จะออกฝึกประสบการณ์ โดยแสดงรหัสนักศึกษา ชื่อ-สกุล หมายเลขโทรศัพท์ สถานที่ฝึกประสบการณ์ของนักศึกษา ดังภาพที่ 4 (ข)

1.3 หน้าจอสำหรับหน่วยงาน หน้าจอการใช้งานสำหรับหน่วยงานประกอบด้วย 5 เมนู แสดงดังภาพที่ 5 มีรายละเอียดต่อไปนี้

1. ข้อมูลนักศึกษา แสดงข้อมูลนักศึกษาแยกตามหน่วยงานที่ลงทะเบียนเข้าระบบ แสดงข้อมูลรหัสนักศึกษา ชื่อ-สกุล เบอร์โทรศัพท์ อีเมล ทักษะที่นัด
2. การฝึกประสบการณ์ แสดงข้อคำถาม ช่วงเดือนที่นักศึกษาออกฝึกประสบการณ์ ระยะเวลาการฝึกประสบการณ์ของนักศึกษา จำนวนชั่วโมงของฝึกประสบการณ์
3. แบบประเมิน แสดงแบบประเมินนักศึกษาสำหรับหน่วยงานเมื่อนักศึกษาดำเนินการฝึกประสบการณ์ครบตาม ชั่วโมงที่กำหนด โดยหน่วยงานสามารถดาวน์โหลดเอกสารได้เอง
4. ปฏิทินฝึกประสบการณ์ แสดงปฏิทินฝึกประสบการณ์ เพื่อให้หน่วยงานทราบช่วงเวลาที่ยาจารย์มานิเทศนักศึกษา ณ สถานที่นั้นๆ
5. ช่องทางติดต่อ แสดงช่องทางติดต่อผ่าน ที่อยู่/หมายเลขโทรศัพท์ เฟซบุ๊ก และเว็บไซต์ของสาขาวิชา



(ก)

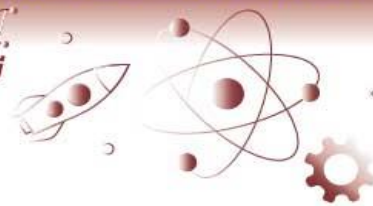
(ข)

ภาพที่ 5 หน้าจอสำหรับหน่วยงาน

จากภาพที่ 5 (ก) เมื่อผู้ใช้คลิกเมนูการฝึกประสบการณ์ ระบบจะแสดงข้อคำถามย่อย เช่น ช่วงเดือนที่ออกฝึกประสบการณ์ ฝึกประสบการณ์กี่ชั่วโมง ดังภาพ 5 (ข)

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ ผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถามเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ 5 ด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบ ด้านฟังก์ชันการทำงาน ด้านความถูกต้องเหมาะสมของข้อมูล ด้านความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการพัฒนาระบบ และด้านความปลอดภัยของระบบ นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินประสิทธิภาพจำนวน 5 คน นำผลที่ได้มาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ แล้วนำไปทดสอบการทำงานของระบบอีกครั้งเพื่อหาประสิทธิภาพ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.718$) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ด้านความถูกต้องเหมาะสมของข้อมูลมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X} = 4.850$) รองลงมาคือด้านความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการพัฒนาระบบ ($\bar{X} = 4.760$) ส่วนด้านที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ ด้านความปลอดภัยของระบบ ($\bar{X} = 4.560$) โดยมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1



ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

รายการประเมินประสิทธิภาพ	$\bar{X}$	S.D.	ผลการประเมิน
ด้านการออกแบบ	4.742	0.063	มากที่สุด
ด้านฟังก์ชันการทำงานของระบบ	4.680	0.109	มากที่สุด
ด้านความถูกต้องเหมาะสมของข้อมูล	4.850	0.162	มากที่สุด
ด้านความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการพัฒนาระบบ	4.760	0.260	มากที่สุด
ด้านความปลอดภัยของระบบ	4.560	0.384	มากที่สุด
ผลรวมประสิทธิภาพของระบบ	4.718	0.126	มากที่สุด

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

หลังจากผู้วิจัยประเมินประสิทธิภาพของระบบแล้วเสร็จ ได้สร้างแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจให้ผู้ใช้งานระบบได้ทดลองใช้ เพื่อสอบถามถึงด้านความง่ายต่อการใช้งานและด้านประโยชน์ที่ได้รับ กับกลุ่มเป้าหมายโดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 30 คน ประกอบด้วย นักศึกษา อาจารย์นิเทศก์ เจ้าหน้าที่และตัวแทนสถานประกอบการ ผลการประเมินความพึงพอใจพบว่า กลุ่มเป้าหมายมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.91$) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ด้านความง่ายต่อการใช้งาน ($\bar{X} = 4.500$) มีค่าเฉลี่ยมากกว่าด้านประโยชน์ที่ได้รับ ($\bar{X} = 4.82$) โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

รายการประเมินความพึงพอใจ	$\bar{X}$	S.D.	ผลการประเมิน
ด้านการใช้งานง่าย	4.500	0.327	มาก
ด้านประโยชน์ที่ได้รับ	4.482	0.314	มาก
ผลรวมการประเมินความพึงพอใจ	4.491	0.310	มาก

วิจารณ์ผลการวิจัย

ระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนี้ ช่วยในกระบวนการดำเนินการในรายวิชาฝึกประสบการณ์วิชาชีพ ที่มีผู้ที่เกี่ยวข้องหลายส่วนด้วยกัน ได้แก่ นักศึกษา อาจารย์นิเทศ หน่วยงานสถานประกอบการ โดยระบบนี้เป็นการเพิ่มช่องทางในการสื่อสารและติดต่อประสานงานข้อมูลให้มีความสะดวก รวดเร็วยิ่งขึ้น ช่วยลดเวลาการตอบคำถามของอาจารย์ผู้ดูแลวิชานี้ ผลจากการวิจัยพบว่า เป็นไปตามวัตถุประสงค์ทั้ง 3 ข้อ ด้วยผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญในระดับมากที่สุด ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานในระดับมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณภัทร ไชยพราหมณ์ (ณภัทร, ณัฐวิ และชูพันธ์, 2563) ที่พัฒนาระบบตอบกลับและแจ้งข้อมูลทางการศึกษาผ่านไลน์บอท ที่บริการการสอบถามตารางสอนของอาจารย์ การสอบถามตารางเรียน การค้นหาอาคารสถานที่ เป็นต้น ซึ่งอำนวยความสะดวกให้แก่ นักศึกษาในการเข้าถึงข้อมูลทางการศึกษาได้มากขึ้น และมีผลการประเมินความพึงพอใจในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.39 ซึ่งผู้มีความพึงพอใจในด้านความสะดวกในการใช้งานมากที่สุด

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการพัฒนาระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่พัฒนาโดยใช้แนวคิดอาร์ไคต์เพื่อตอบคำถามเกี่ยวกับการฝึกประสบการณ์ มีฟังก์ชันหลักในการทำงาน 3 ส่วน แบ่งตามประเภทผู้ใช้งาน ได้แก่ 1) หน้าการทำงานหลัก ประกอบไปด้วยเมนู ก่อนฝึกประสบการณ์ ระหว่างฝึกประสบการณ์ หลังฝึกประสบการณ์ ช่องทางติดต่อ ข้อมูลสถานที่ฝึกประสบการณ์และสำหรับอาจารย์นิเทศก์และหน่วยงาน 2) หน้าจอสำหรับอาจารย์นิเทศ ประกอบไปด้วยเมนู ข้อมูลนักศึกษา ข้อมูลสถานที่ฝึกประสบการณ์ ปฏิทินฝึกประสบการณ์แบบประเมินและย้อนกลับ และ 3) หน้าจอสำหรับหน่วยงาน ประกอบไปด้วยเมนู ข้อมูลนักศึกษา การฝึกประสบการณ์ แบบประเมิน ย้อนกลับ ปฏิทินฝึกประสบการณ์และช่องทางติดต่อ ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ในภาพรวมของระบบทั้ง 5 ด้าน มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.718$, S.D. = 0.126) และผลการประเมินความพึงพอใจระบบโดยผู้ใช้งาน พบว่า ผลรวมของระบบทั้ง 2 ด้าน ผู้ใช้พึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.491$, S.D. = 0.310)

ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาระบบตอบคำถามอัตโนมัติการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ ควรปรับข้อความที่เกี่ยวข้องกับการฝึกประสบการณ์เป็นคำสำคัญ (Keyword) และมีคำตอบที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ผู้ใช้สามารถพิมพ์ข้อความได้เอง โดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้ระบบสามารถเรียนรู้คำสำคัญต่างๆ เพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลายรูปแบบ

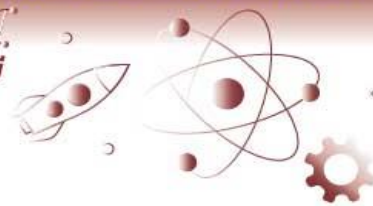
กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จากงบประมาณเงินรายได้

เอกสารอ้างอิง

- กษิธิธร อัสวพงศ์วานิช. (2565). การพัฒนาไลน์บอทของร้านอาหาร: กรณีศึกษาร้านคาเฟ่ & ธรรมชาติ รีสอร์ท@ นครพนม. *วารสารวิทยาการจัดการปริทัศน์*, 24(3), 149-157.
- ขวัญฤดี ฮวดหุ่น. (2560). อิทธิพลของแอปพลิเคชันไลน์ในการสื่อสารยุคปัจจุบัน. *วารสารศิลปะการจัดการ*, 1(2), 75-88.
- ขวัญลักษณ์ มิตรโสภณศิริ, สมชัย ตั้งสถิตยากร และสหรัญ องค์กรสุวรรณ. (2563). ระบบการจัดการบริหารหมู่บ้านบนสมาร์ตโฟนผ่าน LINE API Smart village management system via smart phone with LINE API. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 10(2), 165-194.
- จักรินทร์ สันติรัตน์ภักดี. (2561). การตลาดออนไลน์และบริการลูกค้าด้วยแพลตฟอร์ม การใช้ Chatfuel ปฏิสัมพันธ์กับลูกค้าผ่านเมสเซนเจอร์. *วารสารศรีปทุมปริทัศน์ฉบับวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี*, 10, 71-87.
- ชูศรี วงศ์รัตน์. (2560). *เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณภัทร ไชยพราหมณ์, ณัฐวดี ทุมมัต และชูพันธ์ รัตนโกคา. (2563). ระบบตอบกลับและแจ้งข้อมูล ทางการศึกษาผ่านไลน์บอท (LINE BOT). *Journal of Information Science and Technology*, 10(2), 59-70.

- รัตนารณ์ เขยชิต และอรนุช ลิ้มศิริ. (2565). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจที่มีต่อรายวิชาภาษาอังกฤษ ด้วยระบบตอบกลับข้อความอัตโนมัติ (Chatbot). วารสารการบริหารนิติบุคคลและนวัตกรรมท้องถิ่น, 8(11), 1-10.
- สกล ดำมินเศก และระติวัฒน์ ปารีศรี. (2565). การพัฒนาระบบจอตงงานถ่ายภาพผ่านไลน์บอท. Journal of Management Science Pibulsongkram Rajabhat Univeristy, 4(2), 17-31.
- สมภพ มุสิกร และพิมรินทร์ ศิริพันธ์. (2563). การพัฒนาระบบสนับสนุนการให้บริการ PSRU-LIB Line Bot ร่วมกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI Auto Lib. การจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 8(1), 115-126.
- สุเทวี คงคุณ. (2565). การตัดสินใจในการเลือกสถานประกอบการในการฝึกประสบการณ์วิชาชีพของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ. วารสารวิชาการมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี, 6(1), 16-25.
- โอปอ กลั๊บสกุล, อัมรินทร์ เฟิงสุข, อรรถพล อุบลรัตน์ และณัฐดนัย ไชยงค์. (2563). การพัฒนาระบบถามตอบอัตโนมัติเพื่อประชาสัมพันธ์สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม. Journal of Mass Communication Technology, 5(1), 47-54.
- Gosset, W. S. (1908). The probable error of a mean. Biometrika, 6(1), 1-25.



ผลของแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืช ต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ Effects of Immobilized Plant Chlorophyll Cell Model on Dissolved Oxygen Contents in Synthetic Wastewater

ธีรวัฒน์ สีทองแดง¹ บุรินทร์ มนต์ธีรวิสัย¹ ทรงกลด ไบยา² อภรณ์ บัวหลวง³ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ¹ และ บงกช บุญบุรพงค์^{1*}

Teerawat Seethongdaeng¹ Burin Montreiwai¹ Songklod Baiya²

Aporn Bualuang³ Surasak Laloknam¹ and Bongkoj Boonburapong^{1*}

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร 10110

²ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร 10110

³วิทยาลัยแพทยศาสตร์นานาชาติจุฬาภรณ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

¹Department of General Science, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok, 10110

²Department of Biology, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok, 10110

³Chulabhorn International College of Medicine, Thammasat University, Pathum Thani Province, 12120

*Corresponding author E-mail: bongkoj@g.swu.ac.th

Received 29 May 2023, Accepted 20 September 2023, Published 24 September 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยสกัดคลอโรฟิลล์จากใบพืช จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ชะพลู (*Piper sarmentosum*) บัวบก (*Centella asiatica*) และ เตย (*Pandanus amaryllifolius*) ชนิดละ 10 กรัม สกัดด้วยน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชผสมกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่า สูตรเซลล์ตรึงที่เหมาะสมในการแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืช คือ สารผสมที่มีความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และนำไปศึกษาชนิดแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชชนิดต่าง ๆ ต่อความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ พบว่า แบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบชะพลูมีความสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์สูงสุด มีค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 7.51 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 60 นาที รองลงมา คือ ใบบัวบก และ ใบเตย เท่ากับ 6.82 และ 5.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 60 นาที ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมมีค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาข้อนี้บ่งชี้ได้ว่าแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชสามารถเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ และสามารถนำไปใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียได้

คำสำคัญ: แบบจำลองเซลล์, สารสกัดคลอโรฟิลล์, ออกซิเจนละลายน้ำ, น้ำเสียสังเคราะห์

ABSTRACT

This research aimed to investigate the effects of the immobilized plant chlorophyll cells on dissolved oxygen (DO) contents in synthetic wastewater. Plant chlorophyll crude extracts were prepared using three plant leaves: betel (*Piper sarmentosum*), centella (*Centella asiatica*), and pandan (*Pandanus amaryllifolius*). Ten grams of each plant's leaves were homogenized with 100 ml of water. Each of chlorophyll extract was mixed with various concentrations of sodium alginate ranging from 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 % (w/v). Each of the chlorophyll-alginate mixtures was added dropwise into various concentrations of calcium chloride solution concentration ranging from 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0% (w/v). The optimum concentration for the immobilized plant chlorophyll formation was a combination of 2.0% (w/v) sodium alginate and 1.0% (w/v) calcium chloride. Each of immobilized plant chlorophyll cell model was subjected to determine the DO content in synthetic wastewater using DO meter. The results showed that immobilization with the betel's chlorophyll gave a maximal DO content in synthetic wastewater (7.51 mg/L in 60 minutes) followed by centella and pandan (6.82 and 5.45 mg/L in 60 minutes, respectively) compared with control (4.00 mg/L). This finding suggested that the immobilized plant chlorophyll cell models increased dissolved oxygen contents in synthetic wastewater and could be used for the wastewater treatment process.

Keywords: Cell Model, Chlorophyll Extract, Dissolved Oxygen, Synthetic Wastewater

บทนำ

จากวิถีชีวิตของคนไทยมีการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้าน ได้แก่ อุปโภคบริโภค การเกษตร การประมง อุตสาหกรรม และ การคมนาคม จากจำนวนประชากรที่มากขึ้นส่งผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรน้ำปริมาณมากและปล่อยน้ำเสียที่ไม่ถูกสุขลักษณะลงสู่แหล่งน้ำจากบ้านเรือนที่พักอาศัยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ นอกจากนี้ของเสียที่เกิดจากการทำการเกษตร และ โรงงานอุตสาหกรรมใกล้แหล่งน้ำ ปล่อยน้ำเสียลงแหล่งน้ำส่งผลให้คุณภาพของน้ำเสื่อมโทรมลง มีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เช่น น้ำเน่าเสียที่เกิดจากกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้ดัชนีคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงไป เช่น ค่าความเป็นกรดเบส และ ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เมื่อคุณภาพน้ำแย่งการนำไปใช้ประโยชน์ก็น้อยลงไปด้วย โดยวิธีการที่ใช้ในการรายงานผลคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินให้กับประชาชนทั่วไปได้เข้าใจโดยง่าย คือการใช้ดัชนีคุณภาพน้ำ ซึ่งเป็นการบอกระดับคุณภาพน้ำว่าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ดี พอใช้ เสื่อมโทรมหรือเสื่อมโทรมมาก และเป็นการติดตามเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากมลพิษทางน้ำ และเป็นข้อมูลที่บ่งบอกความสามารถในการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ และคำแนะนำเบื้องต้น เช่น เมื่อต้องการนำน้ำจากแหล่งน้ำที่จัดอยู่ในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ที่เป็นแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท มาใช้ในการอุปโภคบริโภค ควรนำน้ำมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไป และผ่านการฆ่าเชื้อโรค (Laloknam and Sirisopana, 2011; Suktalord et al., 2016; Danyuttasilp and Laloknam, 2013; Lage, Toffolo and Gentili, 2021; Shen, Gao and Li, 2017)

ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) เป็น 1 ใน 5 พารามิเตอร์สำคัญในมาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อยมากและไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำ การละลายของออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดัน และสิ่งเจือปนในน้ำ และปริมาณออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ ทาวเคมี และกระบวนการชีวเคมีของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ น้ำในธรรมชาติทั่วไปปกติจะมีค่าประมาณ 5-7 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) หากปริมาณออกซิเจนในน้ำต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้นๆ โดยการบำบัดน้ำเสียสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การบำบัดทางกายภาพ เช่น การใช้เครื่องมือในการตีน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ เช่น การใช้กังหันน้ำชัยพัฒนา การบำบัดทางเคมี เช่น การใช้สารเคมีทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดการตกตะกอน เช่น การตกตะกอนน้ำเสียโดยใช้สารส้ม และการบำบัดทางชีวภาพ เช่น การใช้สิ่งมีชีวิต เช่น พืช สาหร่ายสีเขียว และ ไชยาโนแบคทีเรีย เป็นตัวช่วยในการเปลี่ยนสภาพสิ่งสกปรกในน้ำ เนื่องจากมีความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสง มีกลไกที่สำคัญคือใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นสารตั้งต้น ร่วมกับการกระตุ้นด้วยแสง ซึ่งเกิดขึ้นที่บริเวณคลอโรฟิลล์ได้ผลผลิตเป็นน้ำตาลและแก๊สออกซิเจน (Pollution control department, 2020; Taiz et al., 2022; Johnson, 2006; Peerapornpisan, 2015).

งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการนำพืช 3 ชนิด คือ สะพลู (*Piper sarmentosum*) บัวบก (*Centella asiatica*) และ เตย (*Pandanus amaryllifolius*) เนื่องจากเป็นพืชท้องถิ่นที่มีปริมาณมาก เจริญเติบโตได้ดีในแถบสภาพอากาศของประเทศไทย มาทำการสกัดให้อยู่ในรูปสารสกัดคลอโรฟิลล์ ในรูปของเหลว ร่วมกับใช้เทคโนโลยีทำเซลล์ตรึง (immobilized cell) เพื่อทำเป็นแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์ และนำแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์นี้มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการนำน้ำไปใช้ประโยชน์เพื่อการประมง (ค่าออกซิเจนละลายน้ำน้อยกว่า 6 มิลลิกรัมต่อลิตร) เพื่อเพิ่มความทนทานของเซลล์ในการใช้งาน สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เหมือนกับเซลล์เดิม และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการมากกว่าเซลล์อิสระ (Dinesh et al., 2016; Kongsook et al., 2020; Kaewkrajay and Sinthunawa, 2015; Pattanapitpaisal and Roopngam, 2014; Jangiam, 2018) สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Montrewisai et al., 2021) ที่รายงานว่า เซลล์ตรึงไชยาโนแบคทีเรียมีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสูงกว่าเซลล์อิสระประมาณ 1.31 เท่า ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้แบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืช จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ สะพลู บัวบก และ เตย ต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ในแหล่งน้ำเสียที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำต่อไป

วิธีการวิจัย

การเตรียมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชตัวอย่าง

เตรียมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบตัวอย่างพืช จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ สะพลู บัวบก และ เตย โดยซื้อตัวอย่างใบพืชทั้ง 3 ชนิด จากตลาดนัดนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นำใบพืชทั้ง 3 ชนิด ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา และแช่ให้แห้ง ชั่งตัวอย่างใบพืชแต่ละชนิด ปริมาณ 10 กรัม หั่นให้มีขนาดเล็ก ใส่เครื่องปั่นผลไม้ แล้วเติมน้ำประปาปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปั่นให้ละเอียดประมาณ 1 นาที กรองสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำสารสกัดคลอโรฟิลล์ที่ได้ใช้ในการทดลองต่อไป

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ ดัดแปลงจาก (Montrewisai et al., 2021) โดยน้ำเสียสังเคราะห์ที่เลือกใช้คือน้ำเสียที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการประมงได้ โดยจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) น้อยกว่า 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ในการศึกษารั้งนี้จึงใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นภาวะของน้ำเสียสังเคราะห์ โดยเมื่อนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO meter) พบว่ามีค่าออกซิเจนละลายน้ำ เท่ากับ 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

การศึกษาสูตรเซลล์ตรึงที่เหมาะสม

วิธีการทำเซลล์ตรึง ดัดแปลงจาก (Montrewisai et al., 2021) โดยทำการเตรียมน้ำสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ($\text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_6$) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ละลายด้วยสารสกัดคลอโรฟิลล์ของพืชแต่ละชนิด นำไปผสมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นใช้กระบอกฉีดยา ดูดสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ผสมกับสารสกัดคลอโรฟิลล์ของใบชะพลู ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วหยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นใช้ตะแกรงกรองเซลล์ตรึงที่เกิดขึ้นแล้วนำมาใส่ในเพลท และทำซ้ำโดยเปลี่ยนเป็นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ จนครบ จากนั้นเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต เป็นที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จนครบ แล้วเปลี่ยนชนิดของสารสกัดคลอโรฟิลล์เป็นใบบัวบก และ ใบเตย ตามลำดับ จากนั้นทำการตรวจนับจำนวนเม็ดปิดวัดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยใช้ไม้มิครัดทดสอบความยืดหยุ่น และทดสอบความคงทนของเม็ดปิด ตามวิธีของ (Montrewisai et al., 2021) และพิจารณาคัดเลือกสูตรเซลล์ตรึงที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการทดลองขั้นถัดไป

การศึกษานิตของแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชชนิดต่างๆ ต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

นำแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชแต่ละชนิด ปริมาณ 1.0 กรัม ศึกษาความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทำการตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำโดยใช้เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO meter) ทำการวัดทุก 30 นาที เป็นระยะเวลา 180 นาที แล้วคัดเลือกแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชที่เหมาะสมไปทำการศึกษาประสิทธิภาพด้วยการเพิ่มปริมาณแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนต่อไป

การศึกษาปริมาณของแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

เปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ของแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืช ปริมาณ 0, 1, 2 และ 4 กรัม ต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 100 มิลลิลิตร ทำการตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำโดยใช้เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO meter) ทำการวัดทุก 30 นาที เป็นระยะเวลา 180 นาที

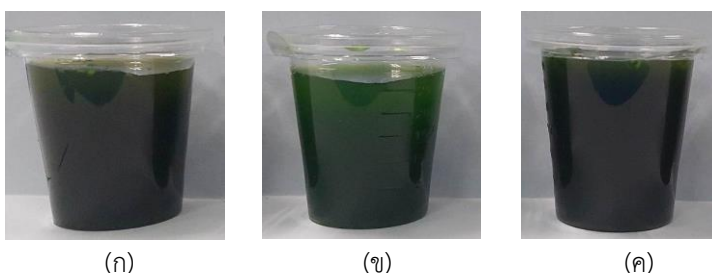
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองจากการวิจัยจัดทำทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ ($p < 0.05$)

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

การเตรียมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบตัวอย่างพืช

เมื่อนำใบชะพลู ใบบัวบก และ ใบเตย ล้างทำความสะอาดและสกัดด้วยการปั่นผสมกับน้ำในอัตราส่วน ใบตัวอย่างพืช ปริมาณ 10 กรัม และ น้ำประปา ปริมาตร 100 มิลลิลิตร กรองด้วยผ้าขาวบางได้ลักษณะของสารสกัด ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะของสารสกัดคลอโรฟิลล์จาก (ก) ใบชะพลู (ข) ใบเตย และ (ค) ใบบัวบก

จากภาพที่ 1 พบว่า สารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบพืชทั้ง 3 ชนิด มีสีเขียว และ สารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชแต่ละชนิดมีกลิ่นที่มีลักษณะเฉพาะตัว สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน โดยสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบชะพลูมีสีเขียวเข้มมากที่สุด รองลงมา สารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบบัวบก และ สารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบเตยมีสีเขียวที่ระดับอ่อนที่สุด และนำสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบพืชทั้ง 3 ชนิดไปใช้ในการทำแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์ในลำดับถัดไป

การศึกษาสูตรเซลล์ที่ตรงที่เหมาะสม

ศึกษาสูตรเซลล์ที่ตรงที่เหมาะสมในการทำแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืช โดยนำสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชผสมกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ให้สารละลายโซเดียมอัลจิเนตมีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร หลังการทำปฏิกิริยา ทำการนับจำนวนเม็ดของเซลล์ที่ตรงต่อส่วนผสมปริมาตร 1 มิลลิลิตร วัดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดของเซลล์ที่ตรง ความยืดหยุ่น และ ความคงทน แสดงผลดังตารางที่ 1- 4

ตารางที่ 1 จำนวนเม็ดของเซลล์ที่รีงที่ได้จากสูตรส่วนผสมของสารตั้งต้นสารละลายโซเดียมอัลจิเนตเสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จาก
ใบชะพลู (A) และ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (B)

การผสมกันระหว่าง		จำนวนเม็ดของเซลล์ที่รีงต่อส่วนผสม ปริมาตร 1 มิลลิลิตร (เม็ด)			
สารละลายโซเดียมอัลจิเนต (A) และ		ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต			
สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (B)		0.5%(w/v)	1.0%(w/v)	1.5%(w/v)	2.0%(w/v)
ความเข้มข้นของ สารละลาย แคลเซียมคลอไรด์	0.5%(w/v)	41	37	30	26
	1.0%(w/v)	39	35	28	22
	1.5%(w/v)	36	32	25	17
	2.0%(w/v)	33	29	21	15

ตารางที่ 2 เส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดของเซลล์ที่รีงที่ได้จากสูตรส่วนผสมของสารตั้งต้นสารละลายโซเดียมอัลจิเนตเสริมสารสกัด
คลอโรฟิลล์จากใบชะพลู (A) และ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (B)

การผสมกันระหว่าง		เส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดของเซลล์ที่รีงต่อส่วนผสม			
สารละลายโซเดียมอัลจิเนต (A) และ		ปริมาตร 1 มิลลิลิตร (เม็ด)			
สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (B)		ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต			
		0.5%(w/v)	1.0%(w/v)	1.5%(w/v)	2.0%(w/v)
ความเข้มข้นของ สารละลาย แคลเซียมคลอไรด์	0.5%(w/v)	3.6	3.9	4.3	4.7
	1.0%(w/v)	3.3	3.6	4.0	4.1
	1.5%(w/v)	3.1	3.4	3.7	3.9
	2.0%(w/v)	2.9	3.2	3.5	3.7

ตารางที่ 3 ความยืดหยุ่นของเซลล์ที่รีงที่ได้จากสูตรส่วนผสมของสารตั้งต้นสารละลายโซเดียมอัลจิเนตเสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จาก
ใบชะพลู (A) และ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (B)

การผสมกันระหว่าง		ความยืดหยุ่นของเซลล์ที่รีงต่อส่วนผสม			
สารละลายโซเดียมอัลจิเนต (A) และ		ปริมาตร 1 มิลลิลิตร (เม็ด)			
สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (B)		ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต			
		0.5%(w/v)	1.0%(w/v)	1.5%(w/v)	2.0%(w/v)
ความเข้มข้นของ สารละลาย แคลเซียมคลอไรด์	0.5%(w/v)	×	×	×	✓
	1.0%(w/v)	×	×	×	✓
	1.5%(w/v)	×	×	×	✓
	2.0%(w/v)	×	×	×	✓

หมายเหตุ × เม็ดบิตแตก ✓ เม็ดบิตไม่แตก

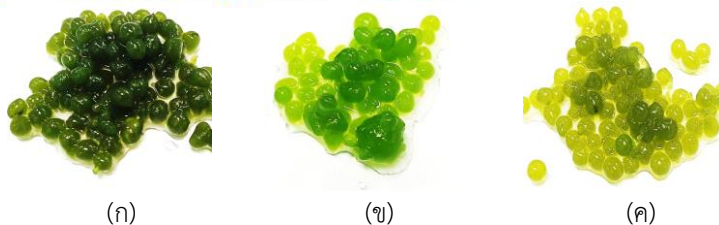
ตารางที่ 4 ความคงทนของเซลล์ตรึงที่ได้จากสูตรส่วนผสมของสารตั้งต้นสารละลายโซเดียมอัลจิเนตเสริมสารสกัดคอลโรฟิลล์จาก
ใบชะพลู (A) และ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (B)

การผสมกันระหว่าง		ความคงทนของเซลล์ตรึงต่อส่วนผสม ปริมาตร 1 มิลลิลิตร (เม็ด)			
สารละลายโซเดียมอัลจิเนต (A) และ		ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต			
สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (B)		0.5%(w/v)	1.0%(w/v)	1.5%(w/v)	2.0%(w/v)
ความเข้มข้นของ สารละลาย แคลเซียมคลอไรด์	0.5%(w/v)	×	×	×	×
	1.0%(w/v)	×	×	×	✓
	1.5%(w/v)	×	×	×	✓
	2.0%(w/v)	×	×	×	✓

หมายเหตุ × เม็ดบิตแตก ✓ เม็ดบิตไม่แตก

จากตารางที่ 1 – 4 เป็นกรณีศึกษาจากสารสกัดคอลโรฟิลล์จากใบชะพลู พบว่า 1) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนตเสริมสารสกัดคอลโรฟิลล์จากใบชะพลูและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นแล้วจำนวนเม็ดของเซลล์ตรึงมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 1 และ 2) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนตเสริมสารสกัดคอลโรฟิลล์จากใบชะพลูเพิ่มขึ้นแล้วเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดของเซลล์ตรึงมีแนวโน้มใหญ่ขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นแล้วเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดของเซลล์ตรึงมีแนวโน้มเล็กลง (ตารางที่ 2 และ 3) เมื่อใช้สารละลายโซเดียมอัลจิเนตเสริมสารสกัดคอลโรฟิลล์จากใบชะพลู ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในการทำปฏิกิริยากับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทุกความเข้มข้น ทำให้ได้เซลล์ตรึงมีความยืดหยุ่น (ตารางที่ 3 และ 4) เมื่อใช้สารละลายโซเดียมอัลจิเนตเสริมสารสกัดคอลโรฟิลล์จากใบชะพลู ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในการทำปฏิกิริยากับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทำให้ได้เซลล์ตรึงมีความคงทน (ตารางที่ 4) ในกรณีที่เป็นสารสกัดคอลโรฟิลล์จากใบเตย และ ใบบัวบก พบว่า มีแนวโน้มคล้ายผลการทดลองของสารสกัดคอลโรฟิลล์จากใบชะพลู (ไม่แสดงผลการศึกษา)

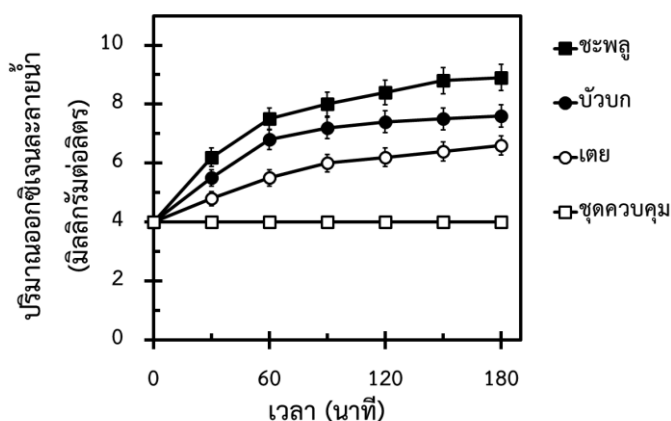
การทำเซลล์ตรึงในสิ่งมีชีวิตส่วนมากใช้ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายโซเดียมอัลจิเนตและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นของแข็งที่มีลักษณะใสมีความหนืดและความยืดหยุ่น โดยการทำปฏิกิริยาต้องใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้เลือกเม็ดบิตที่เตรียมจากการทำปฏิกิริยาของสารละลายโซเดียมอัลจิเนตเสริมสารสกัดคอลโรฟิลล์จากใบชะพลูความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่ทำให้ได้เม็ดบิตมีความยืดหยุ่นและคงทน สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Montrewhisai et al., 2021) รายงานการว่า สูตรที่เหมาะสมในการทำเซลล์ตรึงผสมไฮยาโนแบคทีเรีย คือสูตรที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนตเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยลักษณะของแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคอลโรฟิลล์จากใบชะพลู ใบเตย และใบบัวบก แสดงในภาพที่ 2 จากนั้นนำแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคอลโรฟิลล์จากพืชแต่ละชนิดศึกษาความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 2 ลักษณะของแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืช (ก) ใบชะพลู (ข) ใบเตย และ (ค) ใบบัวบก

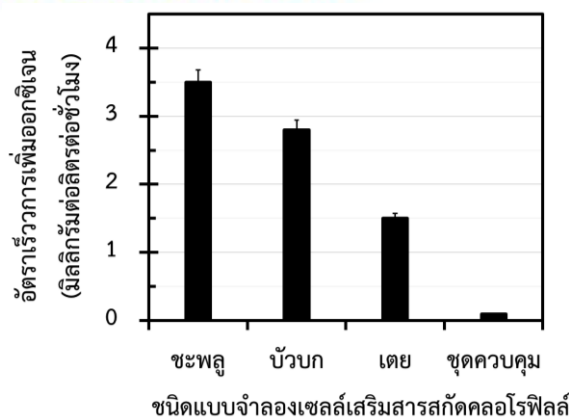
การศึกษาชนิดแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชชนิดต่างๆ ต่อความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์

นำแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบชะพลู ใบเตย และ ใบบัวบก ชนิดละ 1 กรัม ศึกษาความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่เป็นแบบจำลองเซลล์ที่ไม่มีสารสกัดคลอโรฟิลล์ และติดตามค่าออกซิเจนละลายน้ำโดยใช้เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO meter) ทุก 30 นาที เป็นระยะเวลา 180 นาที ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ชนิดของแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชชนิดต่างๆ ต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ในระยะเวลา 180 นาที

จากภาพที่ 3 พบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชทุกชนิดมีแนวโน้มในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำมากขึ้น และมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 60 นาที โดยแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบชะพลูให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุด รองลงมาเป็นใบบัวบก และ ใบเตย โดยในชุดควบคุมแบบจำลองเซลล์ที่ไม่มีสารสกัดคลอโรฟิลล์ พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ไม่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ จากนั้นวิเคราะห์หาอัตราเร็วในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำ แสดงดังภาพที่ 4



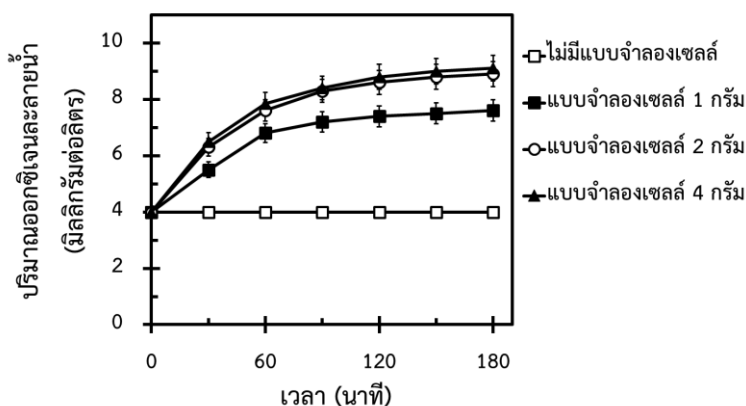
ภาพที่ 4 อัตราเร็วในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำของแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์
จากใบชะพลู ใบเตย และ ใบบัวบก

จากภาพที่ 4 พบว่า แบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบชะพลู มีอัตราเร็วในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำ สูงที่สุด เท่ากับ 3.51 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง รองลงมา คือ ใบบัวบก (2.82 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง) และ ใบเตย (1.45 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง) การทำแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชในครั้งนี้สามารถทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มสูงขึ้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับควบคุม จึงมีแนวโน้มในการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียสภาพจริงต่อไป แบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดจากคลอโรฟิลล์จากใบชะพลูมีความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์มากที่สุด เนื่องจากลักษณะของสารสกัดคลอโรฟิลล์มีสีเขียวเข้มมากที่สุด (ภาพที่ 1 และ 2) มีแนวโน้มมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงเนื่องจากปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสารสีเขียวจะมีปริมาณมาก (Peerapornpisan, 2015; Suktalord et al., 2016; Montrewisai et al., 2021) งานวิจัยนี้ใช้เทคโนโลยีเซลล์ตรึงในการสร้างแบบจำลองของเซลล์เพื่อให้มีสมบัติคล้ายเซลล์พืชเพื่อให้มีความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสง เนื่องจากสารสกัดจากพืชมีองค์ประกอบที่จำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ครบถ้วนจึงสามารถใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ และทำงานได้เป็นปกติเหมือนเซลล์ตรึงจากสาหร่ายสีเขียวและไซยาโนแบคทีเรีย (Danyuttasilp and Laloknam, 2013; Montrewisai et al., 2021) นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้ต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ ปริมาณสารตั้งต้น ปริมาณรังควัตถุหรือเซลล์ของสิ่งมีชีวิต อุณหภูมิ และ พีเอชของแหล่งน้ำ และ แสง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jangiam (Jangiam, 2018) เซลล์จุลินทรีย์แบบเซลล์ตรึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าเซลล์แบบอิสระ และ (Montrewisai et al., 2021) ศึกษาเซลล์ตรึงไซยาโนแบคทีเรียมีความสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าเซลล์อิสระร้อยละ 20 จึงนำแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบชะพลูมาใช้ในการศึกษาผลของปริมาณแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบชะพลูต่อประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่อไป

การศึกษาปริมาณของแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์

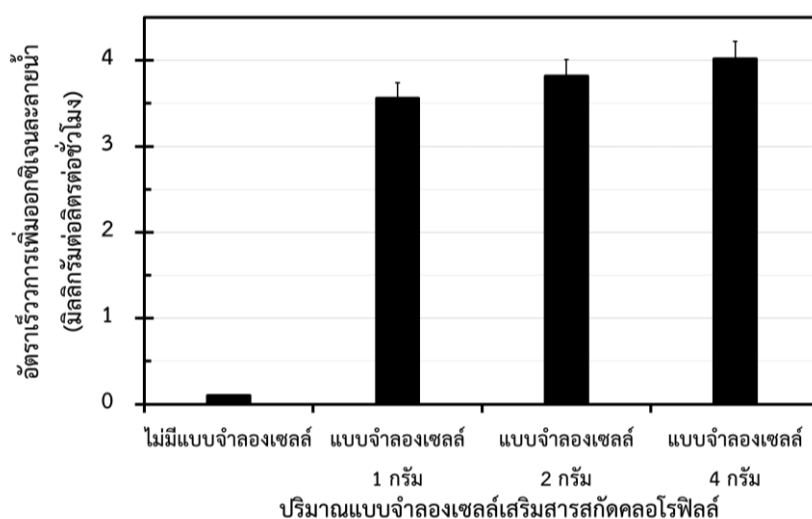
ศึกษาปริมาณของแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืชต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยแปรปริมาณแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบชะพลู ปริมาณ 1 2 และ 4 กรัม ลงในน้ำเสีย

สังเคราะห์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมแบบจำลองเซลล์ และติดตามค่าออกซิเจนละลายน้ำโดยใช้เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO meter) ทุก 30 นาที เป็นระยะเวลา 180 นาที ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลของปริมาณแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบชะพลูต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์

จากภาพที่ 5 พบว่า ปริมาณแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบชะพลูเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียเพิ่มขึ้น โดยการใช้ปริมาณแบบจำลองเซลล์ 2 และ 4 กรัม เป็นผลทำให้มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปริมาณ 1 กรัม แต่เมื่อพิจารณาการใช้แบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบชะพลูปริมาณ 4 กรัม เป็นผลทำให้มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้น แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปริมาณ 2 กรัม จากนั้นวิเคราะห์หาอัตราเร็วในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำ แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 อัตราเร็วในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำของแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบชะพลูที่ปริมาณแตกต่างกัน

จากภาพที่ 6 พบว่า แบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบชะพลูปริมาณ 4 กรัม มีอัตราเร็วในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุด เท่ากับ 4.02 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง รองลงมา คือ ปริมาณ 2 กรัม (3.82 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง) และ ปริมาณ 1 กรัม (3.56 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง) ผลการศึกษาสอดคล้องกับ (Montrewisai et al., 2021) รายงานว่า เมื่อใช้ปริมาณเซลล์ตรึงจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์จะเพิ่มขึ้น

สรุปผลการวิจัย

1. สูตรเซลล์ตรึงที่เหมาะสมในการทำแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืช คือ สารละลายโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรที่ผสมกับสารสกัดคลอโรฟิลล์จากพืช ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
2. แบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดจากคลอโรฟิลล์จากใบชะพลูมีความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียสังเคราะห์มากที่สุด รองลงมาเป็นแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดจากคลอโรฟิลล์จากใบบัวบก และใบเตย ตามลำดับ
3. การใช้ปริมาณแบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดจากคลอโรฟิลล์จากใบชะพลูเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียเพิ่มขึ้น โดยการใช้แบบจำลองเซลล์เสริมสารสกัดจากคลอโรฟิลล์จากใบชะพลูปริมาณ 4 กรัม มีอัตราเร็วในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุด รองลงมาคือ 2 กรัม และ 1 กรัม ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Danyuttasilp, Y., and Laloknam, S. (2013). Increasing of Oxygen Contents in Waste Water from Sansab Canal under Laboratory Room Using Filamentous Cyanobacteria. **Advanced Science**, 13(2), 24-34. (in Thai)
- Dinesh, K. S., Santhanam, P., Park, M. S., and Kim, M.K. (2016). Development and application of a novel immobilized marine microalgae biofilter system for the treatment of shrimp culture effluent. **Journal of Water Process Engineering**, 13,137-142.
- Jangiam, W. (2018). Development of paper mill wastewater treatment by using alginate immobilization with microorganism in pack bed Bioreactor to degradation of cellulose. Research Reports. Chonburi: Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University. (in Thai)
- Johnson, D. (2006). The Manganese-calcium oxide cluster of Photosystem II and its assimilation by the Cyanobacteria. Tallahassee: Department of Chemistry Florida State University.
- Kaewkrajay, C., and Sinthunawa, P. (2015). Immobilization of Saccharomyces cerevisiae to Sugarcane Bagasse for Fuel Ethanol Production. **Burapha Science Journal**, 20(2), 96 – 111. (in Thai)

- Kongsook, S., Nasaree, T., Khotsa, S., Rungrot, N., Phonchaiya, S., and Wuttisela, K. (2020). Synthesis and characterization of coloured calcium alginate noodles. **Journal of Science and Science Education**, 3(1), 1-7. (in Thai)
- Lage, S., Toffolo, A., and Gentili, F. G. (2021). Microalgal growth, nitrogen uptake and storage, and dissolved oxygen production in a polyculture based-open pond fed with municipal wastewater in northern Sweden. **Chemosphere**, 276, 130122.
- Laloknam, S., and Sirisopana, S. (2011). Learning Achievement and Learning Retention of Local Lower Secondary Students with an Activity Package of Basic Water Quality Tests. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning**, 2(2), 119–131. (in Thai)
- Montrewisai, B., Seethongdaeng, T., Baiya, S., Boonburapong, B., Bualuang, A., and Laloknam, S. (2021). Production of immobilized cyanobacteria *Oscillatoria* for increasing of oxygen contents in synthetic wastewater. **Prawarun Agricultural Journal**, 18(2), 16 – 23.
- Pattanapitpaisal, P., and Roopngam, D. (2014). Decolorization of Azo Dyes by Immobilized Bacterial Consortium Beads. **Journal of Science Ladkrabang**, 23(2), 17-29. (in Thai)
- Peerapornpisan, Y. (2015). **Freshwater algae in Thailand**. Third Edition. Chaing mai: Department of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University. (in Thai)
- Pollution control department. (2020). **Water Quality Index : WQI**. Retrieved May 23, 2020, from <https://rwater.mnre.go.th/front/main/WaterQuality/indicator>. (in Thai)
- Shen, Y., Gao, J., and Li, L. (2017) Municipal wastewater treatment via co-immobilized microalgal-bacterial symbiosis: Microorganism growth and nutrients removal. **Bioresource Technology**, 1(243), 905-913.
- Suktalord, P., Pratsaphan, R., Rakchad, S., Petchpool, T, Kerdsoombat, P., and Laloknam, S. (2016). The Use of Alga as Water Quality Indicator in Sansab Canal. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning**, 7(1), 14-27. (in Thai)
- Taiz, L., Møller, I. M., Murphy, A. S., and Zeiger, E. (2022). **Plant Physiology and Development**. 7th Edition. Massachusetts: Sinauer Associates.

ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดพืชบางชนิดในป่าบุงป่าทาม และการทดสอบการงอกเบื้องต้น

Seed Physical Characteristics of Plants in Seasonal Flooding Forest and Preliminary Germination Test

เทียมหทัย ชูพันธ์^{1*} ธิดารัตน์ มีศรี¹ และ สุนิสา โสณาคา¹

Thiamhathai Choopan Thidarat Meesri and Sunisa Sonakha

¹สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย 30000

¹Biology Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University,

Nakhon Ratchasima Province, Thailand 30000

*Corresponding author E-mail: thiamhathai@yahoo.com

Received 10 September 2023, Accepted 20 December 2023, Published 26 December 2023

บทคัดย่อ

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพืชบางชนิดในป่าบุงป่าทาม จังหวัดนครราชสีมา ด้วยการสำรวจและเก็บตัวอย่างเมล็ด จำนวน 41 ชนิด บันทึกลักษณะทางกายภาพ น้ำหนักแห้ง และตัดทดสอบ จากนั้นทดสอบการงอกเบื้องต้น พบว่าพืชที่มีน้ำหนักแห้งเมล็ดมากที่สุด คือ ถั่วพรี (*Canavalia gladiata* (Jacq.) DC.) มีค่าเท่ากับ 1.0163 กรัม รองลงมาคือทองกวาว (*Butea monosperma* (Lam.) Kuntze) มีค่าเท่ากับ 0.7651 กรัม และมะขามแขก (*Cathormion umbellatum* (Vahl) Kosterm.) มีค่าเท่ากับ 0.3086 กรัม ตามลำดับ เมล็ดที่มีความกว้างและความยาวเฉลี่ย (W:L) มากที่สุด คือ ทองกวาว มีค่าเท่ากับ 2.11:3.04 เซนติเมตร รองลงมาคือ ถั่วพรี มีค่าเท่ากับ 1.04:1.86 เซนติเมตร และมะขามแขก มีค่าเท่ากับ 0.86:1.04 เซนติเมตร ตามลำดับ จำแนกเมล็ดออกเป็น 2 ประเภท คือ เมล็ดประเภทออโรโดกซ์ จำนวน 39 ชนิด และเมล็ดประเภทรีแคลซิเทรนท์ จำนวน 2 ชนิด โดยพืชที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกเฉลี่ยมากที่สุดคือ ทองกวาว มีค่าเท่ากับ 89.33% รองลงมาคือ ถ่อน (*Albizia procera* (Roxb.) Benth.) มีค่าเท่ากับ 46.67% และสะแกนา (*Combretum quadrangulare* Kurz) มีค่าเท่ากับ 42.00% ตามลำดับ ส่วนพืชมีเปอร์เซ็นต์การงอกเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ หวานา (*Syzygium borneense* (Miq.) Miq.) เทียนนา (*Ludwigia hyssopifolia* (G. Don) Exell) ผักไผ่น้ำ (*Persicaria pulchra* Soják) และหมาว้อ (*Lepisanthes senegalensis* (Poir.) Leenh.) มีค่าเท่ากับ 0.00%

คำสำคัญ: เมล็ดประเภทออโรโดกซ์, เมล็ดประเภทรีแคลซิเทรนท์, ลักษณะทางกายภาพ, ป่าบุงป่าทาม, การทดสอบการงอก

ABSTRACT

The study of seed morphology of some plants in seasonal flooding forest, Nakhon Ratchasima Province was conducted using surveying and collecting seed of 41 species. Seed traits, dry weight, and cut-test were recorded. Then preliminary seed germination was tested. The highest of dry weight was founded in *Canavalia gladiata* (Jacq.) DC. as 1.0163 grams, followed by *Butea monosperma* (Lam.) Kuntze) as 0.7651 grams and *Cathormion umbellatum* (Vahl) Kosterm.) as 0.3086 grams, respectively. Mean of width and length showed the highest value in *Butea monosperma* as 2.11:3.04 centimeters, followed by *Canavalia ensiformis* as 1.04:1.86 centimeters, and *Cathormion umbellatum* as 0.86:1.04 centimeters, respectively. Seeds were classified into 2 types, i.e., 39 species of orthodox and 2 species of recalcitrant. *Butea monosperma* revealed the highest of germination percentage as 89.33%, followed by *Albizia procera* (Roxb.) Benth.) as 46.67% and *Combretum quadrangulare* Kurz) as 42.00%, respectively. Whereas there were 4 species with 0.00% of germination percentage, i.e., *Syzygium borneense* (Miq.) Miq., *Ludwigia hyssopifolia* (G. Don) Exell, *Persicaria pulchra* Soják, and *Lepisanthes senegalensis* (Poir.) Leenh.

Keywords: Orthodox seeds, Recalcitrant seeds, Physical characteristic, Seasonal flooding forest, Germination test

บทนำ

ป่าบุ่งป่าทาม เป็นป่าไม้ประเภทหนึ่งในเขตที่ราบลุ่มใกล้แม่น้ำลำธารที่มีน้ำท่วมยาวนานเป็นประจำทุกปี เป็นระบบนิเวศธรรมชาติที่หาได้ยากในปัจจุบัน ด้วยตั้งอยู่ใกล้ชุมชนและเป็นพื้นที่เหมาะสมต่อการทำนา ในอดีตคาดว่าประเทศไทยเคยมีป่าประเภทนี้ประมาณ 4 ล้านไร่ พบมากในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ภาคอีสาน) แต่ปัจจุบันเหลืออยู่ไม่เกิน 150,000 ไร่ โดยประมาณร้อยละ 90 พบอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขณะที่ภาคกลางแทบจะไม่เหลือป่าชนิดนี้แล้ว สถานภาพของพื้นที่ป่าบุ่งป่าทามส่วนใหญ่อยู่ในสภาพเสื่อมโทรม มีพื้นที่เหลืออยู่น้อยมากและอยู่กระจัดกระจายเป็นหย่อมขนาดเล็ก ตามพื้นที่สาธารณประโยชน์หรือที่ดินรกร้างที่เคยมีการเข้าครอบครองมาก่อน โดยป่าบุ่งป่าทามมีกระจายอยู่ทั่ว ภาคอีสานตามริมแม่น้ำและลำห้วยสาขาที่มีน้ำท่วมซ้ำซากและยาวนาน เช่น แม่น้ำมูล แม่น้ำชี แม่น้ำสงคราม ห้วยน้ำโมง ห้วยน้ำก่ำ ลำเซบาย เป็นต้น แต่ปัจจุบันเปลี่ยนสภาพไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ถูกจับจองทำนา ปลูกยูคาลิปตัส ทำเหมือง ดูดทราย ขุดบ่อดิน ป่าที่เหลืออยู่ส่วนใหญ่มีสภาพเป็นป่าเสื่อมโทรม ถูกตัดไม้ใหญ่ออกไป และมีการเลี้ยงสัตว์มากจนเกินไป ด้วยการเป็นที่สาธารณประโยชน์ที่มีการใช้ประโยชน์ดังกล่าว ทำให้ปัจจุบันจนแทบไม่มีป่าบุ่งป่าทามที่อุดมสมบูรณ์ให้เห็น พรรณไม้ในป่าบุ่งป่าทามจำนวนมากเป็นพืชที่มีวิวัฒนาการมาคู่กับระบบนิเวศที่มีน้ำท่วมซ้ำซาก หรือเรียกว่ามีความเฉพาะตัวกับระบบนิเวศป่าบุ่งป่าทาม ส่วนใหญ่มีการเจริญเติบโตรวดเร็วเพื่อยึดลำต้นให้สูงพ้นระดับน้ำท่วม ทนต่อน้ำท่วมขังได้ยาวนาน มีผลสุกและงอกต้นกล้าออกมาสัมพันธ์กับฤดูน้ำหลาก-น้ำลง กล้าไม้บางชนิดสามารถทนทานจมอยู่ใต้น้ำได้นานตลอดฤดู พืชบางชนิดเป็นพืชหายากใกล้สูญพันธุ์ของประเทศไทย เช่น รวงผึ้ง (*Schoutenia glomerata* King subsp. *peregrina* (Craib) Roehm. & Hartono) แหน้อย (*Cynometra craibii* Gagnep.) และเขทาม (*Maclura cochinchinensis* (Lour.) Corner) ซึ่งพบได้น้อยมากในธรรมชาติ ยอพญาไม้

(*Morinda nana* Craib) เป็นพืชถิ่นเดียวของภาคอีสาน (Endemic species of Northeastern Thailand) (มานพ และคณะ, 2561)

จากการที่ป่าบุ่งป่าทามเป็นป่าที่อยู่ใกล้ชุมชนที่ตั้งถิ่นฐานอยู่ในเขตที่ราบลุ่ม ชาวอีสานในเขตนี้จึงมีความคุ้นเคย รู้จักชื่อเรียกพรรณไม้ต่างๆ และมีการเรียนรู้ประโยชน์และโทษของพืชซึ่งสัมผัสกันมาหลายรุ่น แต่จากการลดจำนวนลงของพื้นที่ป่าบุ่งป่าทาม การศึกษาข้อมูลด้านพรรณไม้จะทำให้เกิดความเข้าใจต่อความเป็นไปของธรรมชาติและทรัพยากรพืชที่มีอยู่ได้เป็นอย่างดี และสามารถนำไปใช้ดูแลรักษาพื้นที่ป่าไม้ต่อไปได้ รวมทั้ง การเก็บรวบรวมตัวอย่างและเมล็ดเพื่อเป็นการรักษาพันธุกรรมพืชในท้องถิ่นให้คงอยู่สืบไป นอกจากนี้ การพบพืชหายากและเฉพาะในป่าบุ่งป่าทามแสดงให้เห็นความสำคัญของระบบนิเวศที่มีความเฉพาะตัว หากยังไม่มีการอนุรักษ์ป่าประเภทนี้ไว้ ประเทศไทยคงต้องสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพอีกเป็นจำนวนมากและตามมาด้วยการเสียสมดุลของธรรมชาติ อย่างน้อยป่าบุ่งป่าทามที่เหลือน้อยในพื้นที่สาธารณประโยชน์นั้นควรได้รับการดูแลรักษาสภาพป่าไว้เพื่อให้มีการฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์

ลักษณะทางกายภาพของเมล็ด เช่น ขนาด รูปร่าง ความชื้น เปลือกหุ้มเมล็ด น้ำหนักแห้ง ร้อยละของการงอก ประเภทการเก็บรักษาเมล็ด ทำให้ทราบว่าเมล็ดมีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิ ความชื้น และระยะเวลาในการเก็บรักษาหรือไม่ มีความสำคัญต่อการเก็บรักษาพันธุกรรมพืชและการผลิตกล้าไม้ในอนาคต เนื่องจากในแต่ละปีพืชแต่ละชนิดมีการออกดอกและติดผลไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะปัจจุบันที่สภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลง ไม่แน่นอน การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ไว้เพื่อผลิตกล้าไม้และรักษาพันธุกรรมพืชท้องถิ่นจึงนับมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตาม พืชแต่ละชนิดมีความอ่อนไหวต่อการลดอุณหภูมิหรือความชื้นในเมล็ดที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ยาวนานแตกต่างกันเมื่อพิจารณาที่ร้อยละของการงอกภายหลังการเก็บรักษา ประเภทการเก็บรักษาเมล็ดจำแนกออกเป็น 3 ประเภท คือ (1) เมล็ดประเภทออร์โธดอกซ์ (orthodox) คือ เมล็ดที่สามารถลดความชื้นในเมล็ดและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ (2) เมล็ดประเภทอินเทอร์มีเดียท (intermediate) คือ เมล็ดที่อาจอ่อนไหวต่อการลดความชื้นในเมล็ดหรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เก็บรักษา และ (3) เมล็ดประเภทรีแคลซิแทรนท์ (recalcitrant) คือ เมล็ดที่มีความอ่อนไหวต่อการลดความชื้นในเมล็ดและการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่ำ (Hong and Ellis, 1996)

จากการศึกษาข้อมูลในเบื้องต้น ป่าบุ่งป่าทามที่จัดอยู่ประเภทของพื้นที่ป่าอนุรักษ์ของภาคอีสานมีน้อยมาก เช่น วนอุทยานชีหลง วนอุทยานโกสัมพี จังหวัดมหาสารคาม (มานพ และคณะ, 2561) ในขณะที่พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นป่าสาธารณประโยชน์ซึ่งกำลังได้รับผลกระทบจากปัจจัยหลายด้าน เช่น การบุกรุกพื้นที่เพื่อการเกษตรกรรม การนำทรัพยากรไปใช้ประโยชน์มากเกินไป จนพื้นที่เสื่อมโทรม การขุดลอกแม่น้ำหรือลุ่มน้ำสาขา อย่างไรก็ตาม การเร่งศึกษา เก็บรวบรวมข้อมูลและองค์ความรู้การใช้ประโยชน์ ตลอดจนการหารูปแบบที่เหมาะสมในการเก็บรักษาเมล็ดตามลักษณะเมล็ดพืชแต่ละชนิดที่มีรูปแบบในการพักตัวและประสิทธิภาพในการงอกที่แตกต่างกัน (Baskin and Baskin, 2014) จะเป็นแนวทางในการรักษาและอนุรักษ์ไว้ซึ่งความหลากหลายทางชีวภาพและฐานข้อมูลพืชในป่าบุ่งป่าทามต่อไปในอนาคต เป็นรูปแบบการอนุรักษ์ทรัพยากรพืชที่มีความสำคัญในท้องถิ่นและเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น ชุมชนบริเวณลุ่มน้ำมูลในการสนับสนุนการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์หรือการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ เป็นแหล่งข้อมูลให้กับผู้สนใจ ตลอดจนการศึกษาวิจัยต่อยอดในอนาคต

วิธีการวิจัย

สำรวจชนิดของพืชตามเส้นทางเดินในป่าบุ่งป่าทาม ลุ่มน้ำมูล จังหวัดนครราชสีมา ในพื้นที่ 8 อำเภอ ได้แก่ โนนสูง เฉลิมพระเกียรติ จักราช พิมาย ประทาย ชุมพวง ลำทะเมนชัย และเมืองยาง ถ่ายภาพและบันทึกข้อมูลภาคสนาม เก็บตัวอย่างพืชเพื่อการอ้างอิง จำแนกพืชตามหนังสือพรรณพฤกษชาติประเทศไทย (Forest, 2021) และเอกสารทางพฤกษศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น

ลักษณะประจำวงศ์พรรณไม้ (กองกานดา, 2550; กองกานดา, 2550) ตรวจสอบและระบุชื่อวิทยาศาสตร์จากชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย (สำนักงานหอพรรณไม้, 2557) เก็บผลที่แก่จัดจากต้นแม่ไม้แต่ละชนิดอย่างน้อย 5 ต้น และนำผลที่ได้มาคัดแยกเมล็ดและทำความสะอาดโดยคำนึงถึงประเภทและลักษณะของผลหรือฝักที่ห่อหุ้มเมล็ด (Schmidt, 2007) ฝัลงมให้แห้ง จากนั้นสัสมเมล็ดชนิดละ 20 เมล็ด เพื่อทำการตัดทดสอบ (cut test) และศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ด ได้แก่ สี พื้นผิว ขนาด รูปร่าง เปลือกหุ้มเมล็ด น้ำหนักแห้ง (ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง) จากนั้นหาค่าความอ่อนไหวต่อการลดความชื้น (desiccation-sensitivity; p) ตามสมการ เพื่อทำนายลักษณะประเภทของเมล็ดตามวิธีของ Daws et al. (Daws, Garwood, and Pritchard, 2006)

$$P(D-S) = \frac{e^{3.269 - 9.974a + 2.156b}}{1 + e^{3.269 - 9.974a + 2.156b}}$$

เมื่อ a คือ อัตราส่วนน้ำหนักเปลือกหุ้มเมล็ดต่อน้ำหนักเมล็ดแห้ง (SCR: Seed Coat Ratio)
b คือ น้ำหนักแห้งเมล็ด

จำแนกประเภทเมล็ดการเก็บรักษาก่อนเป็นเมล็ดแบบออร์ทอดอกซ์ (orthodox) และเมล็ดแบบรีแคลซิแทรนท์ (recalcitrant) (Daws, Garwood, and Pritchard, 2006) เพื่อนำมาใช้ในการพิจารณาวิธีการที่เหมาะสมในการเก็บรักษา ทดสอบการงอกเริ่มต้นโดยนำเมล็ดเพาะในกระบะดิน ชนิดละ 3 ซ้ำๆ ละ 50 เมล็ด บันทึกข้อมูลการงอกเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ตามวิธีของปัญญา ไวยบุญญา และคณะ (ปัญญา และคณะ, 2561)

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างเมล็ดพืช ตามเส้นทางเดินในป่าบุ่งป่าทาม กลุ่มน้ำมูล จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 41 ชนิด เมื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ด พบว่า เมล็ดพืชมีสีของเปลือกเมล็ด (seed coat) และพื้นผิวที่แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่มีสีน้ำตาล พื้นผิวเรียบ เช่น คาง (*Albizia lebbekoides* (DC.) Benth.) ถ่อน (*Albizia procera* (Roxb.) Benth.) ทองกวาว (*Butea monosperma* (Lam.) Kuntze) เสี้ยวใหญ่ (*Piliostigma malabaricum* (Roxb.) Benth.) และกระถินเทศ (*Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn.) (ตารางที่ 1 และภาพที่ 1) พืชที่มีน้ำหนักแห้งเมล็ดมากที่สุด คือ ถั่วพริ้ว (*Canavalia gladiata* (Jacq.) DC.) มีค่าเท่ากับ 1.0163 กรัม รองลงมาคือ ทองกวาว มีค่าเท่ากับ 0.7651 กรัม และมะขามแขก (*Cathormion umbellatum* (Vahl) Kosterm.) มีค่าเท่ากับ 0.3086 กรัม ตามลำดับ ส่วนพืชที่มีน้ำหนักแห้งเมล็ดน้อยที่สุด คือ ตานหมอน (*Tarlmounia elliptica* (DC.) H. Rob., S. C. Keeley, Skvarla & R. Chan.) มีค่าเท่ากับ 0.0003 กรัม เมล็ดที่มีความกว้างและความยาวเฉลี่ย (W:L) มากที่สุด คือ ทองกวาว มีค่าเท่ากับ 2.11:3.04 เซนติเมตร รองลงมาคือ ถั่วพริ้ว มีค่าเท่ากับ 1.04:1.86 เซนติเมตร และมะขามแขก มีค่าเท่ากับ 0.86:1.04 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนเมล็ดที่มีความกว้างและความยาวเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ คือ หล้าสามชั้น (*Dyschoriste erecta* (Burm.) Kuntze) มีค่าเท่ากับ 0.10:0.10 เซนติเมตร ทำให้สามารถจำแนกรูปร่างของเมล็ดได้เป็น 3 แบบ ตามสัดส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด (P/E) (Gunes, 2012) ได้แก่ แบบ spherical (P/E ≤ 1.15) คือ หล้าสามชั้น แดงสะแก หวานา เทียนนา ผักไผ่น้ำ และโคกกระออม แบบ subprolate (P/E 1.16-1.35) คือ มะขามแขก ถ่อน มะแฮะนก ชุมเห็ดเล็ก กระเทตเทศ ถั่วนก ถั่วเล บานเที๋ยง คัดเค้าเครือ หมาวัว และมะแว้งเครือ แบบ prolate (P/E ≥

1.34) คือ ตานหม่อน หนามแดง สะแกนา สะอึก จิงจ้อ ขี้กาแดง บวบขม มะระขี้นก มะกล่ำตาหนู คาง ทองกวาว ถั่วพริ้ว มะหิ๋งน้อย เถาวัลย์เปรียง อะราง เลี้ยวใหญ่ ชุมเห็ดไทย โสน ตะแบกนา ครอบจักรวาล ปอลมปม ขี้ครอก ชิงช้าชาลี และน้ำใจใคร่ (ตารางที่ 1)

ผลการศึกษสามารถจำแนกเมล็ดออกเป็น 2 ประเภท คือ เมล็ดประเภทออร์ทอดอกซ์ (orthodox) จำนวน 39 ชนิดและเมล็ดประเภทรีแคลซิแทรนท์ (recalcitrant) จำนวน 2 ชนิด (ตารางที่ 1) โดยพิจารณาจากค่า p หรือค่าความอ่อนไหวต่อการลดความชื้น หากมีค่าน้อยกว่า 0.5 จัดเป็นเมล็ดประเภทออร์ทอดอกซ์ และหากมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 แสดงว่าเป็นเมล็ดประเภทรีแคลซิแทรนท์ (Daws, Garwood, and Pritchard, 2006)

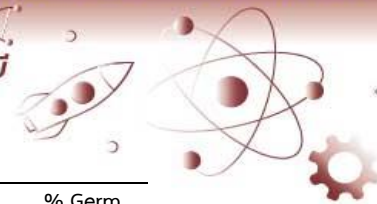
เมื่อตัดทดสอบเมล็ดพืชชนิดละ 20 เมล็ด พบว่า เมล็ดมีความสมบูรณ์ดีทั้ง 20 เมล็ด คิดเป็น 100% จำนวน 22 ชนิด ได้แก่ กล้วยาสามชั้น ตานหม่อน หนามแดง ขี้กาแดง บวบขม มะกล่ำตาหนู คาง ทองกวาว มะขามแขก มะหิ๋งน้อย เถาวัลย์เปรียง มะแฮะนง ชุมเห็ดเล็ก ชุมเห็ดไทย กระถินเทศ ถั่วนก ตะแบกนา ขี้ครอก ชิงช้าชาลี น้ำใจใคร่ เทียนนา และคัตเค้าเครือ ส่วนเมล็ดที่มีเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ แดงสะแก เนื่องจากมีเมล็ดที่มีความสมบูรณ์เพียง 35%

พืชที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกเฉลี่ยมากที่สุดคือ ทองกวาว มีค่าเท่ากับ 89.33% รองลงมาคือ ถ่อน มีค่าเท่ากับ 46.67% และสะแกนา (*Combretum quadrangulare* Kurz) มีค่าเท่ากับ 42.00% ตามลำดับ ส่วนพืชที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ หว่านา (*Syzygium borneense* (Miq.) Miq.) เทียนนา (*Ludwigia hyssopifolia* (G. Don) Exell) ผักไผ่น้ำ (*Persicaria pulchra* Soják) และหมาว้อ (*Lepisanthes senegalensis* (Poir.) Leenh.) มีค่าเท่ากับ 0.00%

ตารางที่ 1 ตัวอย่างพืชที่ทำการศึกษจากป่าบุ่งป่าทาม ลุ่มน้ำมูล จังหวัดนครราชสีมา

No.	Plant name	Cut test (G-B)	Dry weight (g)	W-L (cm) [P/E]	p [Seed type]	Seed coat	% Germ.
1	กล้วยาสามชั้น <i>Hygrophila erecta</i> (Burm. f.) Hochr. วงศ์ Acanthaceae	20-0	0.0005	0.10-0.10 [1.10]	0.000 [Orthodox]	สีน้ำตาลแดง ผิวเรียบ	9.33
2	ตานหม่อน <i>Tarlmounia elliptica</i> (DC.) H. Rob., S. C. Keeley, Skvarla & R. Chan วงศ์ Asteraceae	20-0	0.0003	0.10-0.22 [2.20]	0.000 [Orthodox]	สีน้ำตาลดำ ผิวเรียบ	2.00
3	หนามแดง <i>Maytenus mekongensis</i> Ding Hou วงศ์ Celastraceae	20-0	0.0113	0.21-0.29 [1.38]	0.008 [Orthodox]	สีน้ำตาลเข้ม ผิวเรียบมัน	38.00
4	สะแกนา* <i>Combretum quadrangulare</i> Kurz วงศ์ Combretaceae	18-2	0.0464	0.34-0.88 [2.59]	0.269 [Orthodox]	สีน้ำตาล ผิวขรุขระ มีร่องตามยาว	42.00
5	จิงจ้อ <i>Aniseia martinicensis</i> (Jacq.) Choisy วงศ์ Convolvulaceae	12-8	0.0260	0.38-0.53 [1.40]	0.000 [Orthodox]	สีน้ำตาลดำ ผิวเรียบ มีขน	1.33
6	สะอึก <i>Merremia gemella</i> (Burm. f.) Hallier f. วงศ์ Convolvulaceae	13-7	0.0073	0.22-0.31 [1.41]	0.010 [Orthodox]	สีน้ำตาลแดง ผิวเรียบ มีขน	18.67

No.	Plant name	Cut test (G-B)	Dry weight (g)	W-L (cm) [P/E]	p [Seed type]	Seed coat	% Germ.
7	บวบขม <i>Luffa aegyptiaca</i> Mill. วงศ์ Cucurbitaceae	20-0	0.0552	0.60-1.06 [1.77]	0.007 [Orthodox]	สีดำ ผิวขรุขระ	3.33
8	มะระขี้นก <i>Momordica charantia</i> L. วงศ์ Cucurbitaceae	19-1	0.0511	0.45-0.79 [1.76]	0.022 [Orthodox]	สีน้ำตาล ผิวเรียบ	25.33
9	ขี้กาแดง <i>Trichosanthes scabra</i> Lour. วงศ์ Cucurbitaceae	20-0	0.0202	0.30-0.73 [2.44]	0.000 [Orthodox]	สีดำ ผิวเรียบ	0.67
10	มะกล่ำตาหนู <i>Abrus precatorius</i> L. วงศ์ Fabaceae	20-0	0.0511	0.46-0.63 [1.37]	0.110 [Orthodox]	สีแดง-ดำ ผิวเรียบมัน	2.67
11	คาง* <i>Albizia lebbekoides</i> (DC.) Benth. วงศ์ Fabaceae	20-0	0.0352	0.44-0.66 [1.50]	0.009 [Orthodox]	สีน้ำตาล อมเขียว ผิวเรียบ	14.00
12	ถ่อน <i>Albizia procera</i> (Roxb.) Benth. วงศ์ Fabaceae	19-1	0.0433	0.50-0.65 [1.30]	0.010 [Orthodox]	สีน้ำตาล ผิวเรียบ	46.67
13	เถาวัลย์เปรียง <i>Brachypterum scandens</i> (Roxb.) Miq. วงศ์ Fabaceae	20-0	0.0520	0.41-0.72 [1.76]	0.103 [Orthodox]	สีน้ำตาล อมเขียว ผิวเรียบ	32.00
14	ทองกวาว* <i>Butea monosperma</i> (Lam.) Kuntze วงศ์ Fabaceae	20-0	0.7651	2.11-3.04 [1.44]	0.858 [Recalcitrant]	สีน้ำตาล ผิวเรียบ	89.33
15	ถั่วพริ้ว <i>Canavalia gladiata</i> (Jacq.) DC. วงศ์ Fabaceae	19-1	1.0163	1.04-1.86 [1.79]	0.640 [Recalcitrant]	สีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ	29.33
16	มะขามแขก* <i>Cathormion umbellatum</i> (Vahl) Kosterm. วงศ์ Fabaceae	20-0	0.3086	0.86-1.04 [1.21]	0.182 [Orthodox]	สีน้ำตาล ผิวเรียบ	4.00
17	มะหิ๋งน้อย <i>Crotalaria gorensis</i> Guill. & Perr. วงศ์ Fabaceae	20-0	0.0066	0.20-0.30 [1.50]	0.000 [Orthodox]	สีส้ม ผิวเรียบมัน	0.67
18	มะแฮะนก <i>Flemingia lineata</i> (L.) Roxb. ex W. T. Aiton วงศ์ Fabaceae	20-0	0.0090	0.21-0.28 [1.34]	0.043 [Orthodox]	สีดำ ผิวเรียบ	6.00
19	ถั่วงอก <i>Leptospron adenanthum</i> (G. Mey.) A. Delgado วงศ์ Fabaceae	20-0	0.0562	0.54-0.67 [1.24]	0.057 [Orthodox]	สีน้ำตาล ผิวเรียบ	9.33



No.	Plant name	Cut test (G-B)	Dry weight (g)	W-L (cm) [P/E]	p [Seed type]	Seed coat	% Germ.
20	อะราง <i>Peltophorum dasyrhachis</i> (Miq.) Kurz วงศ์ Fabaceae	19-1	0.0302	0.32-0.83 [2.60]	0.002 [Orthodox]	สีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ	12.00
21	เสี้ยวใหญ่ <i>Piliostigma malabaricum</i> (Roxb.) Benth. วงศ์ Fabaceae	18-2	0.0843	0.54-0.75 [1.39]	0.001 [Orthodox]	สีน้ำตาล ผิวเรียบมัน	6.00
22	ชุมเห็ดเล็ก <i>Senna occidentalis</i> (L.) Link วงศ์ Fabaceae	20-0	0.0139	0.43-0.52 [1.21]	0.001 [Orthodox]	สีน้ำตาล อมเทา ผิวเรียบ	6.67
23	ชุมเห็ดไทย <i>Senna tora</i> (L.) Roxb. วงศ์ Fabaceae	20-0	0.0124	0.26-0.44 [1.70]	0.166 [Orthodox]	สีน้ำตาล ผิวเรียบมัน	24.00
24	โสน <i>Sesbania bispinosa</i> (Jacq.) W. Wight วงศ์ Fabaceae	13-7	0.0054	0.20-0.37 [1.85]	0.000 [Orthodox]	สีน้ำตาล อมเทา ผิวเรียบมัน	4.00
25	กระถินเทศ <i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn. วงศ์ Fabaceae	20-0	0.0943	0.50-0.60 [1.20]	0.007 [Orthodox]	สีน้ำตาล เรียบ	3.33
26	ถั่วเล <i>Vigna marina</i> (Burm.) Merr. วงศ์ Fabaceae	19-1	0.0562	0.31-0.40 [1.29]	0.002 [Orthodox]	สีน้ำตาลดำ ผิวเรียบมัน	4.67
27	ตะแบกนา* <i>Lagerstroemia floribunda</i> Jack วงศ์ Lythraceae	20-0	0.0026	0.34-0.80 [2.36]	0.000 [Orthodox]	สีน้ำตาล ผิวเรียบ (มีปีก)	0.67
28	ครอบจักรวาล <i>Abutilon indicum</i> (L.) Sweet วงศ์ Malvaceae	19-1	0.0040	0.21-0.30 [1.43]	0.000 [Orthodox]	สีเทา ผิวเรียบ	2.00
29	ปอกลมปม <i>Azanza lampas</i> (Cav.) Alef. วงศ์ Malvaceae	18-2	0.0188	0.34-0.50 [1.47]	0.004 [Orthodox]	สีน้ำตาลดำ ผิวเรียบ	6.00
30	บานเทียน <i>Pentapetes phoenicea</i> L. วงศ์ Malvaceae	18-2	0.0036	0.25-0.30 [1.20]	0.001 [Orthodox]	สีน้ำตาลดำ ผิวเรียบ	9.33
31	แดงสะแก <i>Schoutenia ovata</i> Korth. วงศ์ Malvaceae	7-13	0.0066	0.27-0.30 [1.12]	0.000 [Orthodox]	สีน้ำตาลดำ ผิวขรุขระ	0.67
32	ขี้ครอก <i>Urena lobata</i> L. วงศ์ Malvaceae	20-0	0.0113	0.25-0.35 [1.40]	0.008 [Orthodox]	สีเทา ผิวเรียบ	5.33

No.	Plant name	Cut test (G-B)	Dry weight (g)	W-L (cm) [P/E]	p [Seed type]	Seed coat	% Germ.
33	ชิงช้าชาลี <i>Tinospora baenzigeri</i> Forman วงศ์ Menispermaceae	20-0	0.0698	0.53-0.78 [1.48]	0.025 [Orthodox]	สีเทา ผิวเรียบ	3.33
34	หว้านา* <i>Syzygium borneense</i> (Miq.) Miq. วงศ์ Myrtaceae	16-4	0.0824	0.59-0.66 [1.12]	0.405 [Orthodox]	สีน้ำตาล ผิวเรียบ	0.00
35	น้ำใจใคร่ <i>Olax scandens</i> Roxb. วงศ์ Olacaceae	20-0	0.1248	0.52-0.92 [1.77]	0.108 [Orthodox]	สีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ	12.67
36	เทียนนา <i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don) Exell วงศ์ Onagraceae	20-0	0.0013	0.20-0.22 [1.10]	0.000 [Orthodox]	สีดำ ผิวเรียบ	0.00
37	ผักไผ่น้ำ <i>Persicaria pulchra</i> Soják วงศ์ Polygonaceae	16-4	0.0048	0.31-0.34 [1.10]	0.000 [Orthodox]	สีน้ำตาลดำ ผิวเรียบมัน	0.00
38	คัตเค้าเครือ* <i>Oxyceros horridus</i> Lour. วงศ์ Rubiaceae	20-0	0.0755	0.52-0.62 [1.20]	0.269 [Orthodox]	สีน้ำตาล ผิวเรียบ	0.67
39	โคกกระออม <i>Cardiospermum halicacabum</i> L. วงศ์ Sapindaceae	18-2	0.0418	0.48-0.48 [1.00]	0.011 [Orthodox]	สีดำ-ขาว ผิวเรียบ	2.67
40	หมาว้อ* <i>Lepisanthes senegalensis</i> (Poir.) Leenh. วงศ์ Sapindaceae	19-1	0.1499	0.76-0.98 [1.29]	0.302 [Orthodox]	สีน้ำตาล ผิวเรียบ	0.00
41	มะแว้งเครือ <i>Solanum trilobatum</i> L. วงศ์ Solanaceae	19-1	0.0030	0.39-0.46 [1.18]	0.000 [Orthodox]	สีน้ำตาลอ่อน ผิวขรุขระ	2.67

* พืชที่มีระดับความซื่อสัตย์ (fidelity) สูงต่อระบบนิเวศป่าทาม

G-B คือ เมล็ดมีความสมบูรณ์ดี (good) – เมล็ดไม่สมบูรณ์/เสีย (bad)



(ก) *Butea monosperma*



(ข) *Canavalia gladiata*



(ค) *Lepisanthes senegalensis*



(ง) *Cardiospermum halicacabum*



(จ) *Lagerstroemia floribunda*



(ฉ) *Piliostigma malabaricum*



(ช) *Olax scandens*



(ซ) *Abrus precatorius*



(ณ) *Azanza lampas*

ภาพที่ 1 ตัวอย่างเมล็ดพืชบางชนิดจากป่าบุ่งป่าทาม ลุ่มน้ำมูล จังหวัดนครราชสีมา

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพืชในป่าบุ่งป่าทาม ลุ่มน้ำมูล จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 41 ชนิด พบเมล็ดพืชมีสีและพื้นผิวที่แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่มีสีน้ำตาล ผิวเรียบ มีน้ำหนักแห้งเมล็ดระหว่าง 0.0003 -0.7651 กรัม มีความกว้างและความยาวเฉลี่ย ระหว่าง 0.10:0.10 ถึง 2.11:3.04 เซนติเมตร พบรูปร่างของเมล็ด 3 แบบ ได้แก่ แบบ spherical แบบ subprolate และแบบ prolate เปอร์เซ็นต์การงอกเริ่มต้น ระหว่าง 0.00-89.33% จำแนกประเภทการเก็บรักษาเมล็ดออกเป็น 2 ประเภท คือ เมล็ดประเภทประเภทออร์ทอดอกซ์ (orthodox) จำนวน 39 ชนิด และเมล็ดประเภทรีแคลซิแทรนท์ (recalcitrant) จำนวน 2 ชนิด ซึ่งประเมินจากค่าความอ่อนไหวต่อการลดความชื้น แสดงให้เห็นว่า พืชส่วนใหญ่ที่ทำการศึกษายูอยู่ในกลุ่มออร์ทอดอกซ์ สามารถเก็บรักษาความมีชีวิตของเมล็ดได้เป็นระยะเวลานาน อาจเนื่องจากมีเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) ที่หนาและแข็ง ช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้นและคงความมีชีวิตของต้นอ่อนภายในเมล็ด หรือช่วยในการพักตัว เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษา

พันธุ์กรรมในธนาคารเมล็ดพันธุ์ (seed bank) เพื่อความยั่งยืนของทรัพยากรพืชในอนาคต ทั้งนี้ ต้องพิจารณาปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น ความสมบูรณ์ของเมล็ด เปอร์เซ็นต์การงอก เป็นต้น ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่า หวานาและหมาว้อ แม้จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มออโรโดคซ์ แต่เมล็ดมีเปลือกหุ้มบางสูญเสียความชื้นได้ง่าย ทำให้มีค่า p ค่อนข้างสูง คือ 0.405 และ 0.302 ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การงอกต่ำ จากการสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม พบว่า พืชที่มีความสมบูรณ์ของเมล็ดและอัตราการงอกค่อนข้างต่ำมักมีการสร้างผลและเมล็ดจำนวนมากในแต่ละฤดูกาล เช่น แดงสะแง (*Schoutenia ovata* Korth.) นอกจากนี้ พืชบางชนิดอาจมีการพักตัวของเมล็ด ส่งผลต่อการทดสอบการงอกเบื้องต้นที่ใช้เวลาในการทดสอบเพียง 4 สัปดาห์ การเพิ่มระยะเวลาในการทดสอบการงอก รวมถึงการใช้ปัจจัยกระตุ้นการงอกของเมล็ด เช่น การแช่น้ำ การขลิบเปลือกหุ้มเมล็ดบางส่วน การแช่กรดอ่อนๆ (Silvertown, 1999) จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างพืช จัดเป็นพืชที่มีระดับความซื่อสัตย์ (fidelity) สูงต่อระบบนิเวศป่าทาม จำนวน 8 ชนิด ได้แก่ สะแกนา คาง ทองกวาว มะขามแขก ตะแบกนา (*Lagerstroemia floribunda* Jack) หวานา คัดเค้าเครือ (*Oxyceros horridus* Lour.) และหมาว้อ นั่นคือเป็นพืชที่ทนต่อน้ำท่วมขังได้ดี โตเร็ว ออกดอกและติดผลเมื่อยุ้ยน้อย และมีการปรับตัวในการออกดอก-ผล (phenology) ที่สัมพันธ์กับฤดูกาล (มานพ ผู้พัฒน์ และคณะ, 2561; เทียมหทัย, 2564)

พืชบางชนิดที่ทำการศึกษามีการพบได้ในพื้นที่ดินเค็มของจังหวัดนครราชสีมา ได้แก่ พื้นที่อ่างเก็บน้ำลำเชียงไกร อำเภอนโนนไทยและอำเภอด่านขุนทด อ่างเก็บน้ำตามแนวลำน้ำสาขาของอำเภอนโนนสูง พิมาย ประทาย และเฉลิมพระเกียรติ เช่น หนามแดง (*Maytenus mekongensis* Ding Hou) น้ำใจใคร่ (*Oxalys scandens* Roxb.) มะแว้งเครือ (*Solanum trilobatum* L.) สะแกนา กระถิ่นเทศ แสดงให้เห็นว่าพืชเหล่านี้สามารถปรับตัวให้อยู่ได้ในสภาพดินเค็ม (ณัฐกมล, สุกัลยา และเทียมหทัย, 2563; เทียมหทัย, 2564; เทียมหทัย, 2566) สามารถใช้เป็นพืชปลูกในพื้นที่ดินเค็มหลายแห่งของจังหวัดนครราชสีมาได้เป็นอย่างดี ร่วมกับพืชชนิดอื่น ๆ ที่พบได้ในจังหวัดนครราชสีมา เช่น เกด (*Manilkara hexandra* (Roxb.) Dubard) ธนไชย (*Buchanania siamensis* Miq.) กระถิ่นพิมาน (*Vachellia harmandiana* (Pierre) Maslin, Seigler & Ebinger) คางคาคือด (*Arfeuillea arborescens* Pierre ex Radlk.) พญามือเหล็ก (*Strychnos lucida* R.Br.) ขี้หนอน (*Zollingeria dongnaiensis* Pierre) และแจง (*Maerua siamensis* (Kurz) Pax) เป็นต้น จากการตรวจสอบสถานภาพด้านการอนุรักษ์ตามบัญชีแดงของสหภาพระหว่างประเทศเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) หรือ IUCN Red List จัดเป็นพืชที่อยู่ในกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่ำต่อการใกล้สูญพันธุ์ (Least concern; LC) จำนวน 14 ชนิด ได้แก่ จิงจ้อ (*Aniseia martinicensis* (Jacq.) Choisy) คาง ถ่อน ทองกวาว ชุมเห็ดเล็ก (*Senna occidentalis* (L.) Link) โสน (*Sesbania bispinosa* (Jacq.) W. Wight) กระถิ่นเทศ ถั่วนก (*Leptospron adenanthum* (G. Mey.) A. Delgado) ถั่วเล (*Vigna marina* (Burm.) Merr.) ขี้ครอก (*Urena lobata* L.) เทียนนา ผักไผ่น้ำ โคกกระออม (*Cardiospermum halicacabum* L.) และหมาว้อ (IUCN, 2023) ซึ่งหลายชนิดเป็นพืชต่างถิ่น (Exotic Species) อย่างไรก็ตาม ยังมีพืชอีกหลายชนิดจากป่าบุงป่าทาม โดยเฉพาะพืชที่มีระดับความซื่อสัตย์ (fidelity) สูงต่อระบบนิเวศป่าทามและเป็นพืชท้องถิ่นของประเทศไทยที่จำเป็นต้องศึกษาและวางแนวทางในการอนุรักษ์พันธุ์กรรมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนภูมิปัญญาการแพทย์แผนไทย กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข

เอกสารอ้างอิง

- กองกานดา ชยามฤต. (2550). **ลักษณะประจำวงศ์พรรณไม้**. กรุงเทพฯ: สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้พันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.
- กองกานดา ชยามฤต. (2550). **ลักษณะประจำวงศ์พรรณไม้ 2**. กรุงเทพฯ: สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้พันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.
- ณัฐกมล นาเจริญ, สุภัตยา หวังรวมกลาง และเทียมหทัย ชูพันธ์. (2563). กายวิภาคศาสตร์เปรียบเทียบของพืช 15 ชนิดในพื้นที่ดินเค็ม ตำบลบัลลังก์ อำเภอนนไทย จังหวัดนครราชสีมา ใน รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 2 (หน้า 87-93). เลย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.
- เทียมหทัย ชูพันธ์. (2564). พรรณไม้ในพื้นที่ดินเค็มบริเวณอ่างเก็บน้ำลำเชียงไกร จังหวัดนครราชสีมา ใน รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 3 (หน้า 212-220). เลย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.
- เทียมหทัย ชูพันธ์. (2564). **พรรณไม้ในป่าบุ่งป่าทามโคราช**. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.
- เทียมหทัย ชูพันธ์. (2566). ความหลากหลายของพรรณพืชในป่าชุมชนบ้านโนนเจดีย์-ดอนตะหนินน้อย อำเภอนนไทย-ด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิจัยนเวศวิทยาป่าไม้ประเทศไทย ครั้งที่ 12 (หน้า 371-380). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ปัญญา ไวยบุญญา, บุญธิดา ม่วงศรีเมืองดี, ประภัศร ยอดสง่า และปณิตดา ลาภเกิน. (2561). ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดประเภทการเก็บรักษาเมล็ด และการเพาะขยายพันธุ์ไม้พื้นเมืองบริเวณป่าริมคลองพระปรัง อำเภอดอนนาค จังหวัดสระแก้ว. **วารสารวนศาสตร์**, 37(1), 31-45.
- มานพ ผู้พัฒน์, ปรีชา การะเกตุ, ขวัญใจ คำมงคล และศรัณย์ จิระกร. (2561). **ป่าบุ่งป่าทาม ภาคอีสาน**. กรุงเทพฯ: สำนักงานหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.
- สำนักงานหอพรรณไม้. (2557). **ข้อมูลชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์ พ.ศ. 2557 แก้ไขเพิ่มเติมและภาพประกอบ**. ค้นจาก <https://www.dnp.go.th/botany/mplant/index.html>
- Baskin, C. C. and Baskin, J. M. (2014). **Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination**. San Diego: Academic/Elsevier.
- Daws, M. I., Garwood, N. C. and Pritchard, H. W. (2006). Prediction of desiccation sensitivity in seeds of woody species: a probabilistic model based on two seed traits and 104 species. **Annals of Botany**, 97(4), 667-674.
- Forest Herbarium. (2021). **e-Flora of Thailand**. Retrieved from <https://www.dnp.go.th/botany/eflora/index.html>
- Gunes, F. (2012). Seed morphology and their systematic importance of *Lathyrus* taxa belonging to *Platystylis* (= *Lathyrostylis*) section (Fabaceae) from Turkey. **African Journal of Agricultural Research**, 7(2), 265-277.
- Hong, T. D. and Ellis, R. H. (1996). **A protocol to determine seed storage behaviour: IPGRI Technical Bulletin No.1**. Rome: International Plant Genetic Resources Institute.
- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). (2023). **The IUCN Red List of Threatened Species**. Version 2022-2. Retrieved from <https://www.iucnredlist.org/>

Silvertown, J. (1999). Seed ecology, dormancy, and germination: A modern synthesis from Baskin and Baskin.

American Journal of Botany, 86(6), 903-905.

Schmidt, L. (2007). *Tropical Forest Seed*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

ระบบตรวจสอบความผิดปกติระหว่างการทำงานปั้มน้ำโซลาร์เซลล์

Monitoring System for Abnormalities Detected During the Operation of Photovoltaic Water Pumps

พิสุทธิ์ แสนดีน้อย¹ ธันว่า ขำทับทิม¹ ธีรศักดิ์ แหยมบุรี¹ ธนภูมิ เฟื่องเพียร¹ และ นัฐพงษ์ เนินชัด^{1*}

Phisut Saendeenoi¹ Thanwa Khamthuptim¹ Thirasak Yamburi¹

Thanapoom Fuangpian¹ and Nattapong Nernchad^{1*}

¹หลักสูตรเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ จังหวัดอุดรดิตถ์ ประเทศไทย 53000

¹Program in Electrical Technology, Faculty of Industrial Technology Uttaradit Rajabhat University,
Uttaradit Province, Thailand 53000

*Corresponding author E-mail: nattapong.ner@uru.ac.th

Received 15 September 2023, Accepted 27 December 2023, Published 28 December 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างระบบตรวจสอบความผิดปกติระหว่างการทำงานของปั้มน้ำโซลาร์เซลล์ (24V, 280W) ขั้นตอนการทดลองได้ทำการสูบน้ำจากถังทดลองหนึ่ง (Tank1) ไปยังถังทดลองสอง (Tank2) และติดตั้งเซนเซอร์วัดระดับน้ำในถังทดลองที่หนึ่ง การตรวจสอบความผิดปกติในระบบได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกับเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิดนั้น คือ เซนเซอร์วัดระดับน้ำ เซนเซอร์วัดกระแสและเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า สำหรับเงื่อนไขความผิดปกติของระบบมอเตอร์ปั้มน้ำคือ ไม่มีน้ำเหลืออยู่ในถังทดลองหนึ่งและเซนเซอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าได้อยู่ระหว่าง 1A ถึง 4A หรือเซนเซอร์วัดค่าแรงดันมีค่าน้อยกว่า 10V ผลการทดลองได้แบ่งออกเป็น 3 กรณีดังนี้ 1) ผลการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าขณะที่ปั้มน้ำมีโหลดและไม่โหลด พบว่าเมื่อปั้มน้ำเริ่มสูบน้ำจะมีค่ากระแส 5A และมีกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 60W 2) ผลการสังเกตวงจรไฟฟ้าเมื่อระดับน้ำถึงค่าที่กำหนด พบว่าในขณะที่ปั้มน้ำทำการสูบน้ำค่ากระแสอยู่ที่ 5.04A ค่าความเร็วรอบมอเตอร์เฉลี่ยอยู่ที่ 205RPM และเมื่อระดับน้ำเริ่มลดลงต่ำกว่าตำแหน่งเซนเซอร์วัดระดับน้ำ ระบบสามารถตรวจจับของปั้มน้ำได้อย่างถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ 3) ผลการสังเกตวงจรไฟฟ้าผ่านสมาร์ตโฟน แสดงให้เห็นว่าสามารถควบคุมการทำงานของปั้มน้ำผ่านแอปพลิเคชัน RemoteXY ในสมาร์ตโฟนได้

คำสำคัญ: ปั้มน้ำโซลาร์เซลล์, ระบบตรวจสอบความผิดปกติ, เซนเซอร์วัดค่ากระแส, เซนเซอร์วัดค่าแรงดัน

ABSTRACT

The objective of this research is to design and build a system to detect abnormalities during the operation of photovoltaic water pumps (24V, 280W). The experimental procedure pumped water from one test tank (Tank 1) to a second test tank (Tank 2) and a water level sensor was installed in one test tank. Abnormality detection in the system utilized a microcontroller along with three types of sensors: a water

level sensor, current sensors, and voltage sensors. An abnormal condition for the water pump system was defined as no water left in one test tank and the current sensor reading between 1A and 4A or the voltage sensor reading less than 10V. The results of the experiment were divided into 3 cases as follows: 1) Current and voltage measurement results when the pump was loaded and unloaded. It was found that when the water pump started, there was a current value of 5A and a power of 60W. 2) The result of open circuit when the water level reached a certain value. It was found that while pumping water, the current value was 5.04A and the average motor speed was 205RPM. 3) The result of open circuit via the smartphone demonstrated that the water pump could be operated through the RemoteXY application on a smartphone.

Keywords: Photovoltaic Water Pump, Abnormality Monitoring System, Current Sensor, Voltage Sensor

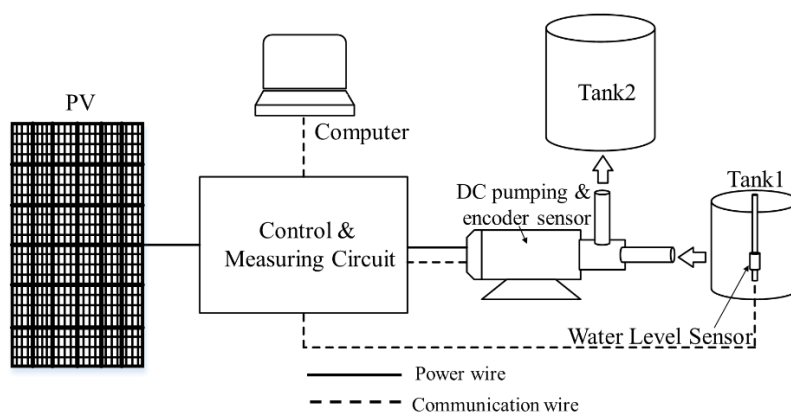
บทนำ

การประยุกต์ใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในภาคการเกษตรกำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย (Vieira et al., 2020) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าให้กับปั๊มน้ำในการเกษตรชุมชนหรือชนบทที่เป็นพื้นที่ห่างไกล อย่างไรก็ตามยังมีความกังวลในศักยภาพของการทำงานของระบบปั๊มน้ำโซลาร์เซลล์ที่มักจะทำงานผิดปกติและนำไปสู่ค่าบำรุงรักษาที่เพิ่มขึ้น (Et-taleby, Boussetta and Benslimane, 2020) การทำงานผิดปกติของระบบปั๊มน้ำโซลาร์เซลล์อาจเกิดจากปัจจัยหลายประการ รวมถึงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ความผิดปกติทางไฟฟ้าและความผิดปกติทางกล

เพื่อให้มั่นใจถึงประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบปั๊มน้ำโซลาร์เซลล์ สิ่งสำคัญคือต้องมีระบบเพื่อตรวจสอบความผิดปกติในการทำงาน (Ahmed et al., 2023) ระบบตรวจสอบสามารถรวบรวมข้อมูลจากเซนเซอร์หลากหลายชนิดเช่น เซนเซอร์แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า (ปิณฑิต และคณะ, 2562) ดังนั้นระบบตรวจสอบความผิดปกติที่ตรวจพบระหว่างการทำงานของปั๊มน้ำโซลาร์เซลล์จึงมีความจำเป็น งานวิจัยหลายบทความเสนอวิธีการที่แตกต่างกันสำหรับการตรวจจับความผิดปกติในระบบปั๊มน้ำโซลาร์เซลล์เช่น (De Benedetti et al., 2018) นำเสนอแนวทางการเรียนรู้โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เพื่อตรวจจับความผิดปกติในระบบโซลาร์เซลล์และสร้างการแจ้งเตือนการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ (Loureiro et al., 2016) ได้ใช้สี่ขั้นตอนในการตรวจจับและจำแนกเหตุการณ์ผิดปกติของข้อมูลการไหลจากระบบการจำหน่ายน้ำซึ่งสามารถนำไปใช้กับปั๊มน้ำโซลาร์เซลล์ (Harrou et al., 2021) เสนอวิธี Support Vector Regression (SVR) และ Gaussian Process Regression (GPR) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบโซลาร์เซลล์ (Taghezouit et al., 2020) ได้ออกแบบวิธีการตรวจสอบโดยใช้การวิเคราะห์ Principal Component Analysis (PCA) และรูปแบบการตรวจสอบหลายตัวแปรเพื่อตรวจจับความผิดปกติในระบบโซลาร์เซลล์ (Dupont et al., 2019) เสนอวิธีการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับโรงงานไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ที่เชื่อมต่อกับกริดนั่นคือการแรงและความเข้มแสง จะเห็นว่าวิธีที่กล่าวมาอาจจะมีประสิทธิภาพการตรวจสอบความผิดปกติที่มีสมรรถนะสูงแต่ก็ต้องมีอุปกรณ์ทำงาน (Hardware) สมรรถนะสูงด้วยเช่นกัน

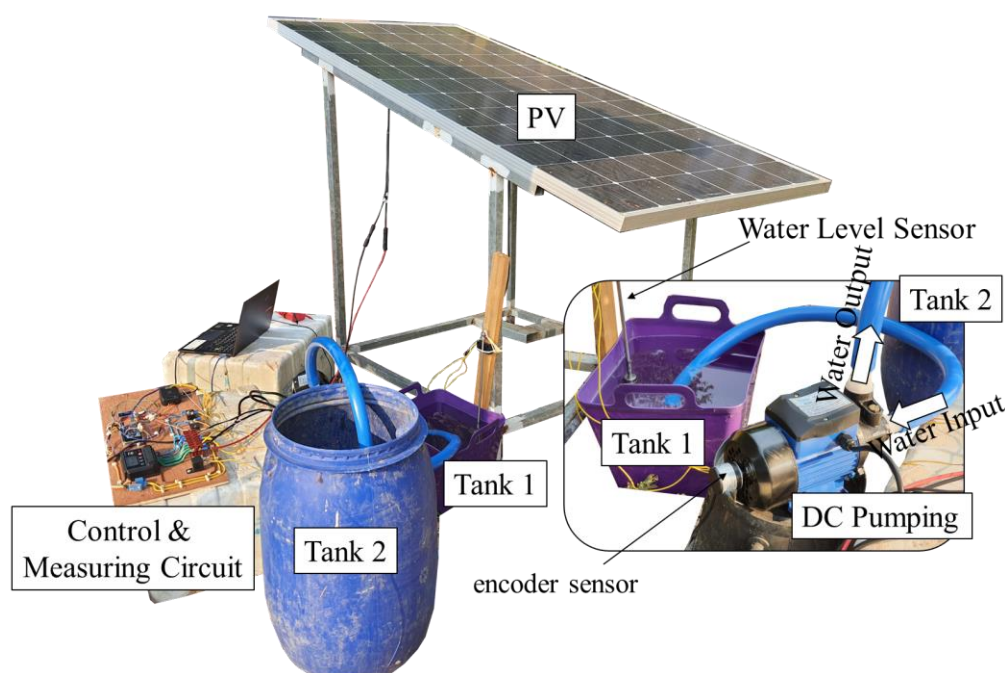
ความหมายของระบบตรวจสอบความผิดปกติระหว่างการทำงานของปั๊มน้ำโซลาร์เซลล์ของงานวิจัยนี้คือ ระบบที่มีความสามารถในการตัดหรือต่อวงจรของปั๊มน้ำจากแหล่งจ่ายพลังงาน (แผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่) เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ปั๊มน้ำและแหล่งจ่าย

งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบ สร้างและทดสอบระบบตรวจสอบความผิดปกติระหว่างการทำงานปั้มน้ำโซลาร์เซลล์ ระบบที่นำมาทดลองคือมอเตอร์ปั้มน้ำไฟฟ้ากระแสตรง 24V ขนาด 280W โดยมีแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 350W ต่อแบบออฟกริด (Off Grid) ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ผ่านอุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้า ระบบควบคุมใช้อุปกรณ์อย่างง่ายแต่มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี การทดลองได้ทำการสูบน้ำจากถังทดลองหนึ่ง (Tank1) ไปยังถังทดลองสอง (Tank2) โดยที่ถังทดลองหนึ่งมีเซนเซอร์วัดระดับน้ำติดตั้งอยู่ หากน้ำในถังทดลองที่หนึ่งแห้งและไม่มีการตัดวงจรมอเตอร์ จะทำให้มอเตอร์อยู่ในสภาวะไม่มีโหลด ความเร็วรอบสูง ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์ปั้มน้ำเกิดความเสียหายได้ จากนั้นได้สร้างเงื่อนไขการตรวจสอบความผิดปกติการทำงานปั้มน้ำโซลาร์เซลล์ไมโครคอนโทรลเลอร์และใช้เซนเซอร์ตรวจจับค่าระดับน้ำ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ประกอบการตรวจสอบระบบและบันทึกข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ แสดงการทำงานของระบบดังภาพที่ 1

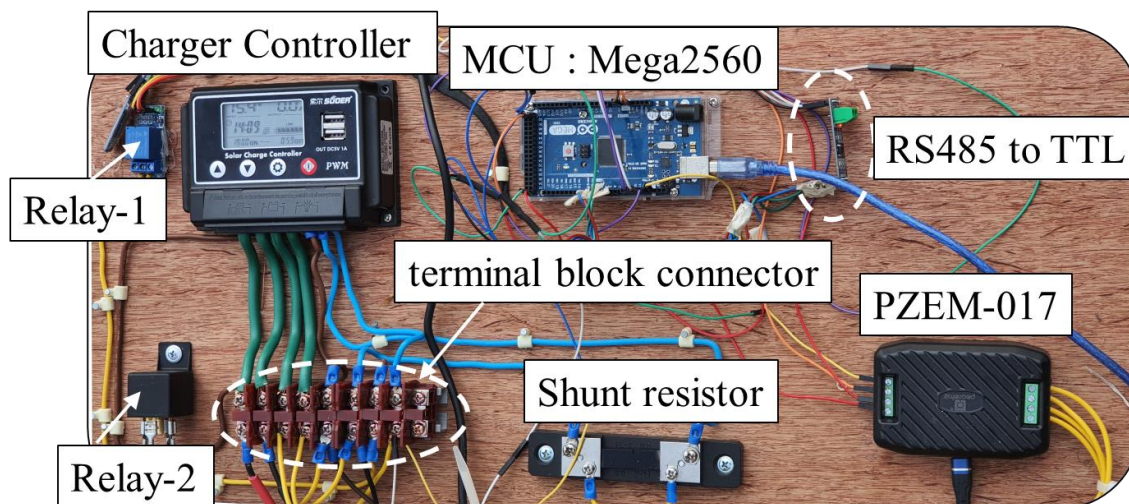


ภาพที่ 1 แผนภาพวงจรไฟฟ้าระบบตรวจสอบความผิดปกติระหว่างการทำงานปั้มน้ำโซลาร์เซลล์

1. ออกแบบและสร้างระบบปั้มน้ำโซลาร์เซลล์

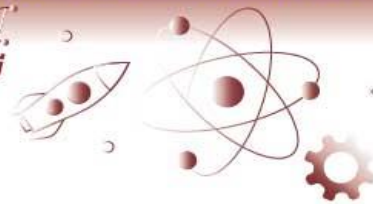


(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 (ก) ระบบการทำงานจริง (ข) วงจรวัดและควบคุมทางไฟฟ้า



1.1 การกำหนดขนาดของแผงโซลาร์เซลล์

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ปั๊มน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24V ขนาด 280W รุ่น LSWQB-24 ซึ่งเป็นปั๊มน้ำขนาดเล็กใช้งานง่าย อัตราการส่งขึ้นที่สูง 25 เมตร และมีระยะดูดน้ำลึก 5 เมตร แสดงดังภาพที่ 2 ก) (DC Pumping) ดังนั้นในการกำหนดขนาดของแผงโซลาร์เซลล์สามารถคำนวณได้ดังนี้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2566)

1.1.1 กำหนดความต้องการพลังงานที่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนประสิทธิภาพของระบบโซลาร์เซลล์ ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ชั่วโมงการทำงานของปั๊มน้ำเท่ากับชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด (Peak sun hour) อยู่ที่ 5 ชั่วโมงต่อวัน สามารถคำนวณได้ดังสมการ (1)

$$E_{need} = ((P_{load} \times hour \times day) / 1000) / \eta_{system} \quad (1)$$

เมื่อ E_{need} คือความต้องการพลังงานที่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ (kWh), P_{load} คือกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำ (Watt), η_{system} คือประสิทธิภาพของระบบโซลาร์เซลล์ซึ่งงานวิจัยนี้กำหนดให้มีค่า 70 เปอร์เซ็นต์ (สนธิยา, อัสนี และศักดิ์ทองค์, 2566) ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้

$$E_{need} = ((280 \times 5 \times 1) / 1000) / 0.7 = 2 \text{ kWh} / \text{day}$$

1.1.2 หากำลังไฟฟ้าและจำนวนของแผงโซลาร์เซลล์ที่ชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 5 ชั่วโมงต่อวัน

$$P_{PV} = (2 \text{ kWh}) / (5h) = 400 \text{ W}$$

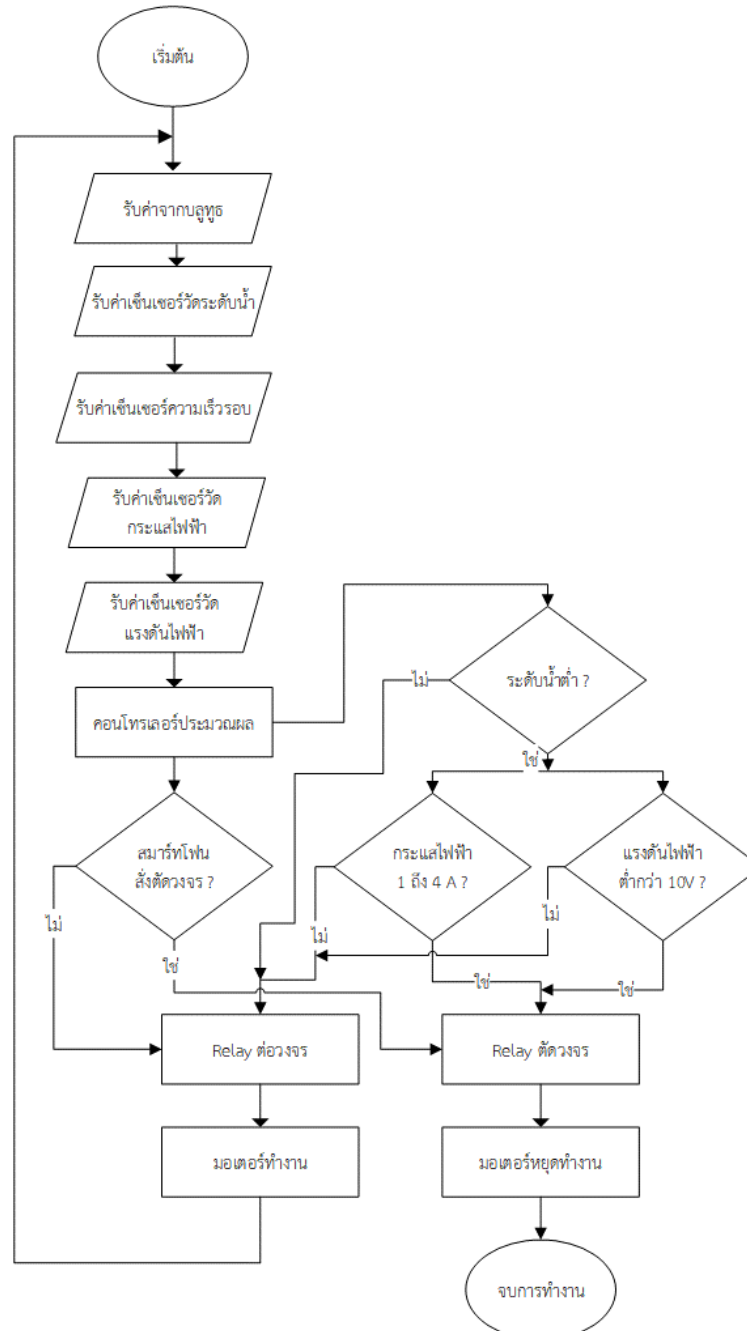
งานวิจัยนี้เลือกใช้แผงขนาด 350W แสดงดังภาพที่ 2 ก) (PV) จึงคำนวณหาจำนวนแผงโซลาร์เซลล์คือ $400W/350W = 1.14$ หรือประมาณ 1 แผง

1.2 ออกแบบระบบควบคุม

จากภาพที่ 2 ข) แสดงระบบตรวจสอบความผิดปกติระหว่างการทำงานปั๊มน้ำโซลาร์เซลล์ที่ได้สร้างขึ้นใหม่ ประกอบไปด้วย 1) อุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (Solar Charger) ในงานวิจัยนี้ใช้รุ่น Souer PWM 30A 12V/24V เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการประจุไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าสู่แบตเตอรี่และจัดการแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ปั๊มน้ำ 2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ งานวิจัยนี้เลือกใช้รุ่น Arduino Mega 2560 ที่ทำหน้าที่สั่งการ ควบคุม ทำงานตามคำสั่งที่ได้บันทึกไว้ รับค่าจากเซนเซอร์มาประมวลผล 3) เซนเซอร์วัดค่าไฟฟ้ากระแสตรงรุ่น PZEM - 17 สำหรับวัดค่ากระแสและแรงดันของปั๊มน้ำ ซึ่งเซนเซอร์รุ่น PZEM - 17 จะมี Shunt Resistor เป็นตัวต้านทานที่ยอมให้กระแสมอเตอร์ปั๊มน้ำที่มีค่าสูงไหลผ่าน และจะมีเพียงกระแสระดับมิลลิแอมป์เท่านั้นที่ใช้วัดค่ากระแสของ PZEM - 17 อีกทั้งยังวัดค่าแรงดันมอเตอร์ด้วย 4) เซนเซอร์วัดระดับน้ำ (Water Level Sensor) เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจระดับน้ำในถังทดลองหนึ่ง (Tank1) โดยจะส่งค่าลอจิก (Logic) 0 เมื่อระดับน้ำลดลงถึงตำแหน่งที่เซนเซอร์ติดตั้งอยู่ 5) เซนเซอร์วัดความเร็วรอบ (รูปที่ 2 ก) (encoder sensor)) ในงานวิจัยนี้ใช้โรตารีเอนโคเดอร์ (Rotary encoder) ความละเอียด 600 ลูกคลื่นต่อรอบการหมุน 6) โมดูลแปลงสัญญาณจาก RS485 ไปเป็นสัญญาณ TTL เพื่อสื่อสารระหว่างเซนเซอร์รุ่น

PZEM - 17 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ 7) รีเลย์ (Rely - 2) ขนาด 12VDC 30A เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ตัดต่อกระแสไฟฟ้าและช่วยป้องกันมอเตอร์ปั้มน้ำไม่ให้เกิดความเสียหาย ซึ่งรีเลย์ดังกล่าวจะถูกควบคุมด้วยรีเลย์ขนาด 5VDC (Relay - 1) 8) โมดูลบลูทูธ (Bluetooth) รุ่น HC-05 ใช้งานในการสื่อสารการรับส่งคำสั่งระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับสมาร์ทโฟนรุ่น HUAWEI ระบบปฏิบัติการแอนดรอย (Android) สำหรับแอปพลิเคชันที่ใช้งานในสมาร์ทโฟนคือ RemoteXY

2. วิธีติดตั้งการทดลองและขั้นตอนการทดลอง



ภาพที่ 3 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของระบบ

2.1 วิธีติดตั้งการทดลองแสดงดังภาพที่ 2 ก) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ระบบปั้มน้ำโซลาร์เซลล์จะถูกสูบน้ำในแนวระนาบกับพื้นจากถังทดลองหนึ่ง (Tank1) ไปยังถังทดลองสอง (Tank2) ด้วยปั้มน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.1.2 ในถังทดลองหนึ่งจะติดตั้งเซนเซอร์วัดระดับน้ำเพื่อตรวจสอบว่ามีน้ำอยู่หรือไม่ ซึ่งในการทดลองจะติดตั้งเซนเซอร์ในตำแหน่งครึ่งถังทดลองหนึ่งที่อยู่ในระดับเดียวกันกับปลายสายยางสูบน้ำ หากน้ำลดลงต่ำกว่าตำแหน่งเซนเซอร์จะกำหนดว่าระบบเกิดความผิดปกติ

2.1.3 เมื่อระบบเกิดความผิดปกติระบบตรวจสอบความผิดปกติระหว่างการทำงานปั้มน้ำโซลาร์เซลล์จะเริ่มทำงาน โดยมีขั้นตอนการทำงานแสดงดังภาพที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็นสมองกลของระบบและรับสัญญาณขาเข้า (Input) จากเซนเซอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า หากไม่มีน้ำเหลืออยู่และวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้อยู่ระหว่าง 1A ถึง 4A จะถือว่าปั้มน้ำไม่มีไหลและกำหนดว่าระบบเกิดความผิดปกติ ขณะเดียวกันก็ตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายด้วยว่ามีค่าน้อยกว่า 10V หรือไม่หากค่าแรงดันมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดจะถือว่าระบบเกิดความผิดปกติซึ่งแสดงเงื่อนไขดังตารางที่ 1 จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลเพื่อตัดสินใจในการสั่งตัดวงจรการทำงานปั้มน้ำ

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้จะใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 12V โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์และอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ให้เต็มเสียก่อนจึงนำมาใช้งาน ในส่วนของการทดลองได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กรณีดังนี้

2.2.1 การทดลองขณะที่ปั้มน้ำมีไหลและไม่ไหล ในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึงค่ากระแสและแรงดันของปั้มน้ำในขณะที่ไม่มีไหล (มอเตอร์ยังไม่ได้สูบน้ำ) และขณะมีไหล (มอเตอร์สูบน้ำ) จากนั้นทำการบันทึกผลค่ากระแสและแรงดันเพื่อนำข้อมูลมาพิจารณาหาค่ากำลังสูงสุด (P_{max}) ของปั้มน้ำที่การใช้งานในระดับแรงดันไฟฟ้า 12V แสดงดังสมการที่ (2) เมื่อ I_{sensor} , V_{sensor} คือค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเซนเซอร์

$$P_{max} = I_{sensor} \times V_{sensor} \quad (2)$$

2.2.2 การทดลองการสั่งตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อระดับน้ำถึงค่าที่กำหนด ในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบตรวจสอบความผิดปกติระหว่างการทำงานปั้มน้ำโซลาร์เซลล์ (η) ดังสมการที่ (3) โดยการให้มอเตอร์ปั้มน้ำสูบน้ำจากถังทดลองหนึ่งไปยังถังทดลองสอง จนกระทั่งระดับน้ำในถังทดลองหนึ่งลดต่ำกว่าระดับเซนเซอร์วัดระดับน้ำ จากนั้นทำการบันทึกผลค่ากระแสและแรงดันเพื่อนำข้อมูลมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ปั้มน้ำ (P_{out})

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{max}} \times 100 \quad (3)$$

2.2.3 การทดลองการสั่งตัดวงจรไฟฟ้าผ่านสมาร์ตโฟน ในหัวข้อนี้ได้ทดสอบการควบคุมการเปิดปิดการทำงานของปั้มน้ำโซลาร์เซลล์ผ่านสมาร์ตโฟนที่สื่อสารกันผ่านโมดูลบลูทูธไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อตัดหรือต่อวงจร จากนั้นทำการบันทึกผลค่ากระแสและแรงดันของปั้มน้ำ

ตารางที่ 1 เงื่อนไขสำหรับความผิดปกติของระบบมอเตอร์ปั้มน้ำไฟฟ้ากระแสตรง

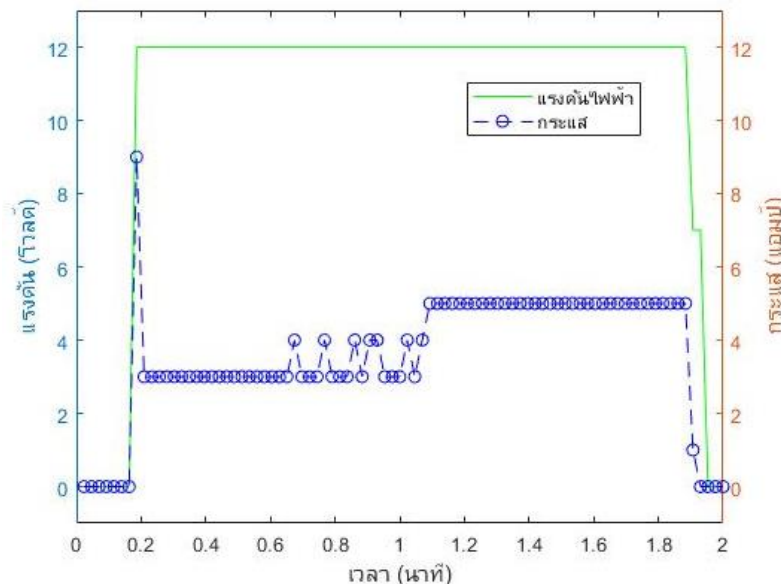
เซนเซอร์	ค่าที่กำหนด	สถานะ การตัดวงจร
เซนเซอร์วัดระดับน้ำ	Logic "0"	ตัดวงจร
เซนเซอร์วัดกระแสมอเตอร์	1 ถึง 4 Amp	ตัดวงจร
เซนเซอร์วัดแรงดันมอเตอร์	น้อยกว่า 10 Volte	ตัดวงจร

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

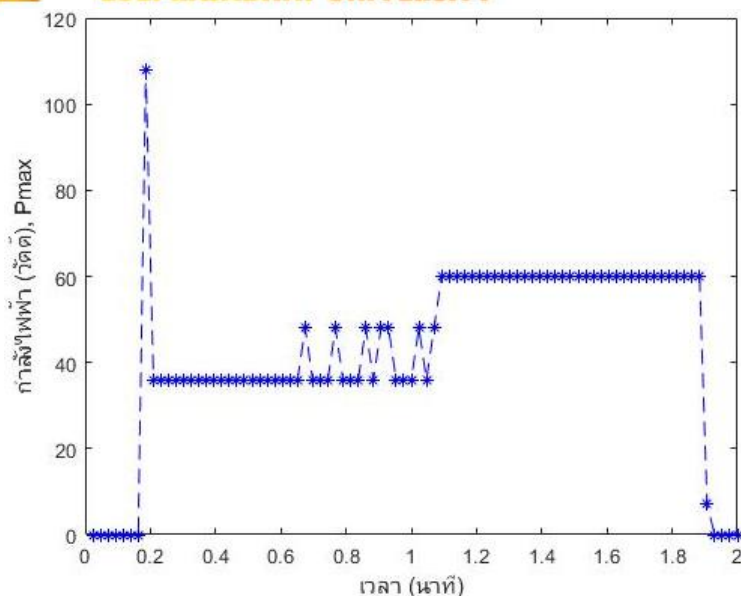
1. ผลการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าขณะที่ปั้มน้ำมีไหลและไม่ไหล

เนื่องจากในการทดลองใช้แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 12V จึงต้องทดสอบเพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของปั้มน้ำโซลาร์เซลล์จากภาพที่ 4 แสดงค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าของปั้มน้ำ นาที่ที่ 0 ถึง 0.16 มีค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์เนื่องจากยังไม่เปิดการทำงานของปั้มน้ำ จากนั้นเริ่มเปิดการทำงานของปั้มน้ำทำให้เกิดสภาวะการดึงกระแสสูงชั่วครู่ 9A ที่เวลา 0.18 นาที่ ในเวลาเดียวกันจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าเป็น 12 VDC และคงที่

ที่เวลา 0.2 ถึง 1.07 นาที่จะสังเกตว่าค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ย 3.18A ซึ่งเป็นค่ากระแสขณะปั้มน้ำยังไม่มีน้ำ (โดยทั่วไปเมื่อเริ่มใช้งานปั้มน้ำจะใช้เวลาชั่วครู่ในการสูบน้ำเข้าหัวสูบ) เมื่อถึงนาที่ที่ 1.09 ถึง 1.88 จะเห็นว่าค่ากระแสจะสูงขึ้นนั่นคือ 5A แสดงว่าช่วงเวลานี้ปั้มน้ำเริ่มมีไหล (เริ่มสูบน้ำ) ซึ่งช่วงเวลานี้มอเตอร์ปั้มน้ำมีกำลังอยู่ที่ 60W แสดงดังภาพที่ 5



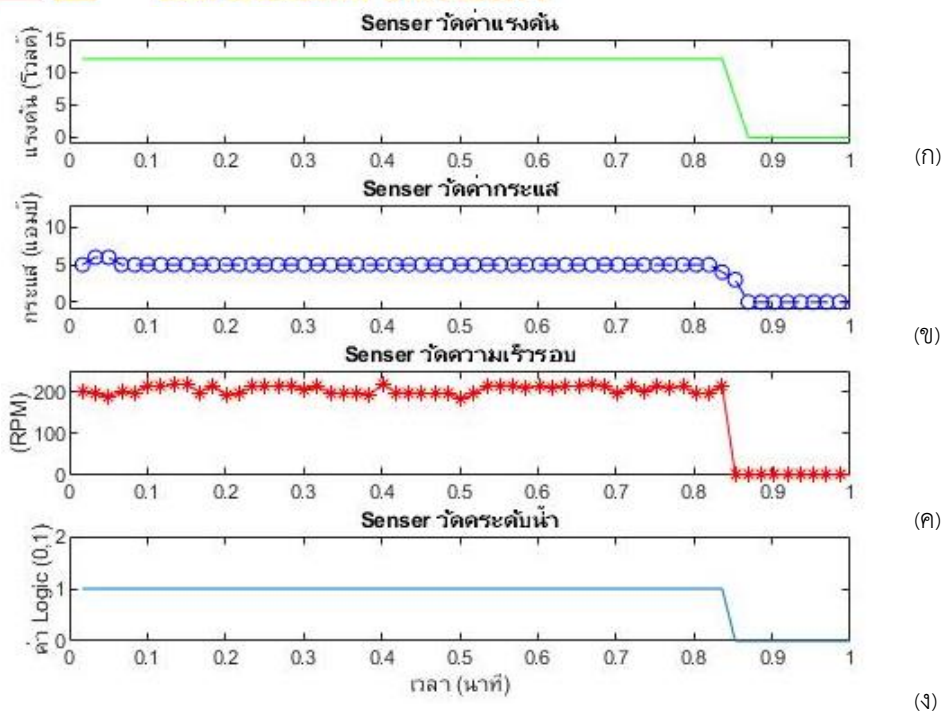
ภาพที่ 4 ค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าขณะที่ปั้มน้ำมีไหลและไม่ไหล



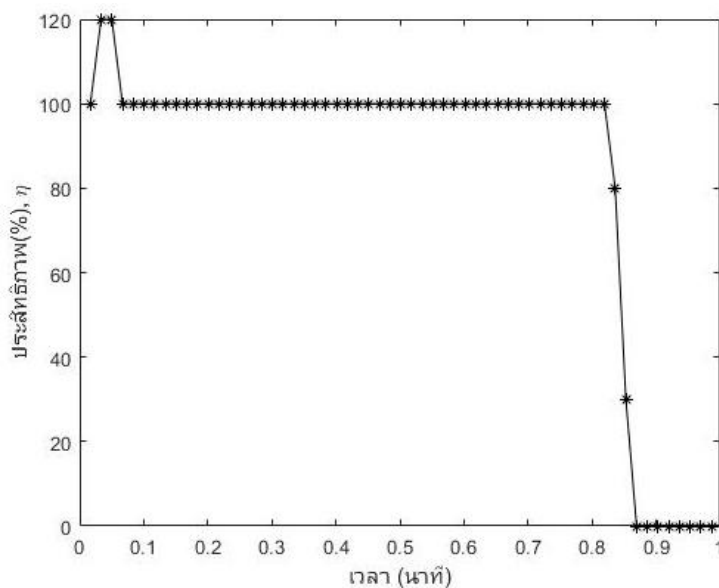
ภาพที่ 5 กำลังไฟฟ้าขณะที่ปั้มน้ำมีโหลดและไม่มีโหลด

2. ผลการสั่งตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อระดับน้ำถึงค่าที่กำหนด

ปั้มน้ำทำการสูบน้ำจากถังทดลองหนึ่งไปยังถังทดลองสองในช่วงเวลา 0 ถึง 0.85 นาทที่มีค่าแรงดันโหลดจะมีค่าเฉลี่ย 12V ค่ากระแสโหลดอยู่ที่ 5.04A ค่าความเร็วรอบมอเตอร์เฉลี่ยอยู่ที่ 205 RPM และเซนเซอร์วัดระดับน้ำยังคงอยู่ส่งค่า 1 เนื่องจากระดับน้ำในถังทดลองหนึ่งมีค่าสูงกว่าตำแหน่งเซนเซอร์วัดระดับน้ำแสดงดังภาพที่ 6 หลังจากเวลา 0.85 นาทที่ระดับน้ำเริ่มลดลงจนถึงตำแหน่งเซนเซอร์ทำให้เซนเซอร์ส่งค่า 0 ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้ระบบทำการตัดวงจรของปั้มน้ำ จึงทำให้ค่ากระแสแรงดัน ความเร็วรอบมอเตอร์มีค่าเป็นศูนย์ จะเห็นได้ว่าระบบทำงานได้เต็มประสิทธิภาพตามเงื่อนไขการตรวจสอบความผิดปกติระหว่างการทำงานปั้มน้ำโซลาร์เซลล์แสดงการหาค่าประสิทธิภาพดังภาพที่ 7



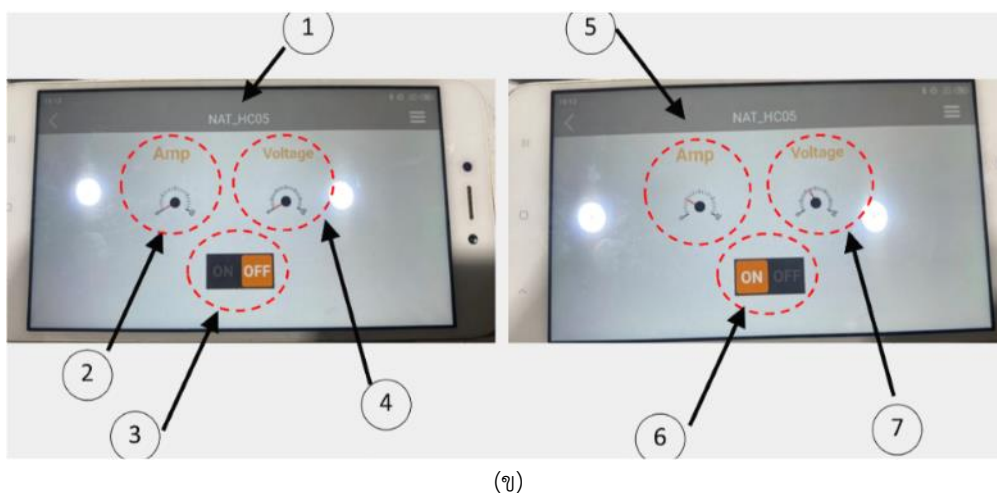
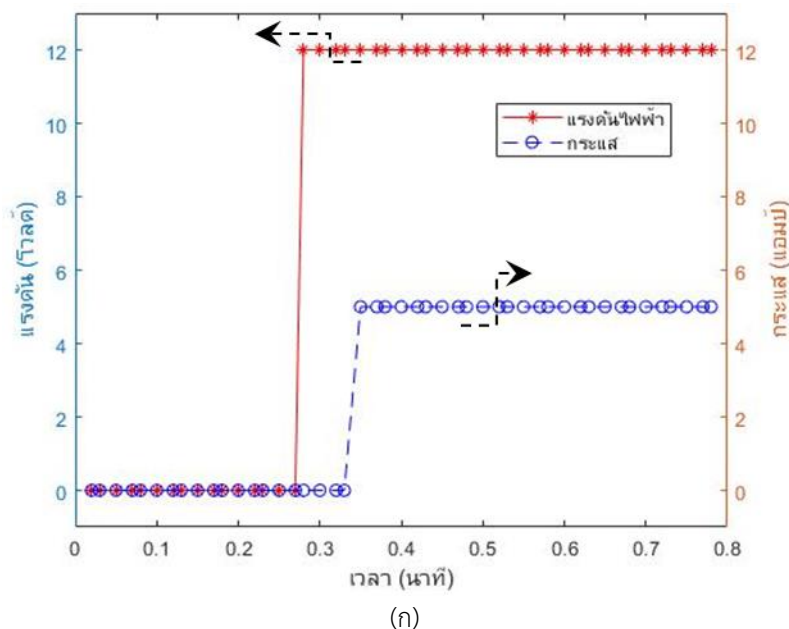
ภาพที่ 6 ค่ากระแสและแรงดันจากการตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าค่าที่กำหนด



ภาพที่ 7 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

3. ผลการสั่งตัดวงจรไฟฟ้าผ่านสมาร์ตโฟน

ค่ากระแสและแรงดันของโหลดปั้มน้ำจะถูกส่งมาแสดงยังสมาร์ตโฟนดังภาพที่ 8 ข) นั่นคือเมื่อเปิดการสื่อสารโมดูลบลูทูธให้เชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับสมาร์ตโฟน ในชื่อ “NAT_HC05” ดังหมายเลข 1 และจะสังเกตได้ว่าบนหน้าจอสมาร์ตโฟนมีปุ่มเปิดและปิดการทำงานปั้มน้ำนั่นคือสวิตซ์ “ON-OFF” (หมายเลข 3) ซึ่งอยู่ในสถานะปิดการใช้งานของปั้มน้ำ ทำให้ค่ากระแสและแรงดันมีค่าเป็นศูนย์ดังหมายเลข 2 และ 4 หรือสังเกตได้จากภาพที่ 8 ก) ที่เวลา 0 ถึง 0.28 นาที่ จากนั้นทำการเปิดการใช้งานของปั้มน้ำโดยการกดปุ่มสวิตซ์ไปที่ “ON” ทำให้มีค่ากระแสและแรงดันปรากฏขึ้นบนหน้าจอสมาร์ตโฟนดังหมายเลข 5 และหมายเลข 7 หรือสังเกตได้จากภาพที่ 8 ก) นาที่ที่ 0.35 เป็นต้นไป



ภาพที่ 8 การสั่งตัดวงจรไฟฟ้าผ่านสมาร์ตโฟน

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างระบบตรวจสอบความผิดปกติระหว่างการทำงานของปั้มน้ำโซลาร์เซลล์ขนาด 24V 350W โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 350W ร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่เพื่อประจุแบตเตอรี่ 12V และใช้แบตเตอรี่ดังกล่าวเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับปั้มน้ำโซลาร์เซลล์ สำหรับขั้นตอนการทดลองระบบปั้มน้ำโซลาร์เซลล์จะสูบน้ำจากถังทดลองหนึ่งไปยังถังทดลองสอง ซึ่งในถังทดลองหนึ่งจะติดตั้งเซนเซอร์วัดระดับน้ำ ระบบตรวจสอบความผิดปกติระหว่างการทำงานของปั้มน้ำโซลาร์เซลล์จะเริ่มทำงานเมื่อไม่มีน้ำเหลืออยู่และวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้อยู่ระหว่าง 1A ถึง 4A หรือตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายว่ามีค่าน้อยกว่า 10V ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 กรณีได้แก่ 1) ผลการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าขณะที่ปั้มน้ำมีไหลและไม่ไหล ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 3.18A แสดงว่าปั้มน้ำยังไม่มีน้ำเนื่องจากปั้มน้ำจะใช้เวลาชั่วครู่ในการสูบน้ำเข้าหัวสูบ ค่ากระแส 5A แสดงว่าช่วงเวลานี้ปั้มน้ำเริ่มสูบน้ำและมอเตอร์ปั้มน้ำมีกำลังอยู่ที่ 60W 2) ผลการสังเกตวงจรไฟฟ้าเมื่อระดับน้ำถึงค่าที่กำหนดในขณะที่ปั้มน้ำทำการสูบน้ำจะมีค่าแรงดันเฉลี่ย 12V ค่ากระแสไหลอยู่ที่ 5.04A ค่าความเร็วรอบมอเตอร์เฉลี่ยอยู่ที่ 205 RPM และเซนเซอร์วัดระดับน้ำจะส่งค่า 1 เมื่อระดับน้ำเริ่มลดลงต่ำกว่าตำแหน่งเซนเซอร์จะทำให้เซนเซอร์วัดระดับน้ำส่งค่า 0 ระบบจะทำการตัดวงจรของปั้มน้ำซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขการตรวจสอบความผิดปกติระหว่างการทำงานของปั้มน้ำโซลาร์เซลล์ 3) ผลการสังเกตวงจรไฟฟ้าผ่านสมาร์ตโฟน แสดงให้เห็นว่าสามารถควบคุมการทำงานของปั้มน้ำผ่านสมาร์ตโฟนได้อย่างถูกต้อง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือทำงานวิจัยด้วยดีเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2566). **คู่มือการผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ เพื่อถ่ายทอดและเผยแพร่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์**. ค้นจาก <https://webkc.dede.go.th/testmax/node/4535>.
- ปิณฑิตต์ ตรีวงศ์, ชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล, จิรศักดิ์ ส่งบุญแก้ว, และเฉลิมชาติ มานพ. (2562). ระบบการเฝ้าตรวจสอบสถานะมอเตอร์ไฟฟ้าระยะไกลที่มีต้นทุนต่ำโดยใช้อาร์ดูโน. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 29(4), 585-596. doi: 10.14416/j.kmutnb.2019.10.004
- สนธยา เกษสมบัติ, อัสนี อำนวย, และศักดิ์ทอง วงศ์เจริญ. (2566). การวิเคราะห์รูปแบบระบบสูบน้ำเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์*, 8(1), 97-111. doi: <https://doi.org/10.14456/journalindus.2023.8>
- Ahmed, Q. I., Attar, H., Amer, A., Deif, M. A., and Solyman, A. A. (2023). Development of a Hybrid Support Vector Machine with Grey Wolf Optimization Algorithm for Detection of the Solar Power Plants Anomalies. *Systems*, 11(5), 237. doi: <https://doi.org/10.3390/systems11050237>

- De Benedetti, M., Leonardi, F., Messina, F., Santoro, C., and Vasilakos, A. (2018). Anomaly detection and predictive maintenance for photovoltaic systems. **Neurocomputing**, 310, 59-68.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.05.017>
- Dupont, I. M., Carvalho, P. C., Jucá, S. C., and Neto, J. S. (2019). Novel methodology for detecting non-ideal operating conditions for grid-connected photovoltaic plants using Internet of Things architecture. **Energy Conversion and Management**, 200, 112078. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112078>
- Et-taleby, A., Boussetta, M., and Benslimane, M. (2020). Faults detection for photovoltaic field based on k-means, elbow, and average silhouette techniques through the segmentation of a thermal image. **International Journal of Photoenergy**, 2020, 1-7. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/6617597>
- Harrou, F., Saidi, A., Sun, Y., and Khadraoui, S. (2021). Monitoring of photovoltaic systems using improved kernel-based learning schemes. **IEEE Journal of Photovoltaics**, 11(3), 806-818.
doi: 10.1109/JPHOTOV.2021.3057169
- Loureiro, D., Amado, C., Martins, A., Vitorino, D., Mamade, A., and Coelho, S. T. (2016). Water distribution systems flow monitoring and anomalous event detection: A practical approach. **Urban Water Journal**, 13(3), 242-252. doi: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.988733>
- Taghezouit, B., Harrou, F., Sun, Y., Arab, A. H., and Larbes, C. (2020). Multivariate statistical monitoring of photovoltaic plant operation. **Energy Conversion and Management**, 205, 112-317.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112317>
- Vieira, R. G., Dhimish, M., De Araújo, F. M., and Guerra, M. I. (2020). PV module fault detection using combined artificial neural network and sugeno fuzzy logic. **Electronics**, 9(12), 21-50.
doi: <https://doi.org/10.3390/electronics9122150>

แบบเสนอเพื่อขอลงตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

ชื่อเรื่อง ภาษาไทย.....

Title English.....

ชื่อ-สกุล ผู้นิพนธ์หลัก ภาษาไทย.....

English.....

ที่อยู่ ภาษาไทย.....

Address English.....

รหัสไปรษณีย์..... โทรศัพท์..... โทรสาร.....

E-mail.....

ชื่อ-สกุล ผู้นิพนธ์ร่วม

1.

2.

3.

ประเภท ☐ บทความวิจัย (Research Articles)

สาขา ☐ วิทยาศาสตร์กายภาพ

สาขา ☐ เทคโนโลยี

สาขา ☐ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ

สาขา ☐ วิศวกรรมศาสตร์

สาขา ☐ วิทยาศาสตร์สุขภาพ

สาขา ☐ อื่นๆ ในศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

ประเภท ☐ บทความวิชาการ (Review Articles)

คำยืนยันของผู้นิพนธ์ทุกท่าน

ข้าพเจ้าขอยืนยันว่าบทความนี้ไม่เคยเสนอหรือกำลังเสนอตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และยินดีให้กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย เลือกสรรหาผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อพิจารณาต้นฉบับของข้าพเจ้าโดยอิสระและยินยอมให้กองบรรณาธิการฯ สามารถตรวจสอบแก้ไขต้นฉบับดังกล่าวได้ตามสมควร และยินยอมให้บทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

ลงชื่อ.....

วันที่...../...../.....

