

JOURNAL OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND

**ENGINEERING**

PIBULSONGKRAM RAJABHAT UNIVERSITY



วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม  
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ปีที่ 5 ฉบับที่ 1

มกราคม - เมษายน

2566



ISSN 2697-5602(Print)

ISSN 2697-5629 (Online)



## ข้อกำหนดมาตรฐาน วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เพื่อให้วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารที่มีคุณภาพได้มาตรฐานทางกองบรรณาธิการจึงมีข้อกำหนดของวารสารดังต่อไปนี้

### 1. วัตถุประสงค์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารที่มีวัตถุประสงค์เพื่อ ตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ และบทความปริทรรศน์ที่มีคุณภาพโดยผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในสาขา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์ สหวิทยาการ วิทยาศาสตร์ นวัตกรรมและการออกแบบ รวมถึงงานวิจัยที่มีการบูรณาการศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในสาขาที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตามบทความที่ส่งเข้ามาเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารฯ จะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยเผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และจะต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่นๆ การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นการรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง

### 2. ครอบคลุมสาขาที่เกี่ยวข้อง

2.1 สาขาวิชาเทคโนโลยี เน้น เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนวัตกรรม ได้แก่ เทคโนโลยีไฟฟ้า เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีพลังงาน / พลังงานทดแทน เทคโนโลยีก่อสร้าง / โยธา เทคโนโลยีการผลิต มาตรฐานวิทยา วิศวกรรมซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีเซรามิก การบริหารจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

2.2 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์

2.3 สาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรม

### 3. การพิจารณาบทความ (Peer Review Process)

บทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารฯ จะต้องผ่านการพิจารณาให้ความเห็น ทบทวน และตรวจสอบวิพากษ์ วิจารณ์ ความถูกต้อง เหมาะสมทางวิชาการ จากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวนอย่างน้อย 3 ท่าน ต่อบทความในรูปแบบพิชยพิจารณา (Peer-Reviewed) ก่อนลงตีพิมพ์ และเป็นการประเมินแบบการปกปิดสองทาง (Double blinded)



### ขั้นตอนการประเมินบทความมีกระบวนการดังต่อไปนี้

1. ผู้เขียนส่งไฟล์บทความไปยังระบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ของวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
2. กองบรรณาธิการดำเนินการแจ้งให้ผู้เขียนทราบ เมื่อกองบรรณาธิการได้รับไฟล์บทความเรียบร้อยแล้ว
3. กองบรรณาธิการดำเนินการตรวจสอบหัวข้อ บทคัดย่อ และเนื้อหาของบทความ รูปแบบการจัดพิมพ์บทความ ประเด็นทางจริยธรรม ตรวจสอบการคัดลอกบทความ (Plagiarism Checker) และความเหมาะสมและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของวารสาร รวมถึงประโยชน์ในเชิงทฤษฎี และเชิงปฏิบัติ ในเบื้องต้น
4. ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นควรรับไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการจัดส่งบทความเพื่อทำการกลั่นกรองต่อไปโดย ส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง เพื่อตรวจสอบคุณภาพของบทความ ว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่จะลงตีพิมพ์หรือไม่ กระบวนการพิจารณากลั่นกรองนี้เป็นการประเมินแบบปกปิดสองทาง (Double blind review) กล่าวคือ จะไม่เปิดเผยชื่อผู้ส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิทราบ และจะไม่เปิดเผยชื่อผู้ทรงคุณวุฒิให้ผู้เขียนทราบ และกองบรรณาธิการจะไม่เปิดเผยทั้งชื่อผู้เขียนและชื่อผู้ทรงคุณวุฒิให้บุคคลอื่น ทราบด้วยเช่นกัน
5. เมื่อบทความได้รับการทบทวน ประเมิน วิจัยแล้ว จากผู้ทรงคุณวุฒิ และมีความเห็นอย่างไร กองบรรณาธิการจะ ดำเนินการดังต่อไปนี้

- กรณีมีความเห็นให้ ผู้เขียนแก้ไขบทความ (Revision Require) กองบรรณาธิการ จะจัดส่งผลการประเมิน รวมถึงคำแนะนำจากบรรณาธิการให้ผู้เขียน แก้ไขบทความ และเมื่อแก้ไขเสร็จแล้วให้ ส่งกลับคืนมายังบรรณาธิการ และพิจารณาใหม่อีกครั้งโดยอาจส่งให้ ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบผลการแก้ไข หรือ บรรณาธิการตรวจสอบ ด้วยตนเอง ซึ่งหากต้องมีการแก้ไขในรอบที่ สอง (round 2) ก็จะทำเนินการส่งกลับไปยังผู้เขียนให้แก้ไข และตรวจสอบผลการแก้ไข จนกว่าจะมีเนื้อหาบทความสมบูรณ์

- กรณีมีความเห็นให้ ปฏิเสธการรับตีพิมพ์ (Decline Submission) กองบรรณาธิการ จะส่งจดหมายแจ้งผลดังกล่าวให้ผู้เขียนรับทราบ พร้อมทั้งเหตุผลของการปฏิเสธการรับ

- กรณีมีความเห็นให้ ตอรับการตีพิมพ์ (Accept Submission) กองบรรณาธิการ จะแจ้งผู้เขียนให้ทราบ และดำเนินการส่งไฟล์บทความเข้าสู่ขั้นตอนการปรับแก้ไขต้นฉบับ การพิสูจน์อักษร และการจัดรูปแบบเอกสารตามเทมเพลตบทความของวารสาร ก่อนนำไปเผยแพร่ โดยฝ่ายจัดการวารสาร

ทั้งนี้ กิจกรรมการพิจารณาบทความทั้งหมด ต้องดำเนินการผ่านทางระบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ของวารสาร ภายในระบบเว็บไซต์ Thai Journal Online (ThaiJO) URL: <https://www.tci-thaijo.org> ซึ่งรับผิดชอบดูแลระบบโดยศูนย์ TCI และ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (National Electronics and Computer Technology Center; NECTEC) เพื่อให้การทำงานเป็นระบบวารสารของวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเป็นไปตามมาตรฐานสากล

#### 4. กำหนดออกเล่มวารสาร

กำหนดออกวารสาร: ปีละ 3 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – เมษายน ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม และ ฉบับที่ 3 ระหว่างเดือน กันยายน-ธันวาคม

#### 5. คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์

5.1 วิธีส่งบทความ เจ้าของบทความสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม และส่งต้นฉบับบทความ ในรูปแบบไฟล์ word และรูปแบบไฟล์ PDF ได้ที่ระบบออนไลน์ของวารสารวิชาการ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/psru-jite>

5.2 รูปแบบบทความที่ส่งกองบรรณาธิการเพื่อตีพิมพ์

#### 6. จริยธรรมในการตีพิมพ์ผลงาน

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารที่มีวัตถุประสงค์เพื่อ ตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ และบทความปริทรรศน์ที่มีคุณภาพโดยผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อนำเสนอแนวคิด นวัตกรรม และผลงานวิจัยใหม่ทางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์สาขาต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ โลจิสติกส์ ไฟฟ้ากำลัง เครื่องกล โยธา อิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรม การผลิต การจัดการและโลจิสติกส์ เป็นต้น วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นวัตกรรมเซรามิกส์ ออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และครุศาสตร์อุตสาหกรรม อีกทั้งยังรวมถึงงานวิจัยที่มีการบูรณาการศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในสาขาอื่นๆ มี 3 กลุ่ม คือ ผู้นิพนธ์ (Author) บรรณาธิการ (Editor) และผู้ประเมินบทความ (Reviewer) ซึ่งได้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในบทบาทและหน้าที่อย่างเคร่งครัด โดยมีรายละเอียดดังนี้

## 7. บทบาทและหน้าที่ของผู้นิพนธ์ (Duties of Authors)

1. ผู้นิพนธ์ต้องได้รับความเห็นชอบในการส่งบทความจากผู้ร่วมนิพนธ์ (ถ้ามี)
2. ผู้นิพนธ์ต้องรับผิดชอบเกี่ยวกับลิขสิทธิ์ของต้นฉบับในทุกกรณี
3. ผู้นิพนธ์ที่มีชื่อปรากฏในบทความทุกคน ต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการดำเนินการวิจัยจริง
4. ผู้นิพนธ์ ต้องรับรองว่าผลงานที่ส่งมานั้นเป็นผลงานใหม่ และไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน
5. ผู้นิพนธ์ต้องรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัย ไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ
6. ผู้นิพนธ์ต้องตรวจสอบจนมั่นใจว่ารายละเอียดทุกส่วนในบทความวิจัยที่จะตีพิมพ์ในวารสาร ถูกต้องและต้องเป็นไปตามหลักจริยธรรมสากลที่ได้รับการยอมรับ
7. ผู้นิพนธ์ต้องยอมรับคำวิจารณ์ และสามารถชี้แจงตอบกลับได้โดยมีข้อมูลสนับสนุนการวิจัยอย่างครบถ้วนสมบูรณ์
8. ผู้นิพนธ์ต้องอ้างอิงผลงานวิจัยของผู้อื่น หากมีการนำผลงานเหล่านั้นมาใช้ในผลงานของตัวเองจะต้องจัดทำรายการอ้างอิงท้ายบทความตามรูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงใน “การเตรียมบทความ”
9. ผู้นิพนธ์ต้องเขียนบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดใน “การเตรียมบทความ”

## 8. บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการวารสาร (Duties of Editors)

1. บรรณาธิการวารสารมีหน้าที่พิจารณาคุณภาพของบทความ เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร
2. บรรณาธิการวารสารต้องดำเนินการทุกอย่างเพื่อให้มั่นใจในคุณภาพของบทความที่ตีพิมพ์ เพื่อรับรองคุณภาพของงานวิจัยที่ตีพิมพ์ และตระหนักว่าวารสารมีวัตถุประสงค์และมาตรฐานที่ชัดเจน
3. บรรณาธิการวารสารต้องชี้แจง หรือให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการตรวจสอบประเมินบทความ (Peer review) อีกทั้งมีความพร้อมในการชี้แจงความเบี่ยงเบนต่าง ๆ จากกระบวนการตรวจสอบ
4. บรรณาธิการวารสารต้องดำเนินการเกี่ยวกับวารสารให้ได้ตามกำหนดการตีพิมพ์วารสารที่ระบุไว้
5. บรรณาธิการวารสารต้องตัดสินใจในการยอมรับหรือปฏิเสธบทความวิจัยเพื่อการตีพิมพ์
6. บรรณาธิการวารสารต้องมีช่องทางให้ผู้นิพนธ์อุทธรณ์ได้หากผู้นิพนธ์มีความคิดเห็นแตกต่างจากการตัดสินใจของบรรณาธิการ
7. บรรณาธิการวารสารต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้นิพนธ์ และผู้ประเมินบทความแก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ



8. บรรณาธิการวารสารต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความเพราะความสงสัยหรือไม่แน่ใจ โดยจะต้องหาหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยนั้น ๆ ก่อน
9. บรรณาธิการวารสารต้องไม่เปลี่ยนแปลงการตัดสินใจในการตอบรับบทความที่ได้ปฏิเสธการตีพิมพ์ไปแล้ว
10. บรรณาธิการวารสารต้องพิจารณาตรวจสอบบทความในด้านการคัดลอกผลงานผู้อื่น
11. กรณีที่มีการปรับเปลี่ยนบรรณาธิการวารสาร ผู้ที่เข้ามารับตำแหน่งใหม่ต้องไม่กลับคำตัดสินใจเกี่ยวกับบทความที่บรรณาธิการวารสารคนก่อนตอบปฏิเสธไปแล้ว ยกเว้นมีการพิสูจน์ได้อย่างเหมาะสมและชัดเจน
12. หากบรรณาธิการวารสารตรวจพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่นในกระบวนการประเมินบทความ บรรณาธิการวารสารต้องหยุดกระบวนการประเมิน และติดต่อผู้นิพนธ์หลักทันทีเพื่อขอคำชี้แจง เพื่อประกอบการ ตอบรับ หรือ ปฏิเสธ การตีพิมพ์บทความนั้น ๆ
13. บรรณาธิการวารสารต้องไม่ตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์ที่อื่นมาแล้ว
14. บรรณาธิการวารสารต้องมีระบบในการจัดการที่ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์และผู้ประเมินบทความรวมทั้งกองบรรณาธิการ
15. บรรณาธิการวารสารต้องสนับสนุนเสรีภาพในการแสดงความคิดเห็น และคงไว้ซึ่งความถูกต้องของผลงานทางวิชาการ อีกทั้งปกป้องมาตรฐานของทรัพย์สินทางปัญญา

#### 9. บทบาทและหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ (Duties of Reviewers)

1. ผู้ประเมินบทความต้องได้รับระบบปกป้องข้อมูลส่วนตัวของผู้ประเมินบทความ ยกเว้นกรณีที่มีการประเมินบทความแบบเปิด ซึ่งได้แจ้งให้ผู้นิพนธ์และผู้ประเมินบทความรับทราบล่วงหน้า
2. ผู้ประเมินบทความต้องได้รับระบบที่ทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่าบทความที่ส่งเข้ามาทำการประเมิน ได้รับการปกปิดความลับในระหว่างขั้นตอนการพิจารณาประเมิน
3. ผู้ประเมินบทความ ต้องรักษาความลับและไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความที่ส่งมาเพื่อพิจารณาแก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ
4. หลังจากได้รับบทความจากบรรณาธิการวารสาร และผู้ประเมินบทความตระหนักว่าตัวเองอาจมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ เช่น เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือรู้จักผู้นิพนธ์เป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่ทำให้ไม่สามารถให้ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะอย่างอิสระได้ ผู้ประเมินบทความควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ
5. ผู้ประเมินบทความต้องรับทราบคำแนะนำในทุกประเด็นที่บรรณาธิการวารสารคาดหวัง และต้องรับทราบการปรับปรุงคำแนะนำที่ทันสมัยอยู่เสมอ ซึ่งสามารถอ้างอิง หรือเชื่อมโยงกับระเบียบดังกล่าว



6. ผู้ประเมินบทความ ควรประเมินบทความในสาขาวิชาที่ตนมีความเชี่ยวชาญ โดยพิจารณาความสำคัญของเนื้อหาในบทความที่จะมีต่อสาขาวิชานั้น ๆ คุณภาพของการวิเคราะห์ และความเข้มข้นของผลงาน
7. ผู้ประเมินบทความไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลรองรับมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินบทความวิจัย
8. หากผู้ประเมินบทความทราบว่ามีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือน หรือซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่น ๆ ผู้ประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบด้วย

## 10. ลิขสิทธิ์และสิทธิ (Copyright and Right)

- วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารในรูปแบบเปิด (Open Access) ผู้ใช้ทั่วไปหรือระบบสารสนเทศของหน่วยงาน ฐานข้อมูลอัตโนมัติ ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ สามารถเข้าถึง ดาวน์โหลด เอกสารไฟล์บทความบนเว็บไซต์วารสาร โดยไม่มีค่าใช้จ่ายแต่อย่างใด

- ข้อความภายในบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ทั้งหมด รวมถึงรูปภาพประกอบ ตาราง เป็นลิขสิทธิ์ของวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม การนำเนื้อหา ข้อความหรือข้อคิดเห็น รูปภาพ ตาราง ของบทความไปจัดพิมพ์เผยแพร่ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ ต้องได้รับอนุญาตจากกองบรรณาธิการวารสารอย่างเป็นทางการเป็นลายลักษณ์อักษร

- มหาวิทยาลัยฯ อนุญาตให้สามารถนำไฟล์บทความไปใช้ประโยชน์และเผยแพร่ต่อได้ โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไข สัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอน (Creative Commons License: CC) โดย ต้องแสดงที่มาจากวารสาร - ไม่ใช่เพื่อการค้า - ห้ามแก้ไขดัดแปลง, Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

- ข้อความที่ปรากฏในบทความในวารสารเป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียนแต่ละท่านไม่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัย และบุคลากร คณาจารย์ท่านอื่น ๆ ในมหาวิทยาลัยฯแต่อย่างใด ความรับผิดชอบองค์ประกอบทั้งหมดของบทความแต่ละเรื่องเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน หากมีความผิดพลาดใด ๆ ผู้เขียนแต่ละท่านจะรับผิดชอบบทความของตนเอง ตลอดจนความรับผิดชอบด้านเนื้อหาและการตรวจร่างบทความเป็นของผู้เขียน ไม่เกี่ยวข้องกับกองบรรณาธิการ



## 11. นโยบายจริยธรรมการทดลอง (Research Integrity Policy) ในงานวิจัย

บทความจากงานวิจัยที่ส่งเข้ามารับการตีพิมพ์และเกี่ยวข้องกับการทำวิจัยในมนุษย์ ต้องได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนจากสถาบันที่ผ่านการรับรองจากสำนักงานมาตรฐานการวิจัยในคน สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ และเป็นไปตามมาตรฐานจริยธรรมและกฎหมายสากล สำหรับการทดลองในสัตว์ทดลองต้องผ่านการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ เช่นกัน และอยู่ภายใต้หลักพระราชบัญญัติสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2558

นอกจากนี้วารสารคาดหวังให้ผู้เขียนเคารพสิทธิความเป็นส่วนตัว (privacy) ของผู้เข้าร่วมการวิจัย และได้รับความยินยอมที่จะนำข้อมูลมาเผยแพร่ก่อนที่จะส่งบทความมายังวารสาร สำหรับข้อมูลและเอกสารต่าง ๆ ผู้เขียนจะต้องส่งหลักฐาน แนบมาพร้อมกับบทความ หรือส่งมาภายหลังเมื่อบทความได้รับการรับพิจารณาตีพิมพ์และกองบรรณาธิการร้องขอไป โดยจัดส่งเป็นไฟล์หลักฐานผ่านระบบวารสารออนไลน์

## 12. นโยบายการจัดการผลประโยชน์ทับซ้อน (Conflict of Interest/Competing Interest Policy)

วารสารมีนโยบายที่จะหลีกเลี่ยงต่อการขัดกันของผลประโยชน์ ในกลุ่มกองบรรณาธิการ ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ ผู้เขียนทุกท่าน เพื่อให้การตีพิมพ์บทความมีความโปร่งใสทางวิชาการ ดังนั้นในกรณีที่ ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งมีความเกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อบทความ ผู้เขียนหลัก (Corresponding Author) ต้องแจ้งให้กับบรรณาธิการทราบถึงเหตุความสัมพันธ์ดังกล่าว อย่างเป็นทางการ ลายลักษณ์อักษร หรือผ่านทาง การส่งข้อความผ่านระบบเว็บไซต์วารสาร

**สำหรับผู้เขียน** ต้องมีการใช้ข้อมูลในการเขียนงานวิจัยโดยไม่มีส่วนเกี่ยวข้องที่อาจทำให้เกิดความโน้มเอียงในงานวิจัย ในผลการศึกษา สรุปผล หรือ การอภิปรายผล โดยเฉพาะผลประโยชน์ทางตรงหรือทางอ้อมต่อการทำงานวิจัย

**สำหรับผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ** ควรให้ข้อมูลต่อบรรณาธิการผู้รับผิดชอบบทความ หากมีผลประโยชน์เกี่ยวข้องกับงานวิจัยหรือมีความเกี่ยวข้องอย่างใดอย่างหนึ่ง ให้แจ้งบรรณาธิการ เพื่อยืนยันความโปร่งใสต่อการประเมินบทความ ทั้งนี้การเกี่ยวข้องย่อมมีโอกาสเกิดขึ้นได้เสมอ บรรณาธิการจะเป็นผู้พิจารณาให้ความเห็นในการยอมรับต่อการประเมินบทความอีกครั้ง



## บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University) Print ISSN : 2697-5602, E-ISSN : 2697-5629 ฉบับนี้เป็นปีที่ 5 ฉบับที่ 1 มีเนื้อหาที่เน้นด้านทางด้านเทคโนโลยี อุตสาหกรรมและวิศวกรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวข้องกับงานวิจัย ในสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์สาขาต่างๆ โดยบทความทั้งหมดได้ผ่านการประเมิน โดยผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Review) ในสาขานั้นๆ เพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพก่อน การตีพิมพ์และสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/psru-jite/issue/view/16508> ภายใต้ระบบ ThaiJo ของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย

กองบรรณาธิการและคณะกรรมการจัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและ วิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาคุณภาพบทความ และ ผู้สนใจที่กรุณาช่วยกัน สนับสนุนและให้ความไว้วางใจผลงานของวารสารฉบับนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จากนักวิจัยที่ได้กรุณาเผยแพร่ผลงานใน วารสารนี้ กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับเกียรติ และความอนุเคราะห์จากท่านในโอกาสต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.สุนิห์ ปิ่นสกุล  
บรรณาธิการ

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกินไฟและความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ คัดแยกมะขามแบบสายพานลำเลียงและการพัฒนา .....ธเนศ อ้อมนอก,เอื้อบุญ ที่พึ่ง, นิวัตร พัฒนะ, ธราทิพย์ ศรีสัตตบุตร	1-10
การพัฒนาการแสดงผลแบบเรียลไทม์และระบบควบคุมสำหรับซิลเลอร์ด้วย เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง .....ศศิธร พยัคฆ์ทอง, สมเกียรติ หมายถมกลาง, ณัฐพงศ์ แพน้อย	11-29
การพัฒนาเคลือบเซรามิกส์ที่มีเพอร์ริกออกไซด์ โทเทเนียมไดออกไซด์ และแบเรียมคาร์บอเนตเป็นสารเพิ่มเติม .....จุมพฏ พงศ์ศักดิ์ศรี	30-42
การอบแห้งดอกบัวด้วยสารดูดความชื้นร่วมกับเทคนิคสุญญากาศและไมโครเวฟ .....ชาลินี เพ็ชรนิล, ณัฐหทัย แซ่ย่าง, กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์	43-58
การศึกษาศักยภาพชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี .....นิชาภา รัชมี, จิรวัดน์ สิตรานนท์, กมลวรรณ จิตรจักร, ศรีมา แจ้คำ	59-72
การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุ กรณีศึกษาบริษัทผู้ผลิตดินผสม สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกส์ .....ศิริตัน แจ้รักษ์สกุล, จินตณัย ไพรสมนต์, กิตติชัย อธิกุลรัตน์	73-83
การจัดการพลังงานในไอแลนต์โหมตด้วยระบบ POWER CONTROL DEMAND RESPOND .....เสาวลักษณ์ ยอดวิญญวงค์, บุญวัฒน์ วิจารณ์พล, วัฒนพงษ์ รักรัษวิเชียร, วัชรระ วงศ์ปัญญา	84-101
การจัดการโซ่อุปทานสำหรับการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยาน ประวัติศาสตร์สุโขทัย .....อภิญญา ปาละวงศ์, ไกล่รุ่ง พรอนันต์	102-114

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกินไฟและความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับ  
อุปกรณ์คัดแยกมะขามแบบสายพานลำเลียงและการพัฒนา  
RELATIONSHIP BETWEEN ELECTRIC POWER CONSUMPTION AND  
ROTATIONAL SPEEDS FOR TAMARIND SORTING MACHINE WITH  
CONVEYOR SYSTEM AND DEVELOPMENT

ธนศ อ้อมนอก, เอื้อบุญ ที่พึ่ง, นิวัตร์ พัฒนะ, ธาราทิพย์ ศรีสัตตบุตร\*

Tanet Oomnok, Ueaboon Teephung, Niwat Pattana, Tharathip Sreesattabud\*

<sup>1</sup>คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

<sup>1</sup>Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

\*Corresponding author e-mail: t.sreesattabud@gmail.com

วันที่เข้าระบบ 29 กันยายน 2565

วันที่แก้ไขบทความ 30 ธันวาคม 2565

วันที่ตอบรับบทความ 30 ธันวาคม 2565

### บทคัดย่อ

จากการศึกษาปัญหาของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเกี่ยวกับการคัดแยกขนาดมะขามหวานพบว่า การคัดแยกฝักมะขามในปัจจุบันจะใช้แรงงานคนในการคัดแยกซึ่งปริมาณการคัดแยกฝักมะขามต่อคนจะคัดแยกได้ประมาณ 80 กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อความต้องการมะขามในตลาด ประกอบกับการคัดแยกต่อครั้งต้องใช้แรงงานถึง 5 คน ซึ่งมีอัตราจ้างต่อคน 300 บาทต่อวันทำให้มีต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ดังนั้นจึงทำการคิดค้นเครื่องคัดแยกขนาดมะขามหวานแบบสายพานลำเลียง โดยอาศัยหลักการปรับความเร็วของสายพานลำเลียงเพื่อควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของฝักมะขามให้พอดีกับกำลังคนที่คัดแยกมะขาม โดยเครื่องคัดแยกดังกล่าวจะทำการคัดมะขามตกเกรดออกไป ให้เหลือเพียงมะขามที่สมบูรณ์ลำเลียงไปตามสายพานเพื่อให้แรงงานสามารถคัดแยกได้สะดวก และรวดเร็วมากขึ้นซึ่งจะสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิต ลดแรงงานคนคัดแยกฝักมะขามได้ โดยงานวิจัยนี้ทำการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์คัดแยกขนาดมะขามหวานแบบสายพานลำเลียง สำหรับสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มดวงทองตำบลห้วยโป่ง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยระบบสายพานลำเลียงสามารถรองรับน้ำหนักได้สูงสุด 150 กิโลกรัม ความเร็วรอบสายพานสามารถปรับได้ 9 ระดับและความเร็วรอบที่เหมาะสมในการคัดคือระดับที่ 4 ด้วยความเร็ว 40 วินาทีต่อ 1 รอบ (40 rpm) สามารถคัดแยกมะขามได้ถึง 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สามารถใช้งานต่อเนื่องได้ไม่ต่ำกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน มีความแม่นยำในการคัดแยก 100 % และระยะคืนทุนที่ 46 เดือน โดยกลุ่มเป้าหมายที่ใช้งาน ได้แก่เกษตรกร กลุ่มวิสาหกิจชุมชน คนในพื้นที่ นักศึกษา พ่อค้ารับซื้อ ผู้ประกอบการแปรรูปและผู้ส่งออก

**คำสำคัญ:** สายพานลำเลียง, มะขาม, คัดแยก

## Abstract

The study of community enterprise problems about tamarind sorting indicates that the process of sorting tamarind took labor to operate. The amount of sorted tamarind is up to 80 kilograms per hour for one worker. Which are insufficient for demand. Furthermore, 5 workers are needed for the one round of the sorting process, and each worker cost 300 baths per day. Which is causes high production costs in consequence. Therefore, the tamarind sorting machine with a conveyor system is invented, using the concept of speed adjustment for the conveyor to control the rapidity of its movement to co-work with the manual process. The machine separates the defective tamarind out, before transporting the qualified tamarinds through the conveyor to the sorting worker to make the process more convenient and faster. This could be increase the production rate and reduce labor costs. This research develops the prototype of the tamarind sorting Machine with belt conveyor for the Daungthong Community Enterprise group in Na Chaliang, Nongphai, Phetchabun. The conveyor supports 150-kilogram weight. And its speed can be adjusted in 9 levels with the highest speed at level 9. The most efficient revolution per minute is at level 4 with 40 rpm speed. The sorting rate is 100 kilograms of tamarind per hour. And the machine is available for over 8 hours of work time. The sorting precision rate is at 100%. The target audiences are community enterprise groups, locals, students, food processing entrepreneurs, and exporters.

**Keywords:** Conveyor, Tamarind, Sort out

## 1. บทนำ

มะขามหวานถือเป็นผลไม้ขึ้นชื่อของจังหวัดเพชรบูรณ์มีการปลูกกันทุกอำเภอหลากหลายพันธุ์ โดยช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวคือเดือนธันวาคม – มีนาคมของทุกปี จากการสำรวจผู้ปลูกมะขาม จำนวน 97,823 ครัวเรือน และผู้ประกอบการแปรรูปมะขาม จำนวน 108 ราย ผลผลิตมะขามหวาน ช่วงปี พ.ศ. 2563-2564 มีจำนวนสูงถึง 52,000 ตันและสามารถสร้างรายได้ให้ผู้ประกอบการมากกว่า 3,900 ล้านบาทต่อปี ลักษณะเด่น คือ ฝักอ่อนมีเปลือกสีเขียวอมเทา เนื้อในติดกับเปลือก เมื่อแก่ฝัก เปลี่ยนเป็นเปลือกแข็งกรอบหักง่าย สีสน้ำตาล เนื้อในกลายเป็นสีน้ำตาลหุ้มเมล็ด เนื้อหวาน ซึ่งฝักหนึ่ง ๆ จะมีหุ้มเมล็ด 3-12 เมล็ด เมล็ดแก่จะแบนเป็นมัน และมีสีน้ำตาล มีตลาดส่งออก คือ เวียดนาม จีน



และยุโรป (ไทยรัฐ, 2565: ออนไลน์) แสดงให้เห็นว่ามะขามหวานจังหวัดเพชรบูรณ์เป็นผลไม้เศรษฐกิจหลักอีกอย่างที่ทำรายได้ให้กับเกษตรกรและผู้ประกอบการมะขามแปรรูปในจังหวัดเพชรบูรณ์

จากการศึกษาสัมภาษณ์ข้อมูลผู้ประกอบการแปรรูปมะขามหวานในจังหวัดเพชรบูรณ์พบว่า ขั้นตอนการคัดแยกฝักประสบปัญหาด้านการขาดแคลนแรงงานในช่วงฤดูการคัดแยกฝักมะขาม เนื่องจากปัจจุบันการคัดแยกฝักมะขามยังต้องจ้างแรงงานคน อีกทั้งแรงงานต้องมีความชำนาญในการคัดแยกฝักมะขามพอสมควร ประกอบกับปริมาณมะขามที่ออกมาพร้อมกันเป็นจำนวนมาก ซึ่งอัตราการคัดแยกฝักมะขามประมาณ 80 กิโลกรัม/คน/ชั่วโมง ทำให้การคัดแยกฝักมะขามเพื่อเพิ่มมูลค่าในการขาย ไม่ทันต่อความต้องการเพื่อจัดส่งขายทั้งในและต่างประเทศ ยังไม่เพียงพอต่อปริมาณมะขามที่ต้องการ คัดแยก ประกอบกับในการจ้างแรงงานคนต่อการคัดแยกหนึ่งครั้งประมาณ 5 คน อัตราค่าจ้าง 300 บาท/คน ซึ่งเป็นปัญหาด้านต้นทุนการผลิต

อย่างไรก็ตามสายพันธุ์มะขามหวานที่ได้รับความนิยมในการขายแบบฝักมากที่สุด คือ พันธุ์สีชมพู และพันธุ์สีทอง ซึ่งเป็นมะขามบางพันธุ์เปลือกจะบางขณะทำการขนย้ายหรือขณะทำการคัดแยก ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ หากเปลือกแตกจะทำให้เสียราคา ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของผู้ประกอบการมะขามแปรรูป (พรรณนิภา เบี้ยสองดวง, 10 มกราคม 2565: สัมภาษณ์)

จากการศึกษางานวิจัยและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องพบว่า ปัจจุบันเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับมะขามที่พบคือ เครื่องแยกเมล็ดออกจากเนื้อมะขามหวาน เครื่องอบมะขามหวาน เครื่องอัดมะขามก้อน และยังพบการใช้เครื่องจักรช่วยในการคัดแยกมะขามหวาน แต่ต้นทุนของเครื่องจักรสูงมาก และจากการสอบถามจากผู้ประกอบการ พบว่าเครื่องจักรที่ใช้ในการคัดแยกมีราคาสูงถึงห้าแสนบาท อีกทั้งจะต้องสั่งซื้อเครื่องจักรและมอเตอร์เกียร์จากต่างประเทศ ดังนั้นหากสามารถผลิตได้เองภายในประเทศไทยก็จะสามารถลดต้นทุนด้านการผลิตของผู้ประกอบการได้มาก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์คัดแยกขนาดมะขามสำหรับวิสาหกิจชุมชนแปรรูปมะขามในจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยอาศัยหลักการลำเลียงด้วยสายพาน ที่สามารถควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของฝักมะขามได้ สำหรับเพิ่มปริมาณการผลิต ลดปริมาณการจ้างแรงงานคัดแยกฝักมะขาม และลดต้นทุนด้านการผลิตของผู้ประกอบการได้มาก โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและอัตราการกินไฟ อีกทั้งหาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับการทำงานร่วมกับคน

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาอุปกรณ์คัดแยกมะขามแบบสายพานลำเลียง

2.2 เพื่อศึกษาความเร็วรอบและอัตราการกินไฟที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์คัดแยกมะขามที่

ทำงานร่วมกับคน

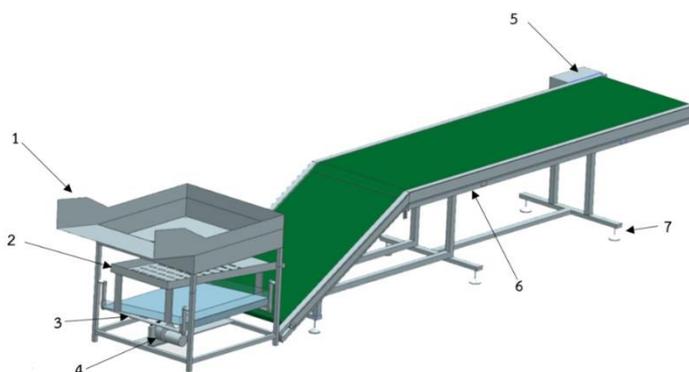
### 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยมีแนวความคิดในการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์คัดแยกขนาดมะขามสำหรับวิสาหกิจชุมชนแปรรูปมะขามในจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยอาศัยหลักการลำเลียงด้วยสายพาน ที่สามารถควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของฝักมะขามได้ สำหรับเพิ่มปริมาณการผลิต ลดปริมาณการจ้างแรงงานคัดแยกฝักมะขาม และลดต้นทุนด้านการผลิตของผู้ประกอบการได้

การทดสอบสมรรถนะของตะแกรงร่อนเครื่องคัดแยกมะขามหวานแบบสายพานลำเลียง โดยการทดสอบตะแกรงร่อนให้มะขามซ้อที่มีขนาดเล็กหรือมะขามฝักเดี่ยวตกลงไปในรูที่กำหนดไว้ ดังแสดงในภาพที่ 1 เพื่อแยกมะขามฝักเดี่ยวออกจากมะขามฝักใหญ่ ซึ่งชุดอุปกรณ์ประกอบไปด้วย ตะแกรงร่อนอยู่ส่วนรองมาจากถาดพักฝักมะขามซึ่งตะแกรงร่อนทำจากแผ่นเหล็กซิงค์ที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตรนำมาพับขึ้นรูปเป็นลักษณะถาดและเจาะรูซึ่งรูของตะแกรงร่อนถูกออกแบบมา โดยเฉพาะให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร และมีระยะความห่างของรูตะแกรงขนาด 50 มิลลิเมตรเมื่อมะขามถูกเขย่าบนตะแกรงจะทำให้มะขามฝักเดี่ยวตกลงในรูตะแกรงร่อนที่กำหนดไว้ เพื่อแยกมะขามฝักเดี่ยวออกจากมะขามฝักกลางและใหญ่ และเมื่อฝักใหญ่ไม่สามารถลงรูได้ก็จะไหลผ่านตะแกรงร่อน ไปบนสายพานลำเลียงดังแสดงในภาพที่ 2 และจะมีพนักงานคอยตรวจคัดแยกมะขามฝักใหญ่ระหว่างสายพานลำเลียงเพื่อบรรจุลงกล่องต่อไป ซึ่งรายละเอียดของโครงสร้างอุปกรณ์ มีดังนี้



ภาพที่ 1 ตะแกรงร่อน



ภาพที่ 2 โครงสร้างสายพานลำเลียง

หมายเลข 1 คือ ถาดพักฝักมะขาม สำหรับพักมะขามเพื่อป้อนมะขามให้ลงไปยังตะแกรงร่อน ครึ่งละจำนวนไม่มากจนเกินไป เพื่อให้มะขามไหลสู่ไปยังตะแกรงร่อน แบบไม่ให้มะขามทับถมกันเกินไป

หมายเลข 2 คือชุดระบบตะแกรงคัดแยกขนาดความยาวของฝักมะขาม มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร นำมาพับขึ้นรูปเป็นลักษณะถาดและเจาะรู ลักษณะเป็นรูวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร มีความห่างระหว่างรู 50 มิลลิเมตร โดยมะขามที่มีขนาดเล็กและสั้นกว่ารูวงรี จะตกไปยังช่องคัดแยกมะขามข้อเดียว

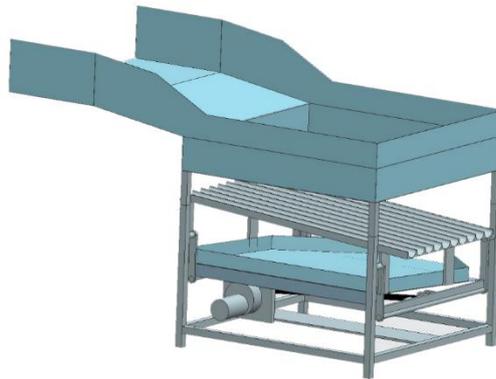
หมายเลข 3 คือชุดส่งกำลังระบบสั่นสะเทือนคือมาจากมอเตอร์ ซึ่งมีเพลาลูกเบี้ยวส่งกำลังเป็นแขนชักไปมา ทำให้ตะแกรงเกิดการสั่นสะเทือนเคลื่อนที่

หมายเลข 4 คือมอเตอร์ส่งกำลังระบบแบบสั่นสะเทือน คือ มอเตอร์ที่มีขนาด 0.5 แรงม้า และมีชุดเพลาลูกเบี้ยวเป็นตัวเปลี่ยนทิศทาง การหมุนของมอเตอร์ ให้เป็นระบบคั่นส่งแบบชักสั่นสะเทือน

หมายเลข 5 คือมอเตอร์ส่งกำลังระบบสายพานลำเลียงฝักมะขาม คือ มอเตอร์เกียร์ขนาด 0.5 แรงม้าส่งกำลังด้วยสเตอร์เบอร์ 428 มี 14 ฟันเฟือง เพื่อส่งไปยังเพลาลูกเบี้ยวสายพาน

หมายเลข 6 คือโครงสร้างที่ออกแบบมาเพื่อลำเลียงฝักมะขามที่อยู่ในลักษณะที่ต่ำขึ้นมาให้คนงานได้นั่งทำงาน เพื่อคัดแยกมะขาม 2 ขนาดคือขนาดกลางและขนาดใหญ่บนสายพานลำเลียง

หมายเลข 7 คือฐานตีนเป็ดปรับระดับความสูงของตัวเครื่อง คือตัวปรับตั้งเพื่อให้โครงสร้างไม่บิดแฉก เมื่อวางในพื้นที่ ที่ไม่สม่ำเสมอ



ภาพที่ 3 โครงสร้างตะแกรงร้อน

โครงสร้างตะแกรงร้อน ถูกออกแบบให้มีส่วนสูงเหมาะสมตามสรีระการนั่งคัดแยกของมนุษย์ที่ทำงานต่อเนื่องโดยไม่เมื่อยล้า ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มผลผลิตแล้วยังสามารถลดต้นทุนโดยไปลดจำนวนแรงงานซึ่งเครื่องจะทำการคัดแยกมะขามเบื้องต้นให้อีกด้วย ซึ่งเครื่องมือจะใช้ระบบสายพานลำเลียงเพื่อนำพาวัตถุบนสายพานไปข้างหน้า เมื่อเครื่องเมื่อนำมะขามที่มีหลากหลายขนาดปะปนกัน เถลงบนไซโล จะมีการร่อนเพื่อคัดแยกมะขามข้อให้ลอดรูตะแกรงร้อนให้ตกลงในตะกร้า ส่วนมะขามขนาดใหญ่กว่าจะถูกลำเลียงไปตามสายพานที่มีแรงงานคนคัดแยกขนาดกลางและใหญ่ต่อไป อีกทั้งระบบร่อนถูกออกแบบมาให้สามารถปรับความเร็วรอบได้ ซึ่งสามารถคัดมะขามได้สูงสุดถึงประมาณ 500 กิโลกรัมต่อวัน



ภาพที่ 4 ระบบควบคุมการทำงาน

ระบบตู้ควบคุมการทำงานดังภาพที่ 4 ระบบตู้ควบคุมการทำงานหน้าตู้จะมีอุปกรณ์หลักโดยที่  
ใช้มอเตอร์ต้นกำลังสำหรับชุดขับเคลื่อน ตัวที่ 1 จะเป็นตัวควบคุมความเร็ว มีทั้งหมด 10 ระดับ ใช้  
สำหรับปรับความเร็วระบบมอเตอร์ ตัวที่ 2 สวิตช์ตัดต่อวงจรใช้สำหรับตัดต่อวงจร

#### 4. ผลการวิจัย

เครื่องตัดแยกขนาดมะขามหวานแบบสายพานลำเลียง ถูกออกแบบให้มีส่วนสูงเหมาะสมตาม  
สรีระการนั่งตัดแยกของมนุษย์ที่ทำงานต่อเนื่องโดยไม่เมื่อยล้า ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ  
การทำงานเพิ่มผลผลิตแล้ว ยังสามารถลดต้นทุนโดยไปลดจำนวนแรงงานโดยเครื่องจะทำการตัดแยก  
มะขามเบื้องต้นให้ ซึ่งเครื่องมือจะใช้ระบบสายพานลำเลียงเพื่อนำพาวัตถุดิบสายพานไปข้างหน้า เมื่อ  
เครื่องมือนำมะขามที่มีหลากหลายขนาดปะปนกัน เทลงบนไซโล จะมีการร่อนเพื่อคัดแยกมะขามข้อ  
(มะขามฝักสั้นที่มีข้อเดียว)ให้ลอดรูตะแกรงร่อนให้ตกลงในตะกร้า ส่วนมะขามขนาดใหญ่กว่าจะผ่าน  
ไปตามสายพานลำเลียงที่มีแรงงานคนคัดแยกขนาดต่อไปและระบบร่อนจะสามารถปรับความเร็วรอบ  
ได้ ซึ่งสามารถคัดมะขามได้สูงสุดประมาณ 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ระบบสายพานลำเลียงยังสามารถ  
รองรับน้ำหนักได้สูงสุด 150 กิโลกรัม ความเร็วรอบสายพานสามารถปรับได้ 9 ระดับ โดยรอบสูงสุดที่  
ระดับ 9 ดังแสดงในตาราง 2 และความเร็วรอบที่เหมาะสมในการคัดคือระดับที่ 4 ที่ความเร็ว 40 วินาที  
ต่อ 1 รอบ ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งจากการทดสอบพบว่าที่ความเร็วรอบสูงกว่าระดับ 4 นั้นผลผลิตมี  
แนวโน้มลดลงเนื่องจากความเร็วบนสายพานมีความไวไม่สัมพันธ์กับการทำงานร่วมกับคน ทำให้  
คนงานไม่สามารถคัดมะขามบนสายพานได้ทัน อย่างไรก็ตามสามารถปรับความเร็วรอบให้เหมาะสม  
กับจำนวนแรงงานได้ โดยเครื่องจะใช้งานต่อเนื่องได้ไม่ต่ำกว่า 12 ชั่วโมงต่อหนึ่งวัน จากการศึกษา  
ความเร็วรอบต่อเวลาแสดงดังตารางที่ 1 และพบว่าความเร็วรอบที่เหมาะสมของการคัดแยก คือระดับ  
ที่ 4 ด้วยเวลา 00.40.04 นาทีต่อรอบดังแสดงในตาราง 1

ตารางที่ 1 ความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์คัดแยกมะขามแบบสายพานลำเลียง

ระดับความเร็วรอบ	เวลาที่ใช้ ( นาที )	ระดับความเร็วรอบ	เวลาที่ใช้ ( นาที )
1	3.14.21	6	00.28.16
2	01.20.89	7	00.23.88
3	00.52.14	8	00.22.29
4	00.40.04	9	00.22.19
5	00.31.71		

จากการศึกษาอัตราการกินไฟที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์คัดแยกมะขามแบบสายพานลำเลียง โดยใช้หลักการคำนวณดังตัวอย่างต่อไปนี้

#### ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned}
 \text{ล้ออลูมิเนียมหมุน 300 รอบ} &= 1 && \text{หน่วย} \\
 \text{ขณะทำการทดสอบล้ออลูมิเนียมหมุน} &= 5 && \text{รอบต่อนาที} \\
 \text{ฉะนั้น 1 ชั่วโมง ล้ออลูมิเนียมหมุน} &= 5 \times 60 && \text{รอบ} \\
 \text{สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า} &= \frac{1 \times 300}{300} && \text{หน่วย} \\
 &= 1 && \text{หน่วย} \\
 \text{ฉะนั้นค่าพลังงานไฟฟ้า} &= 1 \times 4.31 && \\
 &= 4.31 && \text{บาท / ชั่วโมง}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเร็วรอบต่ออัตราการกินไฟ

ระดับความเร็ว รอบ	เวลาที่ใช้ (นาที)	จำนวนรอบ	อัตราการกินไฟ		
			บาท : ชม.	ชั่วโมง	รวม(บาท)
1	1	3	4.31	8	34.48
2	1	8	4.31	8	34.48
3	1	13	4.31	8	34.48
4	1	17	4.31	8	34.48
5	1	21	4.31	8	34.48
6	1	25	4.31	8	34.48
7	1	28	4.31	8	34.48
8	1	30	4.31	8	34.48
9	1	32	4.31	8	34.48

จากตารางที่ 2 ผลการคำนวณปริมาณที่ได้ใน 1 ชั่วโมงต่อกิโลกรัม สำหรับอุปกรณ์คัดแยกมะขามแบบสายพานลำเลียงมีอัตราการกินไฟที่เท่ากันเนื่องจากระบบที่ใช้ในการปรับความเร็วรอบเป็นระบบการทดรอบดังนั้นจึงมีอัตราการกินไฟไม่แตกต่างกันเมื่อปรับระดับความเร็วรอบดังกล่าว



**ตารางที่ 3 ผลคำนวณปริมาณความเร็วรอบที่ได้ได้ใน 1 ชั่วโมงต่อกิโลกรัม**

ระดับความเร็วรอบ(มี 9 ระดับ)	คำนวณปริมาณที่ได้ใน 1 ชั่วโมง : กิโลกรัม
1	35
2	65
3	95
4	125
5	115
6	95
7	75
8	25
9	15

จากตารางที่ 3 ผลคำนวณปริมาณที่ตัดแยกได้ใน 1 ชั่วโมงในการทำงานร่วมกับเครื่องมือพบว่าสามารถตัดได้มากที่สุดที่ระดับความเร็วรอบที่ 4 ซึ่งสามารถตัดได้ 125 กิโลกรัมใน 1 ชั่วโมง ดังนั้น 8 ชั่วโมงจะสามารถตัดได้ประมาณ 1,000 กิโลกรัม

**5. สรุปผลและการอภิปรายผล**

อุปกรณ์ตัดแยกมะขามหวานแบบสายพานลำเลียงเมื่อทำการเปรียบเทียบกับก่อนหน้าซึ่งมีการจ้างคนงานมา 8 คนต่อวัน ซึ่งมีค่าแรงวันละ 300 บาท ทำให้มีค่าใช้จ่ายแรงงานวันละ 2,400 บาท แต่เมื่อนำเครื่องเข้ามาใช้งานจะสามารถลดต้นทุนการจ้างแรงงานได้โดยใช้แรงงานเพียง 4 คนร่วมกับเครื่องจักร จะเทียบเท่ากับการทำงานของคนถึง 8 คน ทำให้สามารถลดต้นทุนแรงงานได้ถึงวันละ 1,200 บาท สำหรับการตัดแยกมะขาม

ปริมาณมะขามที่ตัดแยกโดยแรงงานคนเพียงอย่างเดียวสามารถตัดได้ 80 กิโลกรัมต่อคนต่อชั่วโมง และเมื่อนำเครื่องตัดแยกมะขามหวานแบบสายพานลำเลียงเข้ามาทำงานร่วมโดยลดคนงานลงครึ่งหนึ่งจะสามารถตัดแยกได้ถึง 125 กิโลกรัม : ชั่วโมง อีกทั้งสามารถใช้งานได้ไม่ต่ำกว่า 12 ชั่วโมงต่อวัน

ผลการทดสอบความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ตัดแยกมะขามแบบสายพานลำเลียงคือระดับที่ 4 เวลาที่ใช้ (นาท) 00.40.04 ต่อบรรจุซึ่งตัดแยกได้ปริมาณที่ 125 กิโลกรัมต่อ 1 ชั่วโมง ดังนั้น 8 ชั่วโมงสามารถตัดได้ 1,000 ตันต่อวันซึ่งจะสามารถตัดได้มากกว่าระดับสูงขึ้น เพราะเมื่อความเร็วของสายพานมากขึ้นทำให้คนงานไม่สามารถตัดมะขามได้ทัน ส่งผลให้เกิดความวุ่นวายบนสายพาน และมีอาการตาตายจนทำให้ผลผลิตที่ได้ลดลงดังกล่าว

อัตราการกินไฟจะใช้กิโลวัตต์ชั่วโมง (Kilowatt-Hour Meter) วัดค่ารอบที่ต่างกันพบว่า อัตราการกินไฟเท่ากัน เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้นำมาเตอร์เกียร์ทดแรง ที่มีทั้งหมด 9 ระดับเข้ามาใช้ทำให้การเร่งรอบตั้งแต่รอบที่ 1 ถึง 9 อัตราการกินไฟเท่าเดิม เครื่องวัดกิโลวัตต์ก็คือมิเตอร์ไฟสำหรับบ้านอยู่อาศัยซึ่งนำมาทำการวัดอัตราการกินไฟนั่นเอง ทำให้ค่าไฟใน 8 ชั่วโมงแม้ว่ารอบต่างกันจะเท่ากับ 34.48 บาท

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ ผศ.ดร.เอื้อบุญ ที่พึง ผศ.ดร.ธราทิพย์ โอบารทิชาชาติ ผศ.ดร.อลงกรณ์ เมืองไหว ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ปรีกษา ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของงานวิจัยฉบับนี้ ขอขอบคุณนางสาวพรธนิภา เบี้ยสองดวง ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนดวงทอง ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ช่วยให้คำแนะนำด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณผู้บริหารและเจ้าหน้าที่สาขาวิชาสาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ตลอดจนเพื่อน พี่และน้อง ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและบุคคลในครอบครัวทุกท่านที่ให้การสนับสนุนทั้งทางด้านค่าใช้จ่ายระหว่างการศึกษ ตลอดจนความรัก ความห่วงใย และกำลังใจที่ให้ตลอดมาหากมีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้เพียงผู้เดียว ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- บริษัท มติชน จำกัด (มหาชน). (28 สิงหาคม 2562) “เค.ซี. ฟู๊ดฯ เพชรบูรณ์ เบอร์ 1 ส่งออกมะขามหวาน 40 ประเทศ”. [ออนไลน์]. ค้นจาก <https://www.prachachat.net/local-economy/news-365273> (13 กุมภาพันธ์ 2564)
- กันต์ อินทวงศ์. (2563). การจัดการเทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วมมะขามในเครือข่ายกลุ่มวิสาหกิจบ้านเสี้ยว ตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อเสริมสร้างขีดความสามารถของคนในท้องถิ่นอย่างเป็นระบบและยั่งยืน. (รายงานวิจัย). มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์, อุตรดิตถ์.
- ธรรม์ณชาติ วันแดง. (2560, มกราคม). การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกขนาดละมุดแบบเพลลาหมุนวงคู่. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55, กรุงเทพฯ. DOI: 10.14457/KU.res.2017.127
- สมพร ประยงค์ทรัพย์. (2558). การพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องคัดแยกขนาดเมล็ดข้าวสาร สำหรับชุมชน. วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาร, 37(2), 73-88.



การพัฒนาการแสดงผลแบบเรียลไทม์และระบบควบคุมสำหรับซิลเลอร์ด้วย  
เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง  
DEVELOPMENT OF REAL-TIME MONITORING AND CONTROL  
SYSTEM FOR CHILLER USING INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

ศศิธร พยัคฆ์ทอง<sup>1</sup>, สมเกียรติ หมายถมกลาง<sup>2</sup>, ณัฐพงศ์ แพน้อย<sup>1\*</sup>

Sasithorn Payakthong<sup>1</sup>, Somkiat Maithomklang<sup>2</sup>, Nattapong Paenoi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10530

<sup>2</sup>สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ

อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20110

<sup>1</sup>Faculty of Engineering and Technology, Mahanakorn University of Technology, Nong Chok, Bangkok, Thailand, 10530

<sup>2</sup>School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Bang Phra Campus,

Si Racha, Chon Buri, Thailand, 20110

\*Corresponding author e-mail: nattapong@mut.ac.th

วันที่เข้ารับ 14 ตุลาคม 2565

วันที่แก้ไขบทความ 4 กุมภาพันธ์ 2566

วันที่ตอบรับบทความ 4 กุมภาพันธ์ 2566

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาและปรับปรุงการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของเครื่องทำความเย็นหรือซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต กรณีศึกษาข้างหุ่นส่วนจำกัด ภาณุวัฒน์ เอ็นจิเนียริ่ง เซอร์วิส โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับเครื่องควบคุมเชิงตรรกที่สามารถโปรแกรมได้หรือพีแอลซี ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมหลักในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบทำความเย็น ประกอบกับการใช้โปรแกรม 1tool ในการเขียนคำสั่งควบคุมพีแอลซี จากเดิมระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์เป็นระบบควบคุมด้วยรีเลย์เพียงอย่างเดียว ทำให้ยากต่อการปรับเปลี่ยนการทำงานของระบบควบคุม ด้วยสาเหตุดังกล่าวคณะผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาการทำงานของระบบทำความเย็นเป็น 2 ระบบ คือ (1) ระบบอัตโนมัติ และ (2) แบบสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม จากผลการดำเนินงานวิจัยพบว่า การตรวจสอบสถานะและควบคุมซิลเลอร์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสามารถทำงานเป็นไปตามขอบเขตที่กำหนด ซึ่งระบบควบคุมที่ออกแบบสามารถควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ให้ทำงานได้ทั้งแบบอัตโนมัติและสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบสถานะและควบคุมการทำงานได้แบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติภายใต้การจำลองสถานการณ์การทำงานของระบบควบคุม พบว่าระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์สามารถทำงานได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สามารถนำข้อมูลมาประมวลผลและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

**คำสำคัญ:** อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, ชิลเลอร์, การแสดงผล, ระบบควบคุม, รีเลย์ใหม่

### Abstract

The research aimed to develop and improve the monitoring and the control system of refrigeration or chillers through the internet network. This case study of Panuwat Engineering Service Limited Partnership used the Internet of Things (IoT) in combination with a programmable logic controller (PLC), which is a device used in the industry that acts as the main controller to control various equipment in the cooling system, along with the use of 1tool software to write PLC control commands. In the past the relay was the only source of control for the control system of the refrigerator, so it was difficult to modify the operation of the control system. As a result, the researcher designed and developed the operation of the cooling system which was divided into 2 systems: an automatic system and a manual control system through the display on the control panel. The results showed that the monitoring and controlling of chillers using IoT technology could operate as planned. The designed control system could control the chillers to work both automatically with the PLC and manually with the display on the control panel. In addition, users could also check the status and control the operation in real-time via the internet. In addition, the results of the statistical analysis under the simulation of the control system showed that the chiller control system worked 100 percent correctly. This makes it possible to process the data to solve problems quickly.

**Keywords:** Internet of things, Chiller, Monitoring, Control system, Real-time

### 1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าเทคโนโลยีในปัจจุบันอยู่ในยุคของการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 หรือนิยมเรียกว่า “ยุคอุตสาหกรรม 4.0 (Industries 4.0)” ซึ่งเป็นยุคแห่งการบูรณาการโลกของอุตสาหกรรมดิจิทัล โดยการนำเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลของระบบการผลิตและการบริการทำให้การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมการผลิตและการบริการทำงานได้รวดเร็ว และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเทคโนโลยีที่ใช้ในอุตสาหกรรม (Xu *et al.*, 2018) นอกจากนี้อุตสาหกรรม 4.0 ยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจและช่วยพยุงการเติบโตของอุตสาหกรรมในอุตสาหกรรมการผลิตและการตรวจสอบระบบการผลิต อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of

things, IoT) เริ่มเข้ามามีบทบาทสำคัญสำหรับนำมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งพัฒนามาจากเทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio-frequency identification, RFID) โดยถูกพัฒนาเป็นเทคโนโลยีที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างวัตถุสิ่งของหรือโครงสร้างทางกายภาพเข้ากับโครงสร้างด้านดิจิทัลหรือระบบอินเทอร์เน็ตผ่านเซ็นเซอร์ เพื่อให้เกิดการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานและวัตถุในเครือข่าย โดย IoT จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการสื่อสารระหว่างคนกับเครื่องจักรและระหว่างเครื่องจักรด้วยกันเอง เนื่องจาก IoT มีความสามารถในการเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตที่หลากหลาย ประกอบกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นส่วนหนึ่งที่มีสำคัญต่ออุตสาหกรรม 4.0 โดยอินเทอร์เน็ตมีหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ (Nord *et al.*, 2019) จากการปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่ผ่านพบว่า การนำ IoT มาใช้งานในระบบต่าง ๆ แนวโน้มเพิ่มมากขึ้น อาทิเช่น อุตสาหกรรมและการผลิตระบบจัดการการเกษตรอัจฉริยะ ระบบคมนาคมและการจัดการโลจิสติกส์ ระบบข้อมูลสุขภาพและการแพทย์ ระบบการจัดการพลังงานและสาธารณูปโภค เป็นต้น ซึ่งปัจจัยหลักสำหรับการเลือกใช้งานเทคโนโลยี IoT ประกอบไปด้วย พื้นที่ครอบคลุมการใช้งาน อัตราเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล การใช้พลังงานของอุปกรณ์ในระบบ และลักษณะการใช้งานทรัพยากรคลื่นความถี่ (สมมาตร และนพรุจ, 2565; กาญจนา และคณะ, 2563; อภิรักษ์ และคณะ, 2563)

สืบเนื่องข้อมูลข้างต้นประกอบกับประเทศไทยมีภูมิอากาศลักษณะเป็นแบบร้อนชื้น เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 27 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2565) จึงทำให้มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ โรงแรม ห้างสรรพสินค้า หรือโรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่หรือนิยมเรียกกันในชื่อทางเทคนิคว่า “ซิลเลอร์ (Chiller)” โดยซิลเลอร์เป็นเครื่องทำความเย็นชนิดหนึ่งในระบบทำความเย็น โดยมีหน้าที่ในการทำความเย็นของเหลวหรือปรับลดอุณหภูมิของเหลว ซึ่งใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความเย็นส่งไปยังเครื่องปรับอากาศเพื่อผลิตอากาศเย็นสำหรับนำไปใช้งานตามความต้องการ และเนื่องด้วยกระบวนการทำงานของเครื่องจักรย่อมมีความร้อนเกิดขึ้น ดังนั้น ระบบทำความเย็นจึงถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการระบายความร้อนของไหลต่าง ๆ นั้นด้วย (Chavda *et al.*, 2014) ซึ่งกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยสนใจศึกษาและพัฒนากระบวนการทำงานของซิลเลอร์ของห้างหุ้นส่วนจำกัด ภาณุวัฒน์ เอ็นจิเนียริง เซอร์วิส ซึ่งเป็นบริษัทรับติดตั้งระบบซิลเลอร์สำหรับเครื่องมือแพทย์ ระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์เป็นแบบอัตโนมัติควบคุมระบบด้วยรีเลย์เพียงอย่างเดียว ซึ่งรีเลย์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ตัดต่อวงจรโดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ยากต่อการปรับเปลี่ยนการทำงานของระบบควบคุม อีกทั้งยังเป็นระบบการทำงานแบบสั่งการด้วยมือ เมื่อระบบเกิดการชำรุดเสียหายและหยุดการทำงานก่อนผู้ควบคุมดูแลถึงจะทราบจึงส่งผลให้เกิดปัญหาตามมา

จากปัญหาข้างต้นการพัฒนาและปรับปรุงระบบควบคุมซิลเลอร์ให้สามารถควบคุมและแสดงสถานะการทำงานต่าง ๆ ของระบบผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยในการเฝ้าดูและตรวจสอบ เพื่อนำข้อมูลไปที่ประมวลผลและแก้ไขปัญหาได้รวดเร็วและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการพัฒนาและปรับปรุงการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม ในกรณีศึกษาข้างต้นส่วนจำกัด ภาณุวัฒน์ เอ็นจิเนียริง เซอร์วิส เพื่อเฝ้าดู ตรวจสอบสถานะ และควบคุมการทำงานต่าง ๆ แบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาเทคโนโลยีในภาคอุตสาหกรรมให้ก้าวทันยุคอุตสาหกรรม 4.0

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาและปรับปรุงการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์แบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ในกรณีศึกษาข้างต้นส่วนจำกัด ภาณุวัฒน์ เอ็นจิเนียริง เซอร์วิส สำหรับนำข้อมูลมาประมวลผลและแก้ไขได้อย่างรวดเร็วและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน

## 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้พัฒนาระบบควบคุมเครื่องทำความเย็นหรือซิลเลอร์สำหรับตรวจสอบสถานะและควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อนำข้อมูลมาประมวลผลและแก้ไขได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพการดำเนินงาน ซึ่งขั้นตอนการวิจัยประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

3.1.1 การศึกษาทฤษฎีและปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องทำความเย็นหรือซิลเลอร์ เครื่องควบคุมเชิงตรรกที่สามารถโปรแกรมได้ และเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อความเข้าใจสำหรับการออกแบบและพัฒนาการตรวจสอบสถานะและควบคุมการทำงานของซิลเลอร์แบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

3.1.2 พัฒนาและออกแบบระบบต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ ระบบระบบทำความเย็น วงจรควบคุมการทำงาน ตัวควบคุมการทำงาน และหน้าจอแสดงผล โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม สำหรับตรวจสอบสถานะและควบคุมการทำงานของซิลเลอร์

3.1.3 ทดสอบการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์แบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยการเปรียบเทียบการทำงานของระบบระหว่างการสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม และการควบคุมระบบการทำงานของซิลเลอร์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

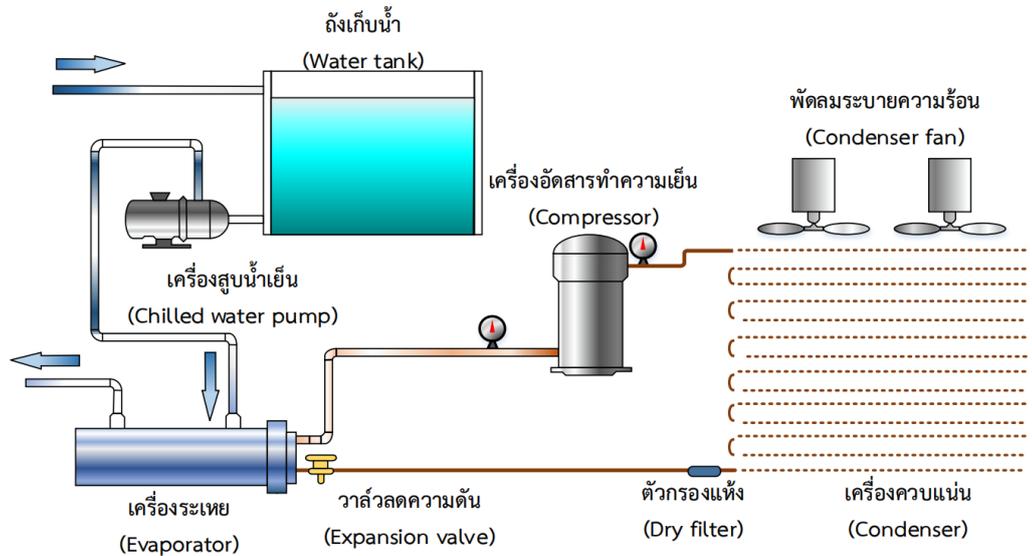
3.1.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบการทำงานของของการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิจัยและทดสอบ

#### 3.2.1 เครื่องทำความเย็นหรือซิลเลอร์

เครื่องทำความเย็นหรือซิลเลอร์นั้นถือได้ว่าเป็นเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ โดยการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบอัดไออาศัยหลักการของวัฏจักรทำความเย็นตามหลักทฤษฎีอุณหพลศาสตร์ ซึ่งประกอบไปด้วย 4 กระบวนการหลัก ๆ คือ กระบวนการอัด (Compression process) กระบวนการควบแน่น (Condensing process) กระบวนการขยายตัว (Expansion process) และกระบวนการระเหยหรือกลายเป็นไอ (Evaporation process) (Cengel *et al.*, 2020; Stoecker *et al.*, 1982) ซึ่งสามารถแสดงอุปกรณ์พื้นฐานและระบบการทำงานได้ดังภาพที่ 1 อย่างไรก็ตาม วัฏจักรการทำความเย็นจริงมีความแตกต่างจากวัฏจักรการทำความเย็นในอุดมคติ เนื่องจากระบบจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดกลายเป็นไอหรือเกิดไอร้อนยิ่งยวดมีการเย็นตัวต่ำกว่าจุดควบแน่นของของเหลว และเกิดการสูญเสียแรงดันที่คอยล์ร้อน (Condenser) และคอยล์เย็น (Evaporator) รวมถึงสถานะของสารทำความเย็นก่อนผ่านอุปกรณ์ลดแรงดันจำเป็นต้องอยู่ในสถานะของเหลวยิ่งยวดและก่อนเข้าสู่ เครื่องอัดสารทำความเย็น (Compressor) สารทำความเย็นจะต้องมีสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวด ทั้งนี้ เครื่องทำความเย็นหรือเครื่องปรับอากาศนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นหลากหลายประเภท แต่ประเภทที่ได้รับความนิยมใช้งานมากที่สุดในอาคารสำนักงานหรือโรงงานอุตสาหกรรม คือ เครื่องทำความเย็นแบบแยกส่วน (Split type) และเครื่องทำความเย็นแบบใช้น้ำเย็น (Chiller) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาและพัฒนาเครื่องทำความเย็นแบบใช้น้ำเย็นหรือซิลเลอร์

ซิลเลอร์ที่ใช้สำหรับการวิจัยในครั้งนี้เป็นเครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์สำหรับทำน้ำเย็น 4 ส่วนหลัก ๆ คือ เครื่องระเหย (Evaporator) เครื่องควบแน่น (Condenser) วาล์วลดความดัน (Expansion valve) และเครื่องอัดไอ (Compressor) หลักการทำงานของเครื่องอัดสารทำความเย็นจะดูดและอัดสารทำความเย็นในสถานะแก๊สที่มีแรงดันสูงส่งไปยังคอยล์ร้อน ซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยการถ่ายเทความร้อนให้แก่สารทำงานเย็นจนมีสถานะเป็นของเหลวแรงดันสูงถูกส่งมาลดความดัน ที่อุปกรณ์ลดแรงดัน เพื่อฉีดเข้าสู่คอยล์เย็นที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น โดยสถานะของสารทำความเย็นอยู่ในอุณหภูมิอิ่มตัวและไออิ่มตัว (Chavda *et al.*, 2014)



ภาพที่ 1 ระบบการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

### 3.2.2 เครื่องควบคุมเชิงตรรกที่สามารถโปรแกรมได้

เครื่องควบคุมเชิงตรรกที่สามารถโปรแกรมได้ (Programmable logic control, PLC) หรือที่นิยมเรียกว่า “พีแอลซี” ถูกสร้างและพัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนวงจรรีเลย์ พีแอลซีเป็นเครื่องควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงานต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถโปรแกรมได้และสามารถตอบสนองการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพ เพื่อความปลอดภัย ความสะดวก และรวดเร็ว จึงเป็นที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมโครงสร้างของพีแอลซีโดยทั่วไปประกอบไปด้วย หน่วยประมวลผลกลาง (Central processing unit) หน่วยความจำ (Memory unit) หน่วยอินพุตและเอาต์พุต (Input and output unit) และหน่วย จ่ายกำลังไฟฟ้า (Power supply) โดยมีลักษณะการทำงานเป็นแบบลอจิก คือ 0 กับ 1 หรือเปิด-ปิด และมีไมโครโพรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมหลัก ตัวตรวจวัดหรือสวิตช์ต่าง ๆ จะต่อเข้าทางด้านอินพุตและส่วนด้านเอาต์พุตจะต่อไปใช้งานในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น รีเลย์ วาล์ว หลอดไฟ เป็นต้น

หลักการทำงานของพีแอลซีแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) ตรวจสอบสถานะอินพุต (Check input status) แล้วนำสถานะปกติของข้อมูลไปเก็บไว้ที่หน่วยความจำ (2) ประมวลผลโปรแกรม (Program executed) เป็นขั้นตอนการประมวลผลตามลำดับที่อยู่ของคำสั่งและข้อมูลของโปรแกรมผู้ใช้ และเก็บผลลัพธ์ของการประมวลผลไว้ในหน่วยความจำ และ (3) ปรับปรุงสถานะของเอาต์พุต (Update output status) โดยพีแอลซีจะปรับเปลี่ยนสถานะเอาต์พุตของโปรแกรมที่กำหนดให้เปลี่ยนไปตามสถานะที่เกิดจากการประมวลผลของอินพุตที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้พีแอลซียี่ห้อ คาเรล (Carel) รุ่น pCO5+ Medium สำหรับควบคุมการทำงานของระบบ

ทำความเย็น ซึ่งมีฟังก์ชันการใช้งานที่ครอบคลุมการรองรับนาฬิกาอินพุต 8 ช่อง ดิจิตอลอินพุต 14 ช่อง และมีนาฬิกาเอาต์พุต 4 ช่อง ดิจิตอลเอาต์พุต 16 ช่อง รวมถึงใช้โปรแกรมที่ใช้ในการเขียนของพีแอลซีคือโปรแกรม 1tool

### ตารางที่ 1 ข้อมูลทางเทคนิคของพีแอลซีที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูล	รายละเอียด
หน่วยประมวลผลกลาง	H8SX1651, 32 bits, 44 MHz
หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า	24 VDC
เงื่อนไขการทำงาน	-40 to 70 °C, 90% Humidity
หน่วยความจำแฟลช	4 MB
หน่วยความจำ	512 kb at 16 bits
อนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต (U)	8
อนาล็อกเอาต์พุต (Y)	4
ดิจิตอลอินพุต	12 @24 VAC, 2 @230VAC
ดิจิตอลเอาต์พุต	NO:13, NC:3
ขนาด	110×315×75 mm

### 3.2.3 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

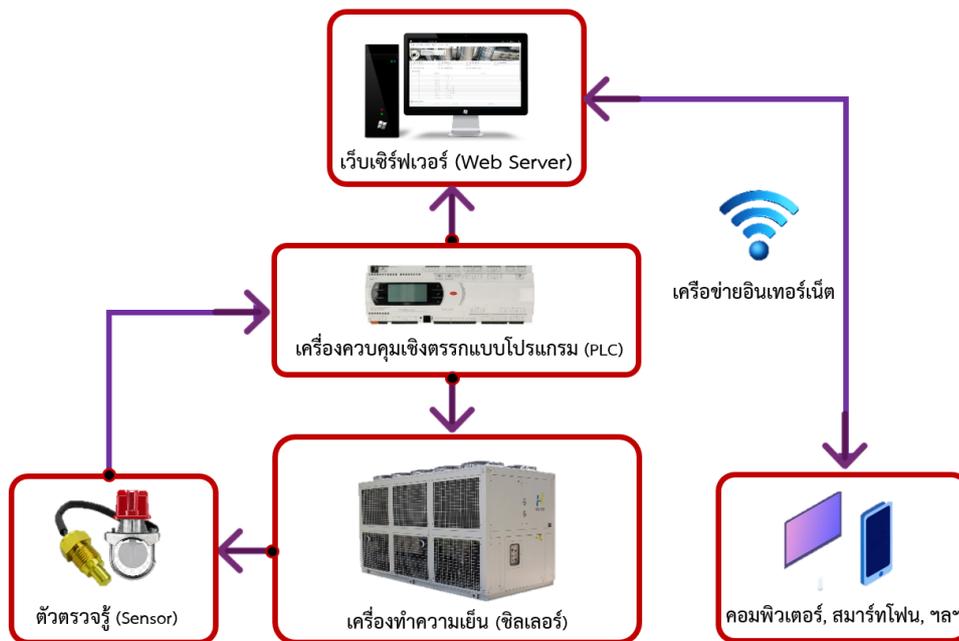
การตรวจวัดอุณหภูมิเป็นการวัดค่าเฉลี่ยของพลังงานจลน์ของอนุภาคในสสารใด ๆ ซึ่งสอดคล้องกับความร้อนหรือความเย็นของสสารนั้น และถือได้ว่าเป็นคุณสมบัติหรือตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญทางเทอร์โมไดนามิกส์ เนื่องจากเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงปริมาณพลังงานของระบบ รวมไปถึงบ่งบอกทิศทางการไหลของพลังงาน (Cengel *et al.*, 2020) โดยหน่วยของอุณหภูมิที่นิยมใช้ได้แก่ เคลวิน (K) องศาเซลเซียส (°C) และองศาฟาเรนไฮต์ (°F) ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดอุณหภูมินั้น จะทำการแปลงข้อมูลเชิงปริมาณหรือคุณภาพทางฟิสิกส์ของสิ่งที่ต้องการวัดไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเอาต์พุต ซึ่งสามารถอยู่ในรูปแบบของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ปริมาณกระแสไฟฟ้า ค่าความต้านทาน ค่าความจุไฟฟ้าหรือความถี่ โดยงานวิจัยนี้ใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิประเภทเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC (Negative temperature coefficient) ซึ่งเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิที่ทำจากวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิแปลงไปเพียงเล็กน้อยจะส่งผลให้ค่าความต้านทานทางเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว โดยที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความต้านทานลดลง

### 3.3 การออกแบบระบบเครื่องทำความเย็นโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

การดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วย การออกแบบชุดควบคุมเครื่องทำความเย็นโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง การออกแบบระบบทำความเย็น การออกแบบหน้าจอแสดงผล และการออกแบบตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องทำความเย็น ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดสำหรับการออกแบบต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

#### 3.3.1 การออกแบบชุดควบคุมเครื่องทำความเย็นโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

การออกแบบชุดควบคุมระบบของเครื่องทำความเย็นหรือซิลเลอร์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสามารถแสดงโดยภาพรวมได้ดังภาพที่ 2 โดยหลักการทำงานของระบบจะเริ่มจากการเขียนโปรแกรมควบคุมในคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม 1tool ภายใต้เงื่อนไขที่ต้องการและส่งโปรแกรมควบคุมดังกล่าวไปที่ชุดพีแอลซี สำหรับใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องทำความเย็นและส่งข้อมูลสถานะต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำในระบบ ชุดการทำงาน ทั้งข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต รวมถึงตรวจสอบและควบคุมการทำงานของระบบ อาทิเช่น การสลับชุดการทำงานของเครื่องทำความเย็นหรือควบคุมการทำงานของปั้มน้ำจากระยะไกลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้อุปกรณ์อินเทอร์เน็ตริงในการควบคุมระบบเครื่องทำความเย็นผ่านอินเทอร์เน็ตผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์ของยี่ห้อคารเทล ทำให้สามารถตรวจสอบ ควบคุม และแจ้งเตือนของระบบเครื่องทำความเย็น



ภาพที่ 2 แผนภาพการทำงานของชุดควบคุมระบบของเครื่องทำความเย็น (ซิลเลอร์)

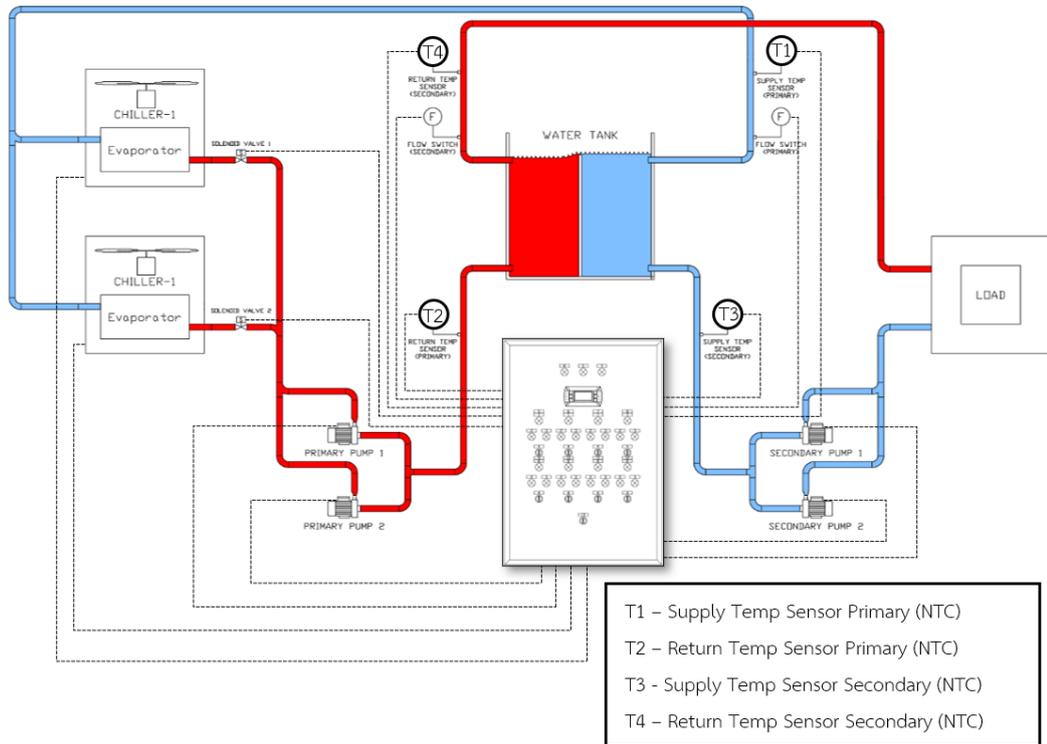
### 3.3.2 การออกแบบระบบทำความเย็น

การออกแบบระบบทำความเย็นในงานวิจัยสามารถแสดงรายละเอียดของวงจรในระบบทำความเย็นได้ดังภาพที่ 3 ซึ่งใช้ซิลเลอร์ที่ควบคุมการเปิด/ปิดด้วยพีแอลซีที่เชื่อมต่อกับสัญญาณแบบดิจิทัล (On/Off) ประกอบขึ้นจากระดับสัญญาณเพียง 2 ค่าที่สัญญาณระดับสูงสุดและสัญญาณระดับต่ำสุด รวมทั้งการใช้ข้อมูลจากตัวตรวจวัดอุณหภูมิและสวิตช์ตรวจจับการไหลของน้ำเป็นอินพุตป้อนให้กับพีแอลซีด้วยสัญญาณอนาล็อก และข้อมูลเอาต์พุตเป็นแบบสัญญาณดิจิทัลเพื่อสั่งการเปิด/ปิดการทำงานของอุปกรณ์ของระบบทำความเย็น สำหรับทดสอบระบบควบคุมจำนวน 2 ชุด ซึ่งควบคุมการไหลของน้ำเข้าซิลเลอร์แต่ละชุดด้วยวาล์วไฟฟ้าจำนวน 2 ตัว และใช้แบบจำลองเพื่อแสดงพฤติกรรมเสมือนซิลเลอร์ด้วยแผ่นทำความเย็นควบคุมแบบ On/Off นอกจากนี้ ระบบดังกล่าวใช้ปั้มน้ำทั้งหมดจำนวน 4 ตัว โดยแบ่งเป็นฝั่งหมุนเวียนที่ซิลเลอร์จำนวน 2 ตัว และฝั่งหมุนเวียนที่แบบจำลองไหลจำนวน 2 ตัว ประกอบกับการใช้สวิตช์ตรวจจับการไหลของน้ำจำนวน 2 ตัว เพื่อตรวจสอบการไหลของทั้ง 2 ฝั่ง และมีถังพักน้ำจำนวน 1 ถัง ซึ่งภายในถังพักน้ำถูกแบ่งออกเป็น 2 ฝั่งสำหรับแยกกระหว่างน้ำที่ผ่านการทำอุณหภูมิแล้วกับน้ำที่หมุนเวียนมาจากไหล

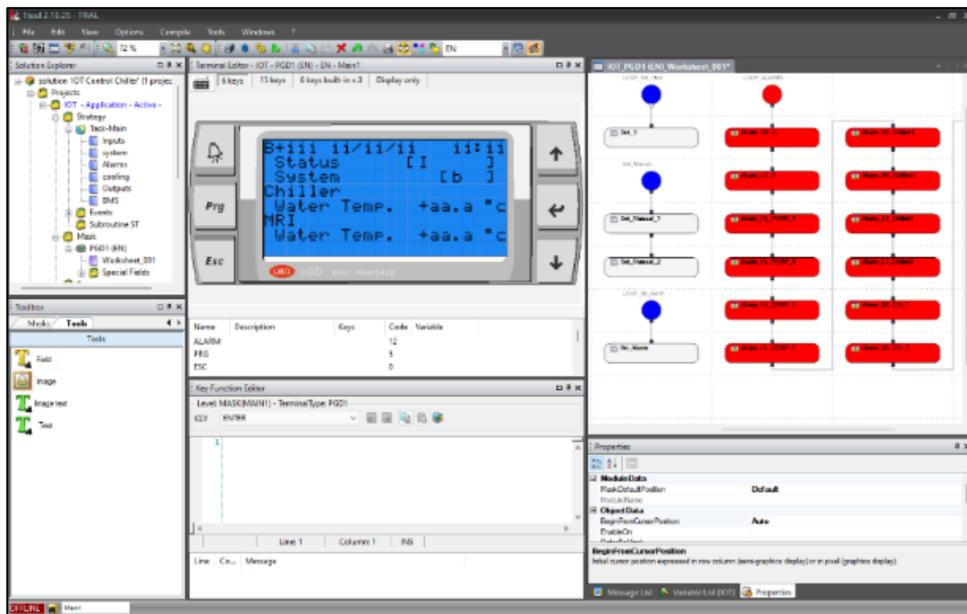
หลักการงานเบื้องต้นของระบบเครื่องทำความเย็น ระบบปั้มน้ำในฝั่งของซิลเลอร์ทำการดูดน้ำที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการลดอุณหภูมิ โดยระบบควบคุมการทำงานจะสั่งให้วาล์วไฟฟ้าเปิดสำหรับจ่ายน้ำเข้าสู่ซิลเลอร์ เพื่อทำความเย็นแล้วส่งกลับไปยังที่ถังพักน้ำอีกด้าน และให้ระบบปั้มน้ำฝั่งไหลจ่ายน้ำที่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วไประบายความร้อนของไหลแล้วส่งกลับมาที่ถังพักน้ำฝั่งด้านรอทำความเย็นต่อไป โดยมีจุดตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำทั้งด้านน้ำจ่าย (Supply) และด้านน้ำหมุนเวียนกลับ (Return) ของทั้ง 2 ฝั่ง รวมถึงมีจุดตรวจวัดการไหลของน้ำทางด้านน้ำหมุนเวียนกลับของทั้ง 2 ฝั่ง

### 3.3.3 การออกแบบหน้าจอแสดงผล

การออกแบบหน้าจอแสดงผลแบบแฮชเอ็มไอ (Human machine interface, HMI) สำหรับการแสดงสถานะและการควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็น โดยใช้โปรแกรม 1tool เขียนโปรแกรมด้วยฟังก์ชันกราฟิกของบล็อกไดอะแกรม (FBD-Function block diagram) ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมตามมาตรฐานสากลสำหรับพีแอลซี (IEC 61131-3) ในลักษณะชุดของบล็อกการทำงานที่เชื่อมต่อซึ่งกันและกัน เอาต์พุตและอินพุตที่เชื่อมต่อกันด้วยสายการสื่อสาร (Pang *et al*, 2015) ดังภาพที่ 4 โดยการใช้งานร่วมกับโปรแกรม DeviceCreator SuperVisoryPRO สำหรับแปลงไฟล์การออกแบบหน้าจอแสดงผล และเชื่อมต่อกับอุปกรณ์มอเตอร์รีจด้วยสายการสื่อสาร (LAN ethernet) พร้อมกับเชื่อมต่อพีแอลซี เพื่อการเชื่อมต่อข้อมูลสถานะการทำงานและการควบคุมการทำงานของระบบเครื่องทำความเย็นผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต



ภาพที่ 3 ระบบการทำงานของชุดควบคุมระบบของเครื่องทำความเย็น



ภาพที่ 4 การเขียนโปรแกรมสำหรับจอแสดงสถานะการทำงานบนด้วยโปรแกรม 1tool

ในการเข้าใช้งานผ่านหน้าจอแสดงผลเพื่อเริ่มการทำงานของระบบโดยการเปิดสวิตซ์ System ON/OFF ไปที่ตำแหน่ง ON ดังภาพที่ 5 (ก) ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกโหมดการทำงานได้โดย

การกดตกลงให้คอร์เซอร์มากระพริบที่ตำแหน่ง Status เมื่อเลือกโหมดอัตโนมัติระบบจะทำการสั่งให้อุปกรณ์ทำงาน 1 ชุด ตามลำดับ กล่าวคือ วาล์วน้ำของซิลเลอร์ ป้อนน้ำฝั่งปฐมภูมิ ป้อนน้ำฝั่งทุติยภูมิ และทำการตรวจสอบอุณหภูมิ เพื่อสั่งให้ซิลเลอร์ทำงาน และตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ได้โดยการกดปุ่มที่มีสัญลักษณ์ลูกศรชี้ขึ้น-ลง บนหน้าจจะแสดงสถานะการทำงานของแต่ละชุด ดังภาพที่ 5 (ข) และ (ค) นอกจากนี้ ผู้ใช้งานสามารถเข้าไปกำหนดค่าเงื่อนไขการทำงานต่าง ๆ ได้ ซึ่งการตั้งค่าในส่วนแรกเป็นการตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำและช่วงของอุณหภูมิที่สั่งให้ซิลเลอร์ทำงาน ดังภาพที่ 4 (ง) เมื่อเลือกการตั้งค่าในแบบอัตโนมัติจะสามารถกำหนดช่วงเวลาทำงานของระบบในแต่ละชุด อุณหภูมิน้ำสูงสุด และอุณหภูมิน้ำต่ำสุดที่จะเกิดการแจ้งเตือน และเข้าสู่โหมด Alarm ต่อไป รวมถึงการเปิด/ปิดการใช้งานซิลเลอร์ เมื่อเลือกการตั้งค่าในแบบสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุมดังภาพที่ 5 จะสามารถสั่งการทำงานของอุปกรณ์ที่ต้องการได้ทันที แต่อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้งานจะสามารถใช้งานได้เมื่อเปิดสวิทช์เป็นแบบสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม ภายใต้เงื่อนไขการทำงานของระบบคือ ระบบป้อนน้ำด้านปฐมภูมิจะทำงานก็ต่อเมื่อมีวาล์วน้ำทำงานอย่างน้อย 1 ชุด และระบบซิลเลอร์จะทำงานเมื่อระบบป้อนน้ำด้านปฐมภูมิทำงานแล้วเท่านั้น เพื่อป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ โดยแผนผังการทำงานของระบบทำความเย็นตามเงื่อนไขของสภาวะที่กำหนดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7



(ก)



(ข)

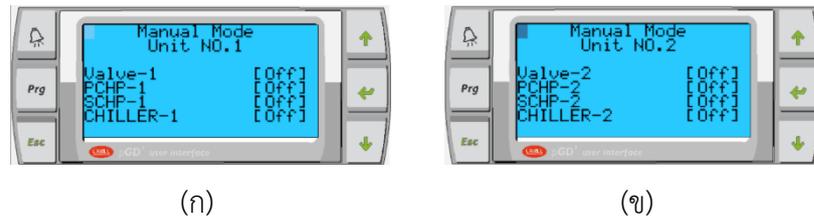


(ค)

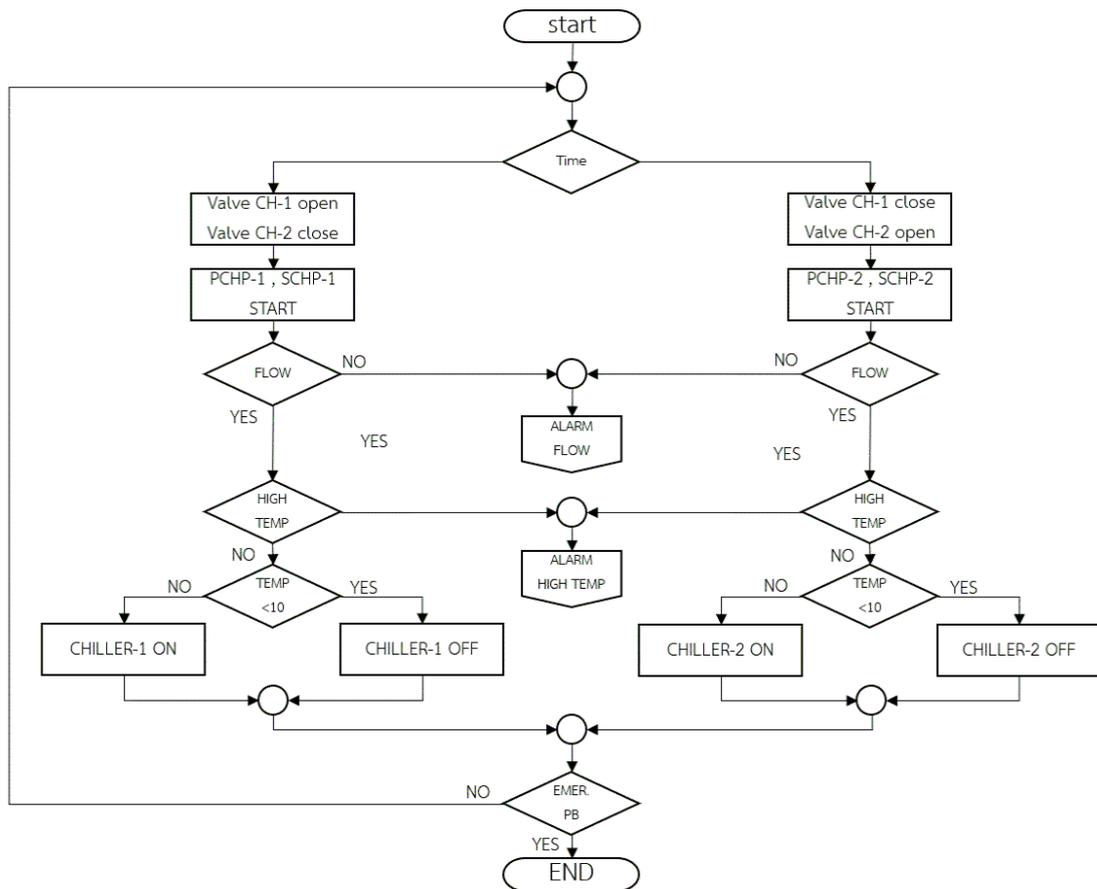


(ง)

ภาพที่ 5 หน้าต่างแสดงสถานะและการตั้งค่าการทำงานบนจอแสดงผล (แบบอัตโนมัติ)



ภาพที่ 6 หน้าต่างแสดงสถานะการทำงานบนจอแสดงผล (แบบสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผล)



ภาพที่ 7 แผนผังการทำงานของระบบทำความเย็นตามเงื่อนไขของสถานะที่กำหนด

### 3.3.4 การออกแบบตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องทำความเย็น

การออกแบบตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องทำความเย็นมีขนาดความกว้าง ความสูง และความยาวเท่ากับ 64, 92 และ 25 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยการออกแบบได้คำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ความสะดวกในการติดตั้ง งานซ่อมบำรุง การเพิ่มเติมและปรับปรุงระบบ การระบายอากาศให้ ภาะการใช้งานอุณหภูมิภายในตู้ไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาดของระบบ โดยตู้ควบคุมมีสวิตช์ลูกศร 3 ทางในการเลือกรูปแบบการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ เพื่อให้ระบบ สามารถใช้งานได้เมื่อตัวพีแอลซีเกิดปัญหา และไฟแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การออกแบบตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องทำความเย็น

#### 4. ผลการวิจัย

ผลการดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาและปรับปรุงการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด ภาณุวัฒน์ เอ็นจิเนียริ่ง เซอร์วิส โดยการทดสอบระบบการแสดงผลและการควบคุมระบบเครื่องทำความเย็น (ซิลเลอร์) แบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไข คือ การควบคุมระบบซิลเลอร์แบบสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม และการควบคุมระบบการทำงานของซิลเลอร์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ภายใต้เงื่อนไขของสถานะที่กำหนดสามารถวิเคราะห์และอภิปรายผลการทดสอบได้ดังนี้

##### 4.1 การควบคุมระบบซิลเลอร์แบบสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม

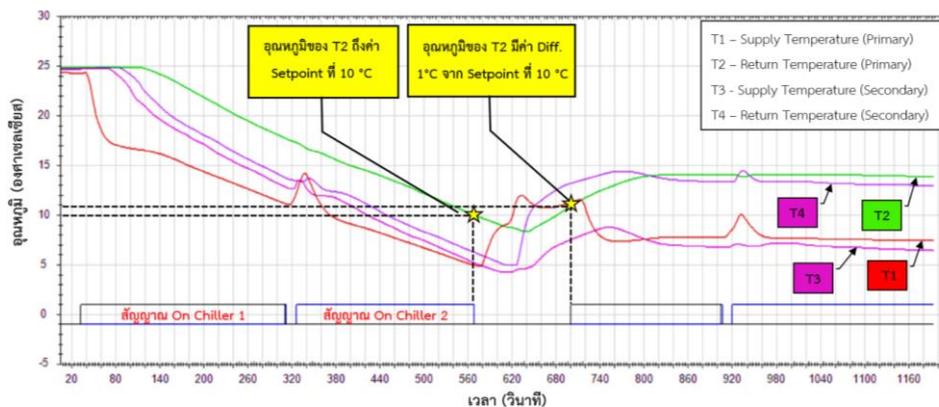
การทดสอบโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบใช้น้ำเย็นมาเป็นโหลดสำหรับทดสอบและใช้ซิลเลอร์ขนาด 120,000 บีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h) จำนวน 2 ชุด ซึ่งทดสอบการทำงานของซิลเลอร์ด้วยโหลดขนาด 132,000 บีทียูต่อชั่วโมง โดยเริ่มจากการใช้น้ำอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ใช้เครื่องทำความเย็นแบบใช้น้ำเย็นขนาด 132,000 บีทียูต่อชั่วโมง จำลองเป็นโหลด และตั้งค่าอุณหภูมิ (Set point) ที่ 10 องศาเซลเซียส โดยมีตู้ควบคุมสำหรับโหมดสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม ดังภาพที่ 9 ได้สั่งงานผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม โดยเลือกโหมดการทำงานแบบอัตโนมัติ ซึ่งแสดงผลการทดลองดังภาพที่ 10

จากผลการทดลองดังกล่าวสังเกตได้ว่า เมื่อเปิดระบบทำความเย็นอุณหภูมิของน้ำมีแนวโน้มลดลงมาอยู่ที่ 10 องศาเซลเซียส ก่อนจะตัดระบบการทำงาน (ซิลเลอร์หยุดทำงาน) โดยตรวจจับที่อุณหภูมิของ T2 (Return temperature primary) ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน ณ ขณะอ่านผ่านหน้าจอแสดงผลไม่เกิน  $\pm 1$  องศาเซลเซียส จากนั้นทำการการเพิ่มโหลดด้วยการเปิดเครื่องทำความเย็นทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนด (Setpoint) 1 องศาเซลเซียส ตามค่าผลต่าง

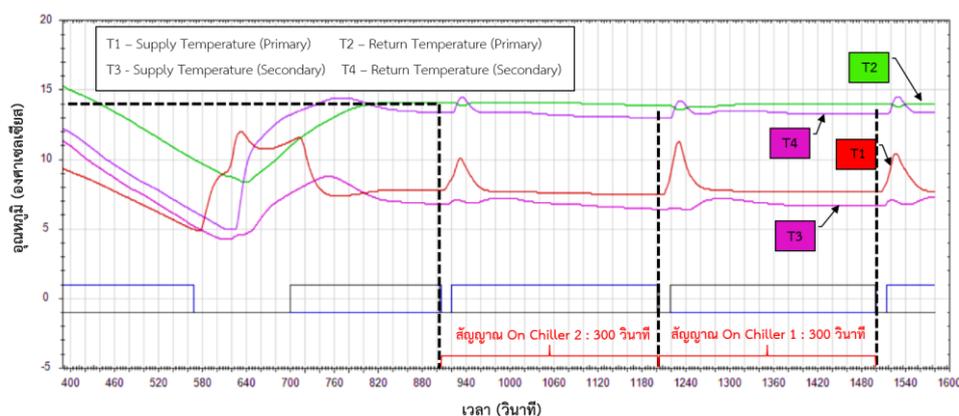
อุณหภูมิที่กำหนดไว้ระบบควบคุมจะมีคำสั่ง On Chiller เพื่อสั่งให้ซิลเลอร์กลับมาทำงานอีกครั้งด้วยการตรวจสอบเวลาการทำงานตามรอบของเวลาในการทดสอบใช้เวลาสลับทุก ๆ 5 นาที เมื่อเครื่องทำความเย็นทำงานเพื่อทำอุณหภูมิ T2 (Return temperature primary) ให้ได้อุณหภูมิที่กำหนดผลการทดสอบพบว่า ระบบทำความเย็นสามารถทำอุณหภูมิได้ใกล้เคียงตามค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งมีความแตกต่างไม่เกิน  $\pm 0.5$  องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 9 ตู้ควบคุมและการติดตั้งระบบเครื่องทำความเย็น



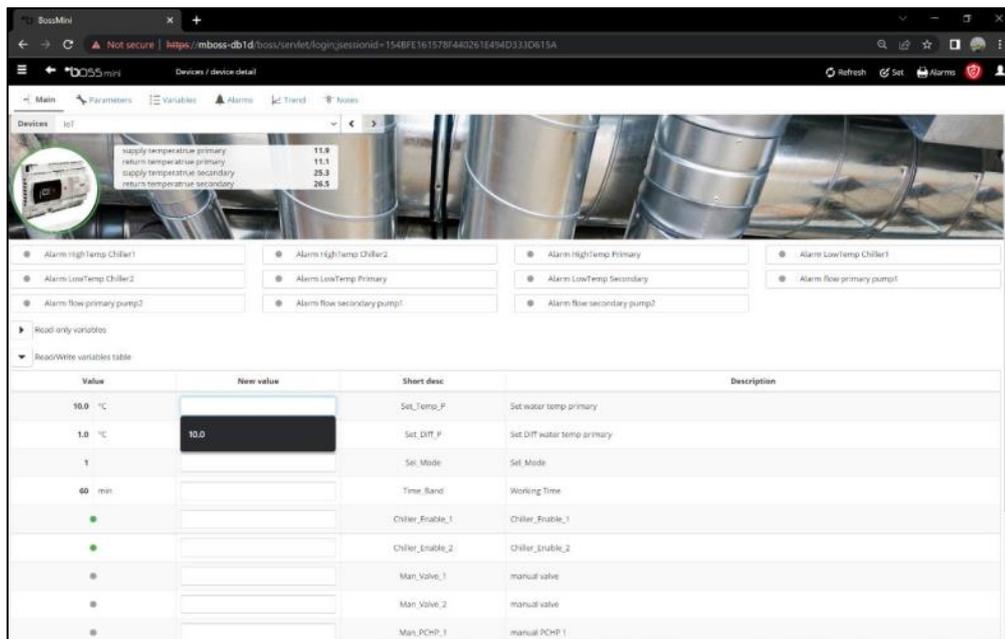
ภาพที่ 10 อุณหภูมิและสถานการณ์ทำงานของเครื่องทำความเย็น



ภาพที่ 11 อุณหภูมิและสถานการณ์ทำงานของเครื่องทำความเย็น

#### 4.2 การควบคุมระบบการทำงานของซิลเลอร์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

จากการพัฒนาการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยใช้อุปกรณ์มอเด็มหรือเครื่องทำความเย็นผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์ของยี่ห้อคาเรล ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าสามารถตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ดังภาพที่ 12



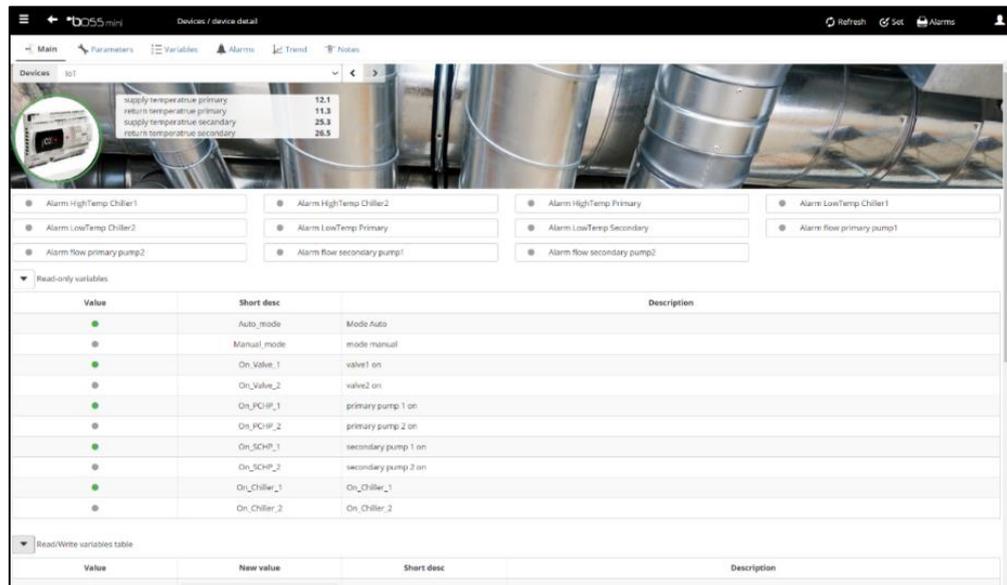
ภาพที่ 12 การตั้งค่าอุณหภูมิและเลือกสถานะการทำงานของเครื่องทำความเย็นผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์

ผลการทดสอบดังภาพที่ 13 เป็นการแสดงอุณหภูมิและสถานะการทำงานของเครื่องทำความเย็นผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายใต้เงื่อนไขที่สภาวะกำหนด และสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องทำความเย็นด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 14

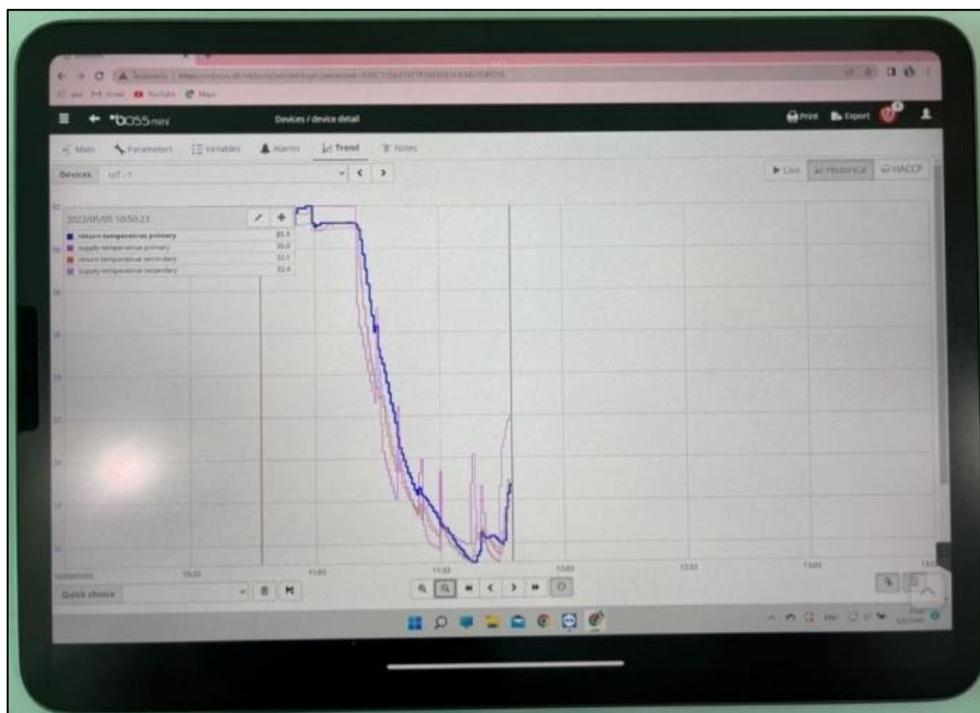
#### 4.3 การทำงานของเครื่องทำความเย็นภายใต้สถานการณ์การจำลอง

จากการพัฒนาการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง รวมถึงการประเมินการทำงานของเครื่องทำความเย็นภายใต้สถานการณ์การจำลองโดยการทดสอบซ้ำด้วยสถานการณ์จำลองเดียวกันจำนวน 5 ครั้ง เพื่อประเมินความถูกต้องในการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับระบบทำความเย็น ผลจากการทดสอบพบว่า เมื่อกำหนดสถานการณ์จำลองให้กับระบบที่สภาวะอุณหภูมิน้ำสูงสุด เพื่อให้มีสัญญาณ High temp ระบบจะเกิดการหน่วงเวลา 10 วินาที ซึ่งระยะเวลาในการหน่วงนี้จะขึ้นกับความต้องการของระบบที่จะนำไปใช้งาน จากนั้นวาล์วน้ำ (Valve-1) และซิลเลอร์อีกชุด (Chiller-1)

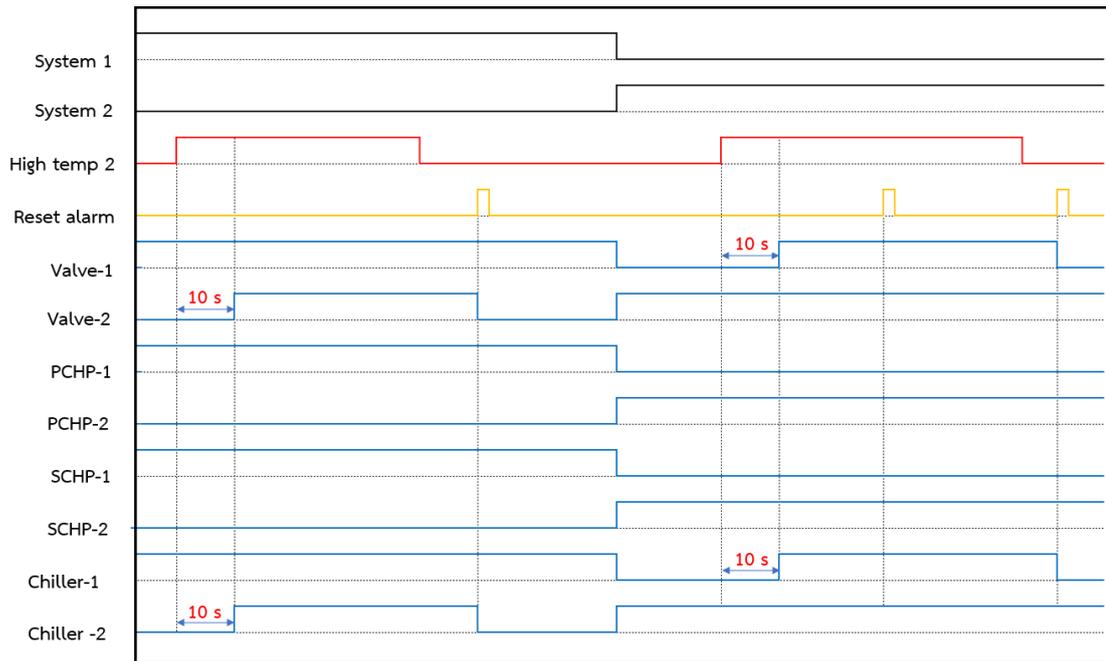
จะเริ่มทำงาน แสดงเป็นเส้นสัญญาณดังภาพที่ 15 นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติจากการทดสอบนี้บ่งชี้ให้เห็นว่าการทำงานของระบบทำความเย็นนี้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สถานการณ์การจำลองที่กำหนด



ภาพที่ 13 การแสดงอุณหภูมิและสถานะการทำงานของเครื่องทำความเย็น



ภาพที่ 14 การแสดงตรวจสอบอุณหภูมิและสถานะการทำงานของเครื่องทำความเย็นผ่านอุปกรณ์



ภาพที่ 15 การแสดงผลการทำงานของเครื่องทำความเย็นภายใต้สถานการณ์การจำลอง

## 5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากผลการดำเนินงานวิจัยเพื่อพัฒนาและปรับปรุงการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม สำหรับกรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัด ภาณุวัฒน์ เอ็นจิเนียริ่ง เซอร์วิส ซึ่งระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ในปัจจุบันเป็นแบบควบคุมระบบด้วยรีเลย์เพียงอย่างเดียว ทำให้เกิดปัญหาในการปรับเปลี่ยนการทำงานของระบบควบคุมเมื่อเกิดการชำรุดหรือเสียหายของระบบทำความเย็น โดยผลจากการดำเนินการวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวสามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่า การตรวจสอบสถานะและควบคุมเครื่องทำความเย็นหรือซิลเลอร์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสามารถทำงานเป็นไปตามขอบเขตที่กำหนด ซึ่งระบบควบคุมที่ออกแบบสามารถควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ให้ทำงานได้ทั้งแบบอัตโนมัติที่สามารถสลับการทำงานได้อัตโนมัติหรือสลับเมื่อมีการแจ้งเตือนของระบบ และสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบสถานะและควบคุมการทำงานแบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ทำให้สามารถนำข้อมูลมาประมวลผลและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน ประกอบกับงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นต้นแบบสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบควบคุมต่าง ๆ ในภาคอุตสาหกรรมและตอบสนองนโยบายของภาครัฐในการก้าวสู่ยุคอุตสาหกรรม 4.0

## 6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นายพรเทพ ประเสริฐทรัพย์ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมระบบวัดคุม ที่ช่วยดำเนินการวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี สาขาวิชาวิศวกรรมระบบวัดคุมและแมคคาทรอนิกส์ สถาบันนวัตกรรมมหานคร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และสาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนได้รับความอนุเคราะห์จากห้างหุ้นส่วนจำกัด ภาณุวัฒน์ เอ็นจิเนียริง เซอร์วิส ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย

## 7. เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา, กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. (2565). **ภูมิอากาศของประเทศไทย**. ค้นจาก <https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=22>
- กาญจนา ดงสงคราม, สิทธิโชค พรรคพิทักษ์, ปริญญา เปรมโต และธนาพล ตรีสกุล. (2565). การพัฒนาระบบควบคุมสถานะแวดล้อมโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในโรงเรือนจำลอง กรณีศึกษา ลูกไก่ชนสายพันธุ์พม่า. **วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ**, 8(1), 103-116.
- สมมาตร พรหมพุ่ม และนพรุจ เขียวนาค. (2565). การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องกักซีเอ็นซีขนาดเล็กโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม**, 4(1), 1-14.
- อภิรักษ์ พันธุ์พฒาสกุล, พิตรี ยะปา และอัลนิสฟาร์ เจะดีอราแม. (2563, กรกฎาคม). **การพัฒนาระบบเปิด-ปิดไฟด้วยไมโครเซนเซอร์ควบคู่กับแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน**. การประชุมมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติและนานาชาติครั้งที่ 11, มหาวิทยาลัยหาดใหญ่, สงขลา.
- Cengel, Boles, M. A., & Kanoglu, M. (2020). **Thermodynamics: an engineering approach** (9th ed. in SI unit). McGraw-Hill Education.
- Chavda, D. N., & Arya, J. (2014). Design and Performance Analysis of Water Chiller – A Research. **International Journal of Engineering Research and Applications**, 6(4), 19-25.
- Nord, J.H., Koohang, A., & Paliszkievicz, J. (2019). The Internet of Things: Review and theoretical framework. **Expert Systems with Applications**, 133, 97-108.
- Pang, L., Wang, C.-W., Lawford, M., & Wassying, A. (2015). Formal verification of function blocks applied to IEC 61131-3. **Science of Computer Programming**, 113, 149-190.



- Stoecker, W.F., & Jones, J.W. (1982). **Refrigeration and Air Conditioning**. McGraw-Hill.
- Xu, L.D., Xu, E.L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, 56(8), 2941-2962.

การพัฒนาเคลือบเซรามิกส์ที่มีเฟอร์ริกออกไซด์ ไทเทเนียมไดออกไซด์  
และแบเรียมคาร์บอเนตเป็นสารเพิ่มเติม  
THE DEVELOPMENT OF GLAZE CONTAINING FERRIC OXIDE,  
TITANIUM DIOXIDE AND BARIUM CARBONATE AS ADDITIVES

จุมพฏ พงศ์ศักดิ์ศรี

Jumpot Phongsaksri

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

Corresponding author e-mail: jumpot\_ph@psru.ac.th

วันที่เข้าระบบ 27 พฤศจิกายน 2565

วันที่แก้ไขบทความ 21 กุมภาพันธ์ 2566

วันที่ตอบรับบทความ 22 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเกิดสีของเคลือบ ทดสอบความสว่างและค่าสีของเคลือบเซรามิกส์ และเพื่อศึกษาลักษณะและความสมบูรณ์ของผิวเคลือบเซรามิกส์ ดำเนินการวิจัยโดยกำหนดเคลือบพื้นฐานที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ และแบเรียมคาร์บอเนตเป็นสารเพิ่มเติมแบบเจาะจงจากตารางคำนวณวัตถุดิบ 2 ชนิด จำนวน 7 สูตร และใช้เฟอร์ริกออกไซด์เป็นสารเพิ่มเติม ร้อยละ 10 ร้อยละ 15 และ ร้อยละ 20 ทุกส่วนผสม เเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบออกซิเดชัน ผลการวิจัยพบว่า การเกิดสีของเคลือบ มี 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสีน้ำตาลมีจุดผลึก กลุ่มสีน้ำตาล กลุ่มสีน้ำตาลเข้ม และกลุ่มสีน้ำตาลเข้มมีผลึกขนาดเล็ก ความสว่างและค่าสีของเคลือบ มีค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง +2.19 ถึง +30.56 มีค่าสี  $a^*$  อยู่ระหว่าง -0.25 ถึง +7.30 ค่าสี  $b^*$  อยู่ระหว่าง +4.76 ถึง +18.79 3. ลักษณะและความสมบูรณ์ของผิวเคลือบเซรามิกส์ มีความมันแวววาวทุกสูตรส่วนผสม โดยมีจุดผลึก จำนวน 6 สูตร และเกิดผลึกขนาดเล็ก จำนวน 5 สูตร มีค่าระดับความมันของผิวเคลือบเฉลี่ยอยู่ที่ 47 GU และผิวเคลือบมีความสมบูรณ์ทุกสูตรส่วนผสม เคลือบเซรามิกส์ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย หินฟันม้า ร้อยละ 45 โดโลไมท์ ร้อยละ 10 แคลเซียมคาร์บอเนต ร้อยละ 13 ดินขาว ร้อยละ 7 และ หินเขี้ยวหนูมาน ร้อยละ 25 โดยใช้สารเพิ่มเติม ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 10 แบเรียมคาร์บอเนต ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 10 และเฟอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 20

คำสำคัญ: เคลือบ, เซรามิกส์, สารเพิ่มเติม, เคลือบผลึก

## Abstract

This research aimed to explore the effects of color and brightness in ceramic glaze and examine the physical qualifications of the best pottery glaze by adding titanium dioxide, and barium carbonate. The two raw materials were purposively chosen from Triaxial diagram. The suitable number of experiments was 7 mixtures, and each mixture included 10%, 15%, and 20% of ferric oxide. The characteristics of physical qualifications were studied after burning at 1230 degrees Celsius under an oxidation atmosphere. The results of this research showed that the glaze consisted of four-color tones which were brown with spots, brown, dark brown, and dark brown with small aventurine glaze. The values of the color glazing were at  $L^*$  shade with the average at +2.19 to +30.56,  $a^*$  shade with the average at -0.25 to +7.30, and at  $b^*$  shade with the average at +4.76 to +18.79. The physical qualifications of the glaze showed complete and glossy characteristics in every mixture. There were spots in 6 mixtures, and aventurine in 5 mixtures. The specular gloss meter was at 47 GU, and the physical qualifications of the glaze showed complete and glossy characteristic in every mixture. The developed glaze consisted of 45% of potash feldspar, 10% of dolomite, 13% of calcium carbonate, 7% of kaolin, and 25% of quartz. The additives used in the glaze were 1-10% of titanium dioxide, 1-10% of barium carbonate, and 10-20% of ferric oxide.

**Keywords:** Glaze, Ceramics, Additives, Crystal glaze

## 1. บทนำ

น้ำเคลือบ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะลูมิโนซิลิเกต (Alumino silicate) ที่มีลักษณะหลอมตัวจนกลายเป็นแก้วเกาะติดอยู่บนผิวผลิตภัณฑ์ (สมศักดิ์, 2549) ซึ่งการเคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์จะทำให้ภาชนะมีความแข็งแรง ทนทาน มีความสวยงามน่าใช้สะดวกในการล้างทำความสะอาด สามารถป้องกันไม่ให้ของเหลวและแก๊สไหลผ่านได้ สามารถปิดบังผิวดินได้ดี (สุขุมาล, 2548) ซึ่งการที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์มีความสวยงามยิ่งขึ้นนักเซรามิกส์มักใช้ ออกไซด์ (Oxide) ผสมในเคลือบ ซึ่งถือเป็นวัตถุดิบที่สำคัญที่จะช่วยให้เคลือบเซรามิกส์มีสีสวยงาม มีความหลากหลายน่าสนใจ และยังเป็น การเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภค ซึ่งเทคนิคการสร้างเคลือบเซรามิกส์ให้มีสีในปัจจุบันนี้นักเซรามิกส์ยังนิยมใช้เคลือบสีพื้นฐานซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการพัฒนาสีของเคลือบที่มีความสะดวกมากวิธีหนึ่งแล้วใช้ออกไซด์ให้สีเป็นสารเพิ่มเติม ซึ่งออกไซด์บางชนิดอาจให้สีได้หลายสี เมื่อเผาในอุณหภูมิและบรรยากาศการเผาที่แตกต่างกัน รวมถึงการผสมกับ

ออกไซด์ของโลหะชนิดอื่นๆก็สามารถให้สีที่แตกต่างกันได้ การใช้เฟอร์ริกออกไซด์ (Ferric oxide) ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ในการนำมาใช้ผสมในสูตรเคลือบ แต่หากมีการใส่เฟอร์ริกออกไซด์ ในปริมาณที่สูงมาก ตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 20 จะเกิดผลึกเล็กๆ คล้ายกากเพชรในชั้นของเคลือบหรือเรียกว่า เคลือบอะเวนจูริน (Aventurine glaze) ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเผาเคลือบในอุณหภูมิที่สูงมากในช่วง 1250-1280 องศาเซลเซียส (ไพจิตร, 2547) ส่วนไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) มีสมบัติเป็นสารที่ให้สีทึบแสงซึ่งเมื่อนำมาใช้ร่วมกับออกไซด์ให้สีชนิดอื่นจะช่วยทำให้เคลือบแตกตัวเป็นจุด จึงนิยมใช้ในเคลือบจุดหรือเคลือบเกิดผลึกซึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์มักจะทำให้เคลือบมีสีที่แปลกแตกต่างและมีความน่าสนใจยิ่งขึ้น (ไพจิตร, 2546) และเนื่องจากการสร้างเคลือบที่ใช้ปริมาณของเฟอร์ริกออกไซด์ที่สูงถึงร้อยละ 10-20 จะส่งผลให้อุณหภูมิการเผาของเคลือบสูงมากขึ้น มีระยะเวลาการเผาที่มากขึ้น และมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่สูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการใช้ตัวช่วยหลอมละลายจึงมีความจำเป็นที่ต้องมาเป็นส่วนผสมเพิ่มเติมในสูตรเคลือบ ซึ่งแบเรียมคาร์บอเนต (Barium carbonate) ถือเป็นออกไซด์ที่มีหน้าที่เป็น ฟลักซ์ (Flux) ที่ดีช่วยให้เคลือบหลอมละลายได้ดี เป็นตัวลดจุดหลอมตัวของเคลือบ (ปริดา, 2547) เป็นวัตถุดิบที่ใช้เป็นตัวเร่งการหลอมละลาย ร้อยละ 5 ถึง ร้อยละ 8 ที่อุณหภูมิปานกลางถึงอุณหภูมิสูง ระหว่าง 1180-1250 องศาเซลเซียส (ไพจิตร, 2547)

ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะการพัฒนาเคลือบเซรามิกส์จากเฟอร์ริกออกไซด์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ และแบเรียมคาร์บอเนตเป็นสารเพิ่มเติม ซึ่งผลที่ได้จากทดลองวิจัยสามารถนำสูตรเคลือบที่พัฒนาขึ้นไปเคลือบผลิตภัณฑ์ประเภทสโตนแวร์ (Stoneware) และสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปถ่ายทอดเกี่ยวกับแนวทางในการพัฒนาสูตรเคลือบสู่วิสาหกิจชุมชน สถานประกอบการอุตสาหกรรมด้านเซรามิกส์ได้ต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาการเกิดสีของเคลือบ ทดสอบค่าสีและความสว่างของเคลือบเซรามิกส์
- 2.2 เพื่อศึกษาลักษณะและความสมบูรณ์ของผิวเคลือบเซรามิกส์

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาเคลือบเซรามิกส์จากเฟอร์ริกออกไซด์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ และแบเรียมคาร์บอเนตเป็นสารเพิ่มเติม ในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการดำเนินการวิจัย ไว้ 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาการเกิดสีของเคลือบ ทดสอบค่าสีและความสว่างของเคลือบเซรามิกส์ มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. กำหนดสูตรเคลือบเซรามิกส์พื้นฐานที่ใช้ในการผสม โดยผู้วิจัยเป็นผู้คิดค้นสูตรเคลือบขึ้น มีส่วนผสมดังนี้ หินฟันม้า ร้อยละ 45 โดโลไมท์ ร้อยละ 10 แคลเซียมคาร์บอเนต ร้อยละ 13 ดินขาว ร้อยละ 7 และ หินเขี้ยวหนุมาน ร้อยละ 25
2. กำหนดอัตราส่วนผสมของไทเทเนียมไดออกไซด์ และแบเรียมคาร์บอเนตเป็นสารเพิ่มเติมเป็นสารเพิ่มเติมในเคลือบ รวมร้อยละ 10 โดยใช้การกำหนดส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองแบบเจาะจง (Porposive sampling) จากการใช้ตารางคำนวณวัตถุดิบ 2 ชนิด (Biaxial blend) (สมศักดิ์ ขวาลาววัลย์, 2549) จำนวน 7 ส่วนผสม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของไทเทเนียมไดออกไซด์ และแบเรียมคาร์บอเนต

ส่วนผสมที่	1	2	3	4	5	6	7
แบเรียมคาร์บอเนต	0	1	3	5	7	9	10
ไทเทเนียมไดออกไซด์	10	9	7	5	3	1	0
รวม	10	10	10	10	10	10	10

3. กำหนดอัตราส่วนผสมของเฟอร์ริกออกไซด์ เป็นสารเพิ่มเติมในเคลือบเซรามิกส์ จำนวน 3 ช่วงได้แก่ ร้อยละ 10 ร้อยละ 15 ร้อยละ 20
4. ชั่งส่วนผสมทั้งหมดด้วยเครื่องชั่งระบบดิจิทัลบริษัท Mettler Toledo (0.001g) รุ่น PG203-S และบดผสมด้วยเครื่องบดผสมความเร็วสูง (Hi-speed) ขนาดเล็ก สูตรละ 5 นาที
5. ขึ้นรูปแผ่นทดลอง (Test pieces) ด้วยดินสโตนแวร์สำเร็จรูปของบริษัท พอทเทอร์รีเคลย์จำกัด (Pottery Clay) แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส
6. ชุบเคลือบแผ่นทดลองโดยใช้เวลาในการชุบเคลือบบนแผ่นทดลอง 3 วินาที
7. เผาแผ่นทดลองที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชัน (Oxidation firing) ด้วยเตาเผาชนิดไฟฟ้าบริษัท Carbolite Gero Ltd. รุ่น CWF1300 เผายืนไฟ เป็นเวลา 15 นาที วัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบไพโรเมตริกเทอร์โมคัพเปิล (Pyrometric thermocouple) และนำแผ่นทดลองออกจากเตาเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส
8. วิเคราะห์การเกิดสีของเคลือบ ดังนี้ 1) สังเกตสีเคลือบจากแผ่นทดลอง 2) สีเคลือบที่สแกน(Scan) ด้วยเครื่อง Colorimeter Linshang รุ่น LS171 ได้แก่ รูปแบบรหัสสี (Color format) RGB CMYK และ 3) และ รูปแบบรหัสสีตามเฉดสีของ RAL-LS color chart (RAL color standard)
9. วิเคราะห์ความสว่างและค่าสีของเคลือบด้วยเครื่อง Chroma meter รุ่น CR-400 บริษัท Konica Minolta ในระบบสเกลสี (Color Scale)  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ของ Hunter lab scale ซึ่งเป็นระบบการวิเคราะห์สีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน  $L^*$  จะบรรยายถึงความสว่าง (Lightness) จากค่า  $+L^*$



แสดงถึงสีขาว จนไปถึง  $-L^*$  แสดงถึงสีดำ แกน  $a^*$  จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ( $-a^*$ ) ไปจนถึงแดง ( $+a^*$ ) ส่วนแกน  $b^*$  จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ( $-b^*$ ) ไปเหลือง ( $+b^*$ )

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาลักษณะและความสมบูรณ์ของผิวเคลือบเซรามิกส์ มีขั้นตอนดังนี้

1. นำแผ่นทดลองที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาศึกษาลักษณะและความสมบูรณ์ของผิวเคลือบ
2. วิเคราะห์ลักษณะของผิวเคลือบ โดยกำหนดลักษณะเคลือบเป็น 4 ลักษณะ ได้แก่  
1) ผิวเคลือบมีลักษณะมันแวววาว (Bright) 2) ผิวเคลือบมีลักษณะกึ่งมันกึ่งด้าน (Semi mat) 3) ผิวเคลือบมีลักษณะด้าน (Mat) 4) ผิวเคลือบมีลักษณะไม่สุกตัว (Un fused) และทำวิเคราะห์ค่าระดับความมันของผิวเคลือบด้วยเครื่องวัดความเงา (Gloss meter) รุ่น YG60S/3NH มีหน่วยวัดเป็น Gloss unit (GU)

3. วิเคราะห์ความสมบูรณ์ของผิวเคลือบ โดยที่ผิวเคลือบที่สมบูรณ์ต้องไม่มีตำหนิ 7 ลักษณะ ได้แก่ 1) รูเข็ม (Pinhole) หมายถึง รูเล็กๆ ที่เกิดบนผิวเคลือบ 2) การราราน (Crazing) หมายถึง ลักษณะเป็นเส้นตาข่ายเรียกว่าเคลือบแตกกลายงา 3) การแตกร่อนบริเวณริมขอบ (Shivering) หมายถึง เคลือบที่ไม่ติดตามริมขอบผลิตภัณฑ์ 4) การร่อนออกจากเนื้อดินปั้น (Peeling) หมายถึง เคลือบที่ร่อนออกมาเป็นแผ่นๆ จากผลิตภัณฑ์ 5) การแยกตัวออกจากกันของเคลือบ (Crawling) หมายถึง เคลือบที่แยกออกจากกันทำให้เคลือบว่าง ไม่มีเคลือบต่อ 6) เคลือบไหลตัวมาก (Running of glaze) หมายถึง เคลือบที่ไหลตัวออกจากผลิตภัณฑ์ไปกองอยู่รอบๆ บนแผ่นรวมผลิตภัณฑ์ในเตา และ 7) เคลือบด้านไม่ตรงกับความเป็นจริง (Loss of glaze) เคลือบที่เกิดการสูญเสียของส่วนผสมของเคลือบ ซึ่งอาจเกิดจากการเผาอุณหภูมิเกิน ทำให้สารบางอย่างที่ระเหยได้ง่ายระเหยไปหมด

#### 4. ผลการวิจัย

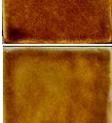
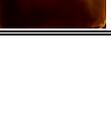
การพัฒนาเคลือบเซรามิกส์จากเฟอร์ริกออกไซด์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ และแบเรียมคาร์บอเนตเป็นสารเพิ่มเติม ในครั้งนี้ ภายหลังจากการดำเนินการทดลองมีผลการวิจัยดังนี้

1. ผลการศึกษาการเกิดสีของเคลือบ ทดสอบความสว่างและค่าสีของเคลือบเซรามิกส์ ซึ่งมีรายละเอียดผลการศึกษาวิจัย แยกเป็น 2 ข้อ ดังนี้

- 1.1 ผลการวิเคราะห์การเกิดสีของเคลือบเซรามิกส์ภายหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีผลการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 2 และ ภาพที่ 1 พบว่า 1.การเกิดสีของเคลือบเซรามิกส์ แบ่งได้ออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ 1) กลุ่มสีน้ำตาลมีจุดผลึก (Brown spot tone) โดยเป็นสูตรที่มีเฟอร์ริกออกไซด์เป็นสารเพิ่มเติม ร้อยละ 10 ได้แก่สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 และ เฟอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ 15 ได้แก่ สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 2) กลุ่มสีน้ำตาล (Brown tone) โดยเป็นสูตรที่มีเฟอร์ริกออกไซด์เป็นสารเพิ่มเติม ร้อยละ 10 ได้แก่สูตรที่ 6 สูตรที่ 7 เฟอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ 15 ได้แก่ สูตรที่ 3 สูตรที่ 4 เฟอร์

ริกออกไซด์ ร้อยละ20 ได้แก่ สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 สูตรที่ 4 3) กลุ่มสีน้ำตาลเข้ม (Dark brown tone) โดยเป็นสูตรที่มีเฟอร์ริกออกไซด์เป็นสารเพิ่มเติม ร้อยละ10 ได้แก่ สูตรที่ 5 เฟอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ15 ได้แก่ สูตรที่ 7 และ 2. ค่า RGB อยู่ระหว่าง70-142, 70-124, 64-113 และ 3. ค่าสีในระบบ RAL-LS color chart อยู่ระหว่าง RAL-LS 7002 - RAL-LS 9011 4) กลุ่มสีน้ำตาลเข้มมีผลึกขนาดเล็ก (Dark brown and aventurine tone) โดยเป็นสูตรที่มีเฟอร์ริกออกไซด์เป็นสารเพิ่มเติม ร้อยละ15 ได้แก่ สูตรที่ 5 สูตรที่ 6 เฟอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ 20 ได้แก่ สูตรที่ 5 สูตรที่ 6 สูตรที่ 7

ตารางที่ 2 การเกิดสีของเคลือบเซรามิกส์

สูตร	เฟอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ10			เฟอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ15			เฟอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ20		
	แผ่น	RGB	RAL	แผ่น	RGB	RAL	แผ่น	RGB	RAL
	ทดลอง		Chart	ทดลอง		Chart	ทดลอง		Chart
1		RGB: 142, 124, 110	RAL-LS 7006		RGB: 116, 96, 91	RAL-LS 8025		RGB: 117, 90, 79	RAL-LS 8007
2		RGB: 135, 122, 110	RAL-LS 7002		RGB: 114, 91, 86	RAL-LS 8011		RGB: 116, 86, 74	RAL-LS 8007
3		RGB: 133, 123, 113	RAL-LS 7003		RGB: 109, 88, 82	RAL-LS 8011		RGB: 114, 84, 74	RAL-LS 8002
4		RGB: 97, 95, 96	RAL-LS 7015		RGB: 104, 84, 78	RAL-LS 8011		RGB: 102, 81, 73	RAL-LS 8016
5		RGB: 70, 70, 71	RAL-LS 9011		RGB: 71, 72, 73	RAL-LS 7021		RGB: 72, 72, 73	RAL-LS 9004
6		RGB: 94, 73, 64	RAL-LS 8016		RGB: 70, 69, 71	RAL-LS 7021		RGB: 73, 74, 74	RAL-LS 7016
7		RGB: 119, 91, 66	RAL-LS 8008		RGB: 85, 75, 72	RAL-LS 8017		RGB: 79, 77, 76	RAL-LS 8019



ภาพที่ 1 เคลือบเซรามิกสีบนผลิตภัณฑ์

1.2 ผลการทดสอบความสว่างและค่าสีของเคลือบเซรามิกสีภายหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีผลการทดสอบดังตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสี ( $a^*$ ) และ ค่า ( $b^*$ ) โดยแบ่งกลุ่มตามการเกิดสี พบว่า 1. กลุ่มสีน้ำตาลมีจุดผลึก มีค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง +17.57 ถึง +30.56 มีค่าสี  $a^*$  อยู่ระหว่าง -0.64 ถึง +4.13 ค่าสี  $b^*$  อยู่ระหว่าง +6.01 ถึง +16.91 2. กลุ่มสีน้ำตาล มีค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง +12.35 ถึง +18.31 มีค่าสี  $a^*$  อยู่ระหว่าง +4.31 ถึง +7.30 ค่าสี  $b^*$  อยู่ระหว่าง +13.99 ถึง +18.79 3. กลุ่มสีน้ำตาลเข้ม มีค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง +3.55 ถึง +9.35 มีค่าสี  $a^*$  อยู่ระหว่าง -1.91 ถึง +3.00 ค่าสี  $b^*$  อยู่ระหว่าง +4.98 ถึง +17.39 และ 4) กลุ่มสีน้ำตาล

เข้มมีผลึกขนาดเล็ก มีค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง +2.19 ถึง +5.97 มีค่า  $a^*$  อยู่ระหว่าง -0.25 ถึง +0.51 ค่า  $b^*$  อยู่ระหว่าง +4.76 ถึง +10.85

**ตารางที่ 3** ผลการทดสอบความสว่างและค่าสีของเคลือบเซรามิกส์

สูตรที่	ปริมาณเพอร์ริกออกไซด์ (ร้อยละ)								
	ร้อยละ 10			ร้อยละ 15			ร้อยละ 20		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$
1	+30.56	-0.64	+16.91	+19.29	+2.92	+12.92	+18.31	+5.90	+17.88
2	+29.70	-1.66	+15.57	+19.28	+4.13	+13.80	+17.64	+6.55	+18.33
3	+26.75	-2.47	+12.47	+16.90	+4.31	+13.99	+16.30	+7.30	+18.79
4	+17.57	-2.72	+6.01	+13.87	+4.33	+14.23	+12.35	+4.42	+16.22
5	+3.55	-1.91	+4.98	+4.23	-2.75	+4.76	+5.97	-2.65	+5.47
6	+12.38	+3.27	+18.38	+3.18	-0.25	+7.03	+2.19	-1.63	+6.68
7	+11.85	+3.46	+22.70	+9.35	+3.00	+17.39	+3.62	+0.51	+10.85

จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสี ( $a^*$ ) และ ค่า ( $b^*$ ) โดยแบ่งกลุ่มตามการเกิดสี พบว่า 1. กลุ่มสีน้ำตาลมีจุดผลึก มีค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง +17.57 ถึง +30.56 มีค่า  $a^*$  อยู่ระหว่าง -0.64 ถึง +4.13 ค่า  $b^*$  อยู่ระหว่าง +6.01 ถึง +16.91 2. กลุ่มสีน้ำตาล มีค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง +12.35 ถึง +18.31 มีค่า  $a^*$  อยู่ระหว่าง +4.31 ถึง +7.30 ค่า  $b^*$  อยู่ระหว่าง +13.99 ถึง +18.79 3. กลุ่มสีน้ำตาลเข้ม มีค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง +3.55 ถึง +9.35 มีค่า  $a^*$  อยู่ระหว่าง -1.91 ถึง +3.00 ค่า  $b^*$  อยู่ระหว่าง +4.98 ถึง +17.39 และ 4) กลุ่มสีน้ำตาลเข้มมีผลึกขนาดเล็ก มีค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง +2.19 ถึง +5.97 มีค่า  $a^*$  อยู่ระหว่าง -0.25 ถึง +0.51 ค่า  $b^*$  อยู่ระหว่าง +4.76 ถึง +10.85

2. ผลการศึกษาลักษณะและความสมบูรณ์ของผิวเคลือบหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีผลการศึกษาดังตารางที่ 4 และภาพที่ 1

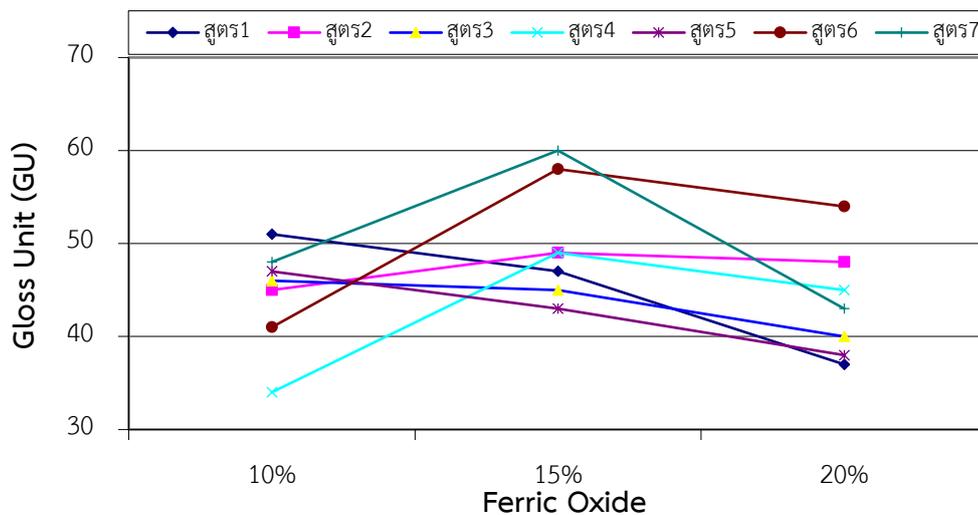
**ตารางที่ 4** ลักษณะและความสมบูรณ์ของเคลือบเซรามิกส์

สูตรส่วนผสม ที่	ลักษณะของผิวเคลือบ			ความสมบูรณ์ของเคลือบ		
	ปริมาณเพอร์ริกออกไซด์ (ร้อยละ)					
	ร้อยละ10	ร้อยละ15	ร้อยละ20	ร้อยละ10	ร้อยละ15	ร้อยละ20
1	มันแววาว	มันแววาว	มันแววาว	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์
	51 GU	47 GU	37 GU	มีจุดผลึก	มีจุดผลึก	



สูตรส่วนผสม ที่	ลักษณะของผิวเคลือบ			ความสมบูรณ์ของเคลือบ		
	ปริมาณเฟอร์ริกออกไซด์ (ร้อยละ)					
	ร้อยละ10	ร้อยละ15	ร้อยละ20	ร้อยละ10	ร้อยละ15	ร้อยละ20
2	มันแวววาว	มันแวววาว	มันแวววาว	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์
	45 GU	49 GU	48 GU	มีจุดผลึก	มีจุดผลึก	
3	มันแวววาว	มันแวววาว	มันแวววาว	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์
	46 GU	45 GU	40 GU	มีจุดผลึก		
4	มันแวววาว	มันแวววาว	มันแวววาว	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์
	34 GU	49 GU	45 GU	มีจุดผลึก		
5	มันแวววาว	มันแวววาว	มันแวววาว	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์
	47 GU	43 GU	38 GU		มีผลึกขนาดเล็ก	มีผลึกขนาดเล็ก
6	มันแวววาว	มันแวววาว	มันแวววาว	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์
	41 GU	58 GU	54 GU		มีผลึกขนาดเล็ก	มีผลึกขนาดเล็ก
7	มันแวววาว	มันแวววาว	มันแวววาว	สมบูรณ์	สมบูรณ์	สมบูรณ์
	48 GU	60 GU	43 GU			มีผลึกขนาดเล็ก

จากตารางที่ 4 พบว่า 1. ลักษณะของเคลือบมีความมันแวววาวทุกสูตรส่วนผสม โดยมีจุดผลึก จำนวน 6 สูตร และเกิดผลึกขนาดเล็กจำนวน 5 สูตร 2. ค่าระดับความมันของผิวเคลือบด้วยเครื่องวัดความเงา Gloss Unit (GU) อยู่ระหว่าง 34- 60 GU 3. ผิวเคลือบมีความสมบูรณ์ทุกสูตรส่วนผสม



ภาพที่ 2 ระดับความมันของผิวเคลือบ

## 5. สรุปผลและการอภิปรายผล

### 5.1 อภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาเคลือบเซรามิกส์จากเฟอร์ริกออกไซด์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ และแบเรียมคาร์บอเนตเป็นสารเพิ่มเติม ในครั้งนี้ สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การเกิดสีของเคลือบ ทดสอบความสว่างและค่าสีของเคลือบเซรามิกส์ สามารถอภิปรายผลการวิจัย ได้ดังนี้

1.1 การเกิดสีของเคลือบภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มี 4 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มสีน้ำตาลมีจุดผลึก (Brown spot tone) กลุ่มสีน้ำตาล (Brown tone) กลุ่มสีน้ำตาลเข้ม (Dark brown tone) กลุ่มสีน้ำตาลเข้มมีผลึกขนาดเล็ก (Dark brown and aventurine tone) เนื่องจากการใช้เฟอร์ริกออกไซด์เป็นสารเพิ่มเติมที่จะให้สีในโทนสีน้ำตาลไปจนถึงน้ำตาลเข้มตามปริมาณของออกไซด์ และเมื่อใช้ในปริมาณ ร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 20 จะเกิดผลึกเล็กๆ คล้ายกากเพชรในชั้นของเคลือบ (ไพจิตร, 2547) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปราโมทย์ ปิ่นสกุล (2552) ที่ทดลองผสมเฟอร์ริกออกไซด์ในน้ำเคลือบเซรามิกส์ร้อยละ 2-ร้อยละ 6 แล้วได้สีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม และสอดคล้องกับงานวิจัยของ พรชัย (2558) ที่ทดลองเคลือบจากดินพื้นบ้าน ที่มีเฟอร์ริกออกไซด์สูง ทดลองเผาในบรรยากาศออกซิเดชันแล้วได้สีน้ำตาลดำ ส่วนการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ในเคลือบในปริมาณมากจะมีผลให้เคลือบเกิดผลึกได้ (สมศักดิ์, 2549) และไทเทเนียมไดออกไซด์ยังมีสมบัติเป็นสารที่ให้ความทึบแสงซึ่งเมื่อนำมาใช้ร่วมกับออกไซด์ให้สีชนิดอื่นจะช่วยให้เคลือบแตกตัวเป็นจุด (ไพจิตร, 2546)

1.2 ความสว่างและค่าสีของเคลือบหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง +2.19 ถึง +30.56 มีค่าสี  $a^*$  อยู่ระหว่าง -0.25 ถึง +7.30 ค่าสี  $b^*$  อยู่ระหว่าง +4.76 ถึง +18.79 ซึ่งมีผลการทดสอบสอดคล้องกับปริมาณการใช้เฟอร์ริกออกไซด์เป็นสารเพิ่มเติมในเคลือบ โดยที่เมื่อใช้ปริมาณเฟอร์ริกออกไซด์มากขึ้น ค่า  $L^*$  จะลดลงตามลำดับ ส่วนค่าสี  $a^*$  และ  $b^*$  จะแปรผันไปตามสัดส่วนปริมาณของส่วนผสมออกไซด์ที่ใช้เป็นสารเพิ่มเติม

2. ลักษณะและผิวเคลือบมีความมันแวววาว มีความสมบูรณ์ทุกสูตรส่วนผสมเนื่องจากในสูตรส่วนผสมได้ใช้เคลือบเซรามิกส์พื้นฐานที่มีหินฟันม้า โดโลไมท์ และแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นวัตถุดิบที่เป็นตัวช่วยหลอมละลายได้ดีในเคลือบ สมบูรณ์ (2553) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธมลวัฒน์ หิรัญชาติอนันต์ (2565) ที่ใช้เฟลด์สปาร์ และแบเรียมคาร์บอเนตช่วยการหลอมตัวในการพัฒนาเคลือบ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปราโมทย์ (2552) ที่พบว่าเคลือบที่มีการหลอมตัวสมบูรณ์มีความใสมันวาวผิวเคลือบสม่ำเสมอเนื่องจากใช้หินฟันม้า และปูนปลาสเตอร์ที่ใช้แทนหินปูนซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยให้เคลือบหลอมตัวได้ดี ส่วนค่าระดับความมันของผิวเคลือบ อยู่ระหว่าง 34- 60 GU และเมื่อนำค่าระดับความมันมาสร้างกราฟพบว่า มีแนวโน้ม ที่ค่าระดับความมันจะลดลงเมื่อใช้

ปริมาณเพอร์ริกออกไซด์และแบเรียมคาร์บอเนตเป็นสารเพิ่มเติม ในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ ไพจิตร (2547) และ สุขุมาล (2548) ที่กล่าวว่า แบเรียมคาร์บอเนตเป็นสารทนไฟสูงมีจุดหลอมละลายที่ 1923 องศาเซลเซียส ถ้าใช้ในปริมาณมากมักจะทำให้เคลือบด้านหรือเคลือบกึ่งด้านได้

## 5.2 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนาเคลือบเซรามิกส์จากเพอร์ริกออกไซด์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ และแบเรียมคาร์บอเนตเป็นสารเพิ่มเติม สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาการเกิดสีของเคลือบ ทดสอบความสว่างและค่าสีของเคลือบเซรามิกส์สามารถสรุปผลการวิจัย ได้ดังนี้

1.1 การเกิดสีของเคลือบภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มี ดังนี้

1) กลุ่มสีน้ำตาลมีจุดผลึก (Brown Spot Tone) โดยเป็นสูตรที่มีเพอร์ริกออกไซด์เป็นสารเพิ่มเติม ร้อยละ 10 ได้แก่ สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 และ เพอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ 15 ได้แก่ สูตรที่ 1 สูตรที่ 2

2) กลุ่มสีน้ำตาล (Brown Tone) โดยเป็นสูตรที่มีเพอร์ริกออกไซด์เป็น สารเพิ่มเติม ร้อยละ 10 ได้แก่สูตรที่ 6 สูตรที่ 7 เพอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ 15 ได้แก่ สูตรที่ 3 สูตรที่ 4 เพอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ 20 ได้แก่ สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 สูตรที่ 4

3) กลุ่มสีน้ำตาลเข้ม (Dark Brown Tone) โดยเป็นสูตรที่มีเพอร์ริกออกไซด์เป็น สารเพิ่มเติม ร้อยละ 10 ได้แก่ สูตรที่ 5 เพอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ 15 ได้แก่ สูตรที่ 7 และ 2. ค่า RGB อยู่ระหว่าง 70-142, 70-124, 64-113 และ 3. ค่าสีในระบบ RAL-LS Color Chart อยู่ระหว่าง RAL-LS 7002 - RAL-LS 9011

4) กลุ่มสีน้ำตาลเข้มมีผลึกขนาดเล็ก (Dark Brown and Aventurine Tone) โดยเป็นสูตรที่มีเพอร์ริกออกไซด์เป็นสารเพิ่มเติม ร้อยละ 15 ได้แก่ สูตรที่ 5 สูตรที่ 6 เพอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ 20 ได้แก่ สูตรที่ 5 สูตรที่ 6 สูตรที่ 7 ซึ่งการเกิดสีของเคลือบดังกล่าวจะเกิดตามปริมาณ การใช้สารเพิ่มเติม

1.2 การทดสอบความสว่างและค่าสีของเคลือบหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส จำแนกตามกลุ่มการเกิดสี สามารถสรุปได้ดังนี้

1) กลุ่มสีน้ำตาลมีจุดผลึก มีค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง +17.57 ถึง +30.56 มีค่าสี  $a^*$  อยู่ระหว่าง -0.64 ถึง +4.13 ค่าสี  $b^*$  อยู่ระหว่าง +6.01 ถึง +16.91

2) กลุ่มสีน้ำตาล มีค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง +12.35 ถึง +18.31 มีค่าสี  $a^*$  อยู่ระหว่าง +4.31 ถึง +7.30 ค่าสี  $b^*$  อยู่ระหว่าง +13.99 ถึง +18.79

3) กลุ่มสีน้ำตาลเข้ม มีค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง +3.55 ถึง +9.35 มีค่าสี  $a^*$  อยู่ระหว่าง -1.91 ถึง +3.00 ค่าสี  $b^*$  อยู่ระหว่าง +4.98 ถึง +17.39



4) กลุ่มสีน้ำตาลเข้มมีผลึกขนาดเล็ก มีค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง +2.19 ถึง +5.97 มีค่า  $a^*$  อยู่ระหว่าง -0.25 ถึง +0.51 ค่า  $b^*$  อยู่ระหว่าง +4.76 ถึง +10.85

2. ผลการศึกษาลักษณะและความสมบูรณ์ของผิวเคลือบเซรามิกส์ ภายหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส สรุปได้ดังนี้ 1) ลักษณะของเคลือบมีความมันแวววาวทุกสูตร ส่วนผสม โดยมีจุดผลึก จำนวน 6 สูตร และเกิดผลึกขนาดเล็กจำนวน 5 สูตร 2) ค่าระดับความมันของผิวเคลือบ อยู่ระหว่าง 34- 60 GU 3) ผิวเคลือบมีความสมบูรณ์ทุกสูตรส่วนผสม

โดยสรุปเคลือบเซรามิกส์จากเฟอร์ริกออกไซด์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ และแบเรียมคาร์บอเนตเป็นสารเพิ่มเติมและทำการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบออกซิเดชันแล้วผิวเคลือบมันแวววาวและไม่มีตำหนิ ประกอบด้วยวัตถุดิบดังต่อไปนี้ หินฟันม้า ร้อยละ 45 โดโลไมท์ ร้อยละ 10 แคลเซียมคาร์บอเนต ร้อยละ 13 ดินขาว ร้อยละ 7 และ หินเขียวหนุมาน ร้อยละ 25 โดยใช้สารเพิ่มเติมได้แก่ 1) ไทเทเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 10 2) แบเรียมคาร์บอเนต ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 10 และการใช้เฟอร์ริกออกไซด์ต่อเคลือบเซรามิกส์ที่มีเฟอร์ริกออกไซด์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ และแบเรียมคาร์บอเนต เป็นสารเพิ่มเติม และเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ที่มีความเหมาะสมมีอัตราส่วนผสมของเฟอร์ริกออกไซด์เป็นสารเพิ่มเติม ร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 20

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย ซึ่งทำให้การดำเนินการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณ มา ณ โอกาสนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

ธมลวัฒน์ หิรัญชาติอนันต์. (2565). การพัฒนาสูตรเคลือบดอกซากุระโดยใช้นิเกิลออกไซด์เป็นสารให้

สี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ, 2(2), 23-31.

ปราโมทย์ ปิ่นสกุล. (2552). การทำน้ำเคลือบเซรามิกส์จากเศษผงปูนปลาสเตอร์. วารสารวิจัยและ  
พัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, 4(1), 63-71.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2547). เซรามิกส์ (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรชัย ปานทุ่ง. (2558). การพัฒนาน้ำเคลือบเซรามิกส์จากเนื้อดินพื้นบ้าน. วารสารวิจัย  
สหวิทยาการไทย, 10(3), 38-44.

ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. (2546). สีเซรามิกส์. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. (2547). รวมสูตรเคลือบเซรามิกส์ (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.



สมบูรณ์ อรัณยภาค. (2553). **หลักการทำเคลือบเซรามิก**. กรุงเทพฯ: แอคทีฟ พรินท์.  
สมศักดิ์ ชวลาวัฒน์. 2549. **เซรามิกส์**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.  
สุขุมาล เล็กสวัสดิ์. (2548). **เครื่องปั้นดินเผาพื้นฐานการออกแบบและปฏิบัติงาน**. กรุงเทพฯ:  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



## การอบแห้งดอกบัวด้วยสารดูดความชื้นร่วมกับ

## เทคนิคสุญญากาศและไมโครเวฟ

# WATERLILY DRYING USING DESICCANT COMBINED WITH VACUUM AND MICROWAVE TECHNIQUE

ชาลีนี เพ็ชรนิล<sup>1\*</sup>, ณัฐหทัย แซ่ย่าง<sup>2</sup>, กิตติศักดิ์ วิจิรัตน์กิตต์<sup>1</sup>

Chalinee Petchnin<sup>1\*</sup>, Nathathai Seayang<sup>2</sup>, Kittisak Witinantakit<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 2110

<sup>2</sup>สถาบันบัวราชชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 2110

<sup>1</sup>School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok,  
Sriracha, Chonburi, Thailand, 2110

<sup>2</sup>Waterlily Institute of Rajamangala Tawan-ok, Rajamangala University of Technology Tawan-ok,  
Sriracha, Chonburi, Thailand, 2110

\*Corresponding author e-mail: chalinee.pet@mutto.ac.th

วันที่เข้ารับ 26 ธันวาคม 2565

วันที่แก้ไขบทความ 16 มีนาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 21 มีนาคม 2566

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งดอกบัวและสมบัติของดอกบัวก่อนและหลังการอบแห้ง โดยทำการศึกษาการอบแห้งดอกบัวสายพันธุ์โคโลราด้า ด้วยเทคนิคการฝังกลบด้วยซิลิกาทรายร่วมกับเทคนิคสุญญากาศและไมโครเวฟ ดอกบัวที่ใช้ในการอบแห้งคือ ดอกบัวโคโลราด้า โดยมีเงื่อนไขในการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 500 และ 600 วัตต์ และความดันสัมบูรณ์ภายในห้องอบแห้งที่ 5 กิโลปาสคาล จากการทดลองพบว่า กำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นมีผลต่อความชื้นที่ลดลงของดอกบัวโดยใช้เวลาในการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงแต่ความแตกต่างของสีดอกบัวโดยรวมจะเพิ่มขึ้น โดยการอบแห้งดอกบัวที่ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยร้อยละ 756.06 มาตรฐานแห้ง ที่กำลังไมโครเวฟที่ 600 วัตต์ ใช้เวลาอบแห้งน้อยที่สุด 80 นาที จนมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 5.88 มาตรฐานแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด 0.203 เมกะจูลต่อกรัมน้ำระเหย การอบแห้งด้วยการฝังกลบด้วยซิลิกาทรายอย่างเดียวให้ค่าความแตกต่างของสีดอกบัวโดยรวมน้อยที่สุด 5.22 และเมื่อพิจารณาเฉพาะการอบแห้งด้วยไมโครเวฟพบว่า การอบแห้งดอกบัวที่กำลังไมโครเวฟ 400 วัตต์ ให้ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมน้อยที่สุด 6.13 นอกจากนี้การอบแห้งดอกบัวทุกวิธีให้ค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.6 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

**คำสำคัญ:** การอบแห้ง, ดอกบัว, ไมโครเวฟ, สุญญากาศ

## Abstract

The objective of this research was to study on drying kinetic of waterlily and their properties before and after drying. A study was conducted on the drying of Colorata waterlily by silica sand landfill combined with vacuum and microwave technique. Waterlily were dried with microwave power of 400, 500 and 600 watts and absolute pressure inside the drying chamber at 5 kPa. The study found that higher microwave power results in lower moisture content of waterlily, reduced drying time and specific energy consumption. Whereas, the total color difference of waterlily is increased. Waterlily were dried at an average initial moisture content of 756.06% d.b. (dry basis) until reaching a final moisture content of 5.88% d.b. at a microwave power of 600 watts had the least drying time of 80 minutes and lowest specific waste energy was 0.203 MJ/g<sub>evaporated water</sub>. Only the desiccant drying techniques gave the lowest total color difference of waterlily of 5.22. Anyway, considering only the microwave drying found that waterlily drying by microwave power at 400 watts gave the lowest total color difference of 6.13. Moreover, all techniques of waterlily drying gave the water activity less than 0.6, which was within the standard.

**Keywords:** Drying, Waterlily, Microwave, Vacuum

## 1. บทนำ

ดอกบัวโคโลราต้า (Colorata) ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Nymphaea colorata* ถิ่นกำเนิดเป็นบัวพื้นเมืองทวีปแอฟริกา ลักษณะทั่วไปของบัวโคโลราต้า ใบรูปไข่ ขอบใบหยักไม่เป็นระเบียบ ปลายใบมน ดอกบานจะบานแผ่รูปครึ่งวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลางดอก 8-10 เซนติเมตร ดอกซ้อน กลีบเลี้ยงโคนกว้างปลายเรียว กลีบดอกเรียวยาว กลีบดอก สีฟ้าคราม เกสรเพศเมียสีเหลือง ก้านเกสรเพศผู้สีม่วงน้ำเงิน อับเรณูสีม่วง ทอยออกตามกัน บาน 3 วัน บานช่วงเช้าถึงช่วงเย็น หรือช่วงที่มีแสงแดด การบานวันแรกสีจะเข้ม และวันต่อๆ มาสีของดอกบัวโคโลราต้าจะค่อยๆ จางลง (พัชรี, 2564) ทำให้ดอกบัวลดความสวยงามลงไป

บัวเป็นดอกไม้ที่เกี่ยวข้องกับพุทธศาสนา ตั้งแต่สมัยพุทธกาล ชาวพุทธนิยมใช้ดอกบัวในพิธีกรรมทางศาสนา และการประดับตกแต่งเพื่อความสวยงามในงานพิธีต่างๆ สำหรับประเทศไทยและต่างประเทศดอกบัวเป็นดอกไม้ที่ตลาดมีความต้องการสม่ำเสมอและในปริมาณที่มาก แต่ความคงทนของดอกบัวอยู่ได้ไม่นานจะต้องเหี่ยวแห้งลงไป ดังนั้นการเก็บรักษาให้ดอกบัวให้มีความสวยงามคงทนและชื่นชมความงามได้นานๆ เป็นสิ่งที่น่าสนใจ การอบแห้งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดความชื้น

ของผลิตภัณฑ์ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น การทำให้ดอกไม้แห้งมีหลายวิธี อาทิเช่น การฝักรอบดอกบัวด้วยซิลิกาทรายซึ่งเป็นสารดูดความชื้นชนิดหนึ่งที่มีสารประกอบทางเคมีและมีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นออกจากดอกบัว (MacDermot, 1974) โดยใช้เวลาในการฝักรอบดอกบัวประมาณ 7 วัน จึงทำให้ดอกบัวแห้ง สภาพคงเดิม รูปทรงสวยงาม และยังคงความเป็นธรรมชาติของดอกบัวเอาไว้ได้ วิธีนี้มีค่าใช้จ่ายต่ำแต่ใช้ระยะเวลาที่นาน จึงต้องใช้เทคนิคการอบแห้งต่างๆ เพื่อจะลดระยะเวลาในการอบแห้งให้เร็วขึ้นและยังคงสภาพความสวยงามของดอกบัวให้คงความเป็นธรรมชาติ วิธีหนึ่งที่น่าสนใจคือการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศซึ่งสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่ำกว่าการอบแห้งด้วยวิธีอื่นๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสีที่คงความสด และการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและซิลิกาทราย เมื่อความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้งลดลง สามารถลดความชื้นของดอกบัวได้เร็วขึ้นและใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง นอกจากนี้ความแตกต่างของสีโดยรวมของดอกบัว มีค่าน้อยกว่าการฝักรอบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย 7 วัน (วรวิทย์ และกิตติศักดิ์, 2563) ส่วนการฝักรอบดอกบัวด้วยสารดูดความชื้นร่วมกับการให้ความร้อนจากไมโครเวฟของดอกบัวทำให้รูปร่างและสีของดอกบัวเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (สุภา, 2552) ใช้เวลาในการอบแห้งน้อย และสามารถลดการสูญเสียพลังงานระหว่างการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้การนำระบบสุญญากาศมาใช้ร่วมกับไมโครเวฟ (Microwave vacuum drying) เพื่อให้จุดเดือดของน้ำต่ำลงเกิดความร้อนในอัตราที่รวดเร็วและใช้เวลาในการอบแห้งเพียงสั้นๆ ทำให้วิธีนี้ช่วยพัฒนาทั้งในด้านการผลิตและคุณภาพของวัตถุดิบได้อย่างดี (ระวิน, 2556)

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

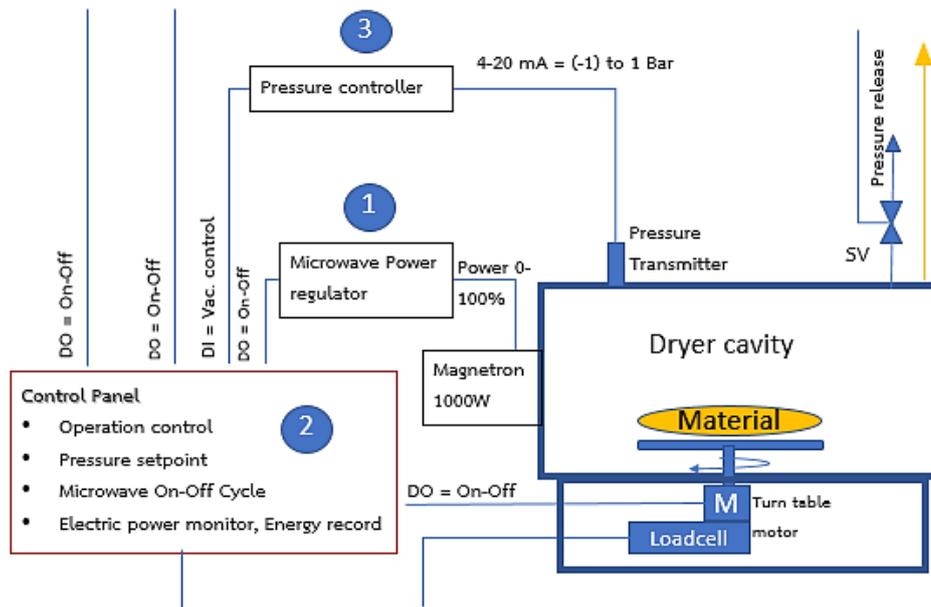
- 2.1 เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ
- 2.2 เพื่อศึกษาสมบัติของดอกบัวก่อนและหลังการอบแห้ง

## 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟและสารดูดความชื้น โดยมีเงื่อนไขในการอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ภายในห้องอบแห้ง 5 กิโลปาสกาล และกำลังไมโครเวฟที่ 400 500 และ 600 วัตต์ (มานะบุตร และคณะ, 2554) โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

### 3.1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ

เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟมีไดอะแกรมดังภาพที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ

(1) ให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ 0-1000 วัตต์ พร้อมชุดมอเตอร์หมุนถาดอบแห้งและระบบการวัดและควบคุม

(2) ควบคุมอุณหภูมิแบบ PID (Proportional integral derivative control) ความละเอียด 0.1 องศาเซลเซียส ความแม่นยำในการควบคุม  $\pm 2$  องศาเซลเซียส เซ็นเซอร์แบบ Thermocouple type k

(3) ควบคุมแรงดันในห้องอบแห้งด้วย Analog real-time pressure transmitter (1) -1 บาร์ สัญญาณ Output 4-20 มิลลิแอมแปร์ อุปกรณ์ควบคุมแรงดันแบบ On-off setpoint ความคลาดเคลื่อน 0.5 กิโลปาสคาล

### 3.2 วิธีวิจัย

3.2.1 เตรียมซิลิกาทรายประมาณ 500 กรัม แล้วนำไปอบแห้งไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จัดเก็บในกล่องสุญญากาศและทิ้งไว้ให้ซิลิกาทรายเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง ดอกบัวที่ใช้ในการทดลองนำมาจากสถาบันบัวราชมงคลตะวันออก โดยจะเก็บดอกบัวที่บานวันแรกในช่วงเช้า เวลา 9.00 น. ของวันที่ทำการทดลอง โดยเลือกดอกบัวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10 เซนติเมตร และมีวิธีการทดลองดังนี้

3.2.2 การอบแห้งด้วยวิธีการฝังกlobดอกบัวด้วยซิลิกาทราย การจัดเตรียมวัสดุดิบที่จะทำการทดลองมีขั้นตอนดังนี้



- (1) นำดอกบัวโคโลราด้าตัดก้านในแนวระนาบชิดกับดอกบัว แล้วทำการชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก Digital balance ยี่ห้อ AND รุ่น GF-3000 ความละเอียด 0.01 กรัม
- (2) เตรียมชิลิกาทรายพร้อมใช้งาน 500 กรัม แล้วเทชิลิกาทรายลงในภาชนะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร ให้ชิลิกาทรายสูงประมาณ 1.5 เซนติเมตร
- (3) นำดอกบัววางหงายบนชิลิกาทราย จากนั้นค่อยๆ เทชิลิกาทรายลงฝังกลบดอกบัวให้ชิลิกาทรายสูงกว่ายอดดอกบัวประมาณ 1.5 เซนติเมตร แล้วปิดฝาให้สนิทไม่ให้อากาศเข้า
- (4) ควบคุมกำหนดเวลา 4 ชั่วโมง นำเอาดอกบัวออกจากชิลิกาทรายและใช้แปรงขนอ่อนปัดชิลิกาทรายออกจากดอกบัวแล้วชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้น
- (5) ทำการทดลองด้วยวิธีเดิมโดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของดอกบัวที่เวลา 4 8 12 และ 18 ชั่วโมง และ 1 2 3 4 5 6 และ 7 วัน

3.2.3 การฝังกลบดอกบัวด้วยชิลิกาทรายแล้วนำไปอบแห้งในเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟมีขั้นตอนดังนี้

- (1) เตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้ง ตั้งค่ากำลังไมโครเวฟที่ 400 วัตต์ โดยตั้งค่าการทำงานของไมโครเวฟเป็นแบบจังหวะ คือ ไมโครเวฟทำงาน 10 วินาที และหยุดทำงาน 40 วินาที (Yangyang *et al.*, 2019)
- (2) เตรียมชิลิกาทรายพร้อมใช้งาน 500 กรัม เทชิลิกาทรายลงในภาชนะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร ให้ชิลิกาทรายสูงประมาณ 1.5 เซนติเมตร
- (3) นำดอกบัววางหงายขึ้นลงบนชิลิกาทราย จากนั้นค่อยๆ เทชิลิกาทรายลงฝังกลบดอกบัวให้ชิลิกาทรายสูงกว่ายอดดอกบัวประมาณ 1.5 เซนติเมตร
- (4) นำภาชนะที่ฝังกลบดอกบัวด้วยชิลิกาทรายวางลงบนถาดในห้องอบแห้ง (ไม่ต้องปิดฝาภาชนะ)
- (5) เดินปั๊มสุญญากาศเพื่อทำความดันสุญญากาศในห้องอบแห้งให้ได้ความดันสัมบูรณ์ที่ 5 กิโลปาสคาล และทำการเปิดระบบไมโครเวฟที่ตั้งค่าไว้
- (6) บันทึกน้ำหนักของดอกบัวทุก 10 นาที โดยนำดอกบัวออกจากชิลิกาทรายและใช้แปรงขนอ่อนปัดชิลิกาทรายออกจากดอกบัวแล้วชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัว อบแห้งดอกบัวให้ได้ความชื้นประมาณร้อยละ 5-7 มาตรฐานแห้ง และบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งทำการทดลองด้วยเงื่อนไขเดิมจำนวน 3 ซ้ำ
- (7) ทำการทดลองตามข้อ 1-6 ให้ครบตามขอบเขตการวิจัย คือ ความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้ง 5 กิโลปาสคาล และกำลังไมโครเวฟ 500 และ 600 วัตต์ จำนวน 3 ซ้ำ

3.3 การหาความชื้นของดอกบัวโดยหามวลแห้งตามมาตรฐานของ AOAC (2000) และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความชื้นของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของความชื้นร้อยละมาตรฐานแห่งโดยใช้สมการที่ (1)

$$M_d = \frac{w-d}{d} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ  $M_d$  คือ ความชื้น (ร้อยละมาตรฐานแห่ง)  
 $w$  คือ มวลสดของดอกบัว (กรัม)  
 $d$  คือ มวลแห้งของดอกบัว (กรัม)

และสามารถวิเคราะห์หาอัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) ได้ดังสมการที่ 2

$$DR = \frac{\Delta w}{\Delta t} \quad (2)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อนาที)  
 $\Delta w$  คือ มวลน้ำที่ระเหย (กรัม)  
 $\Delta t$  คือ เวลาที่เปลี่ยนแปลง (นาที)

#### 3.4 การหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) ที่ใช้ในการอบแห้งดอกบัว นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง คือ ความชื้นเริ่มต้น ความชื้นสุดท้าย และปริมาณการใช้พลังงานตลอดกระบวนการทดลองเพื่อนำมาคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งดอกบัว ได้จากสมการที่ (3) (สุภวรรณ และคณะ, 2556)

$$SEC = \frac{3.6E_p}{m_{in}-m_f} \quad (3)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (เมกะจูลต่อกรัมน้ำระเหย)  
 $m_{in}$  คือ มวลของวัสดุก่อนอบแห้ง (กรัม)



$m_f$  คือ มวลของวัสดุหลังอบแห้ง (กรัม)

$E_p$  คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

### 3.5 การทดสอบคุณภาพสี

การทดสอบคุณภาพสีของดอกบัวก่อนและหลังอบแห้ง ใช้เครื่องมือวัดสี 3HN รุ่น Portable colorimeter NH310 ระบบสีที่วัดได้คือ CIE  $L^*a^*b^*$  ช่วงการวัดค่าความสว่างของเครื่องมืออยู่ที่ 0-100 อุณหภูมิในการทำงานได้ที่ 0-40 องศาเซลเซียส ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดสีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.04 ค่าความแม่นยำในการวัดซ้ำน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.06 การวัดรูรับแสงใช้ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร โดยจะวัดค่าสี  $L^*a^*b^*$  ที่กลีบดอกบัวชั้นกลางและชั้นในของดอกบัวโดยจะวัดที่ตำแหน่งกลางกลีบดอกบัว 2 จุด และนำค่าสีที่วัดได้มาคำนวณค่าความแตกต่างของสีของดอกบัวก่อนและหลังอบแห้งดังสมการที่ 4 (กิตติศักดิ์ และศรีมา, 2562) รวมทั้งนำค่าสีที่วัดได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (4)$$

เมื่อ  $\Delta E$  คือ ความแตกต่างของสีโดยรวม

$\Delta L^*$  คือ ความแตกต่างของความสว่าง

$\Delta a^*$  คือ ความแตกต่างของความเป็นสีแดงถึงสีเขียว

$\Delta b^*$  คือ ความแตกต่างของความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน

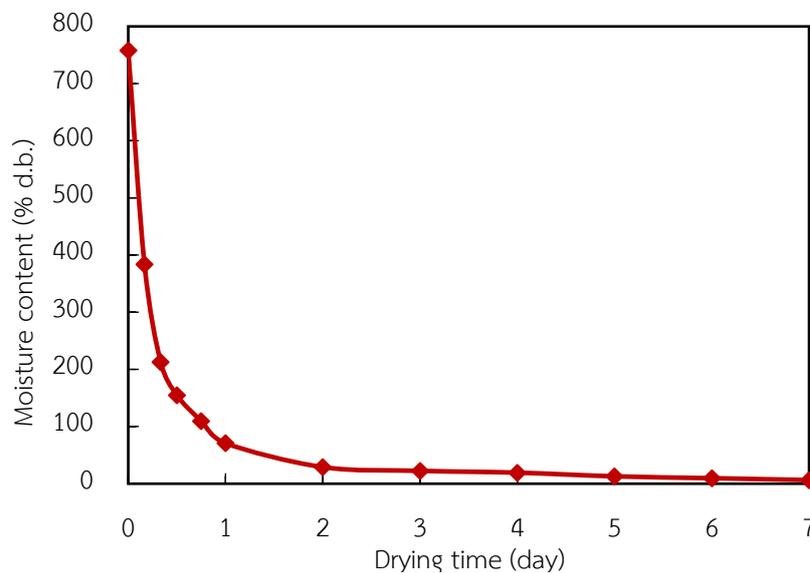
### 3.6 การทดสอบค่าปริมาณน้ำอิสระ

นำตัวอย่างกลีบของดอกบัวจากการอบแห้งที่เงื่อนไขต่างกันมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity,  $a_w$ ) ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ รุ่น AQUALAB PRE มีช่วงการวัดปริมาณน้ำอิสระ 0.05-1.00 ความละเอียดการแสดงผล  $\pm 0.001$  ความแม่นยำ  $\pm 0.01$  ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส โดยปริมาณน้ำอิสระที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือต่ำกว่า 0.6 แสดงว่าผลิตภัณฑ์จะไม่เกิดราจากการที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตภายใต้ปริมาณน้ำอิสระที่ต่ำ (กิตติศักดิ์ และศรีมา, 2562) ซึ่งมีผลต่ออายุการเก็บรักษาดอกบัวหลังอบแห้ง โดยจะนำตัวอย่างกลีบดอกบัวหลังอบแห้งในแต่ละชั้น คือ นอก กลาง ใน จำนวน 3 กลีบ วางที่ละกลีบลงในภาชนะพลาสติกแล้วใส่ในเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระเพื่อทดสอบและบันทึกค่าที่ได้จากจอแสดงผล และทำการวิเคราะห์ทางสถิติ

#### 4. ผลการวิจัย

##### 4.1 การฝึกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย

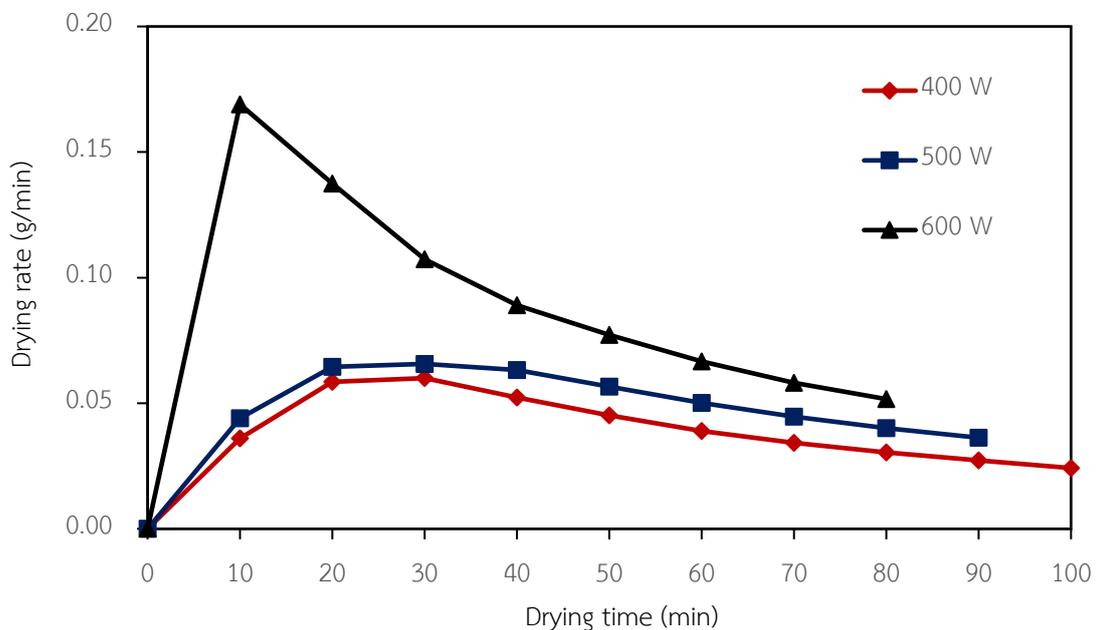
การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัวที่อบแห้งโดยการฝึกลบด้วยซิลิกาทรายดังภาพที่ 2 พบว่าความชื้นของดอกบัวจะลดลงอย่างรวดเร็วในวันแรกจากความชื้นเริ่มต้นของดอกบัวร้อยละ 758.06 มาตรฐานแห้ง ลดลงเหลือร้อยละ 70.97 มาตรฐานแห้ง การถ่ายเทความชื้นออกจากผิวดอกบัวจากความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำที่ผิวของดอกบัวกับอากาศโดยรอบ เมื่อความดันไอน้ำบริเวณผิวของสารดูดความชื้นต่ำกว่าอากาศโดยรอบ สารดูดความชื้นจะดูดซับความชื้นจากอากาศไว้ภายในอนุภาคของสารดูดความชื้น หลังจากวันที่ 2 ความชื้นของดอกบัวจะลดลงอย่างช้าๆ เนื่องจากดอกบัวมีความชื้นลดลงมากและซิลิกาทรายส่วนที่อยู่กับดอกบัวเริ่มอิ่มตัวทำให้มีแรงดันไอใกล้เคียงกับดอกบัวและความชื้นดอกบัวเริ่มคงที่จนถึงความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 6.45 มาตรฐานแห้ง ในวันที่ 7 ของการฝึกลบด้วยซิลิกาทรายเช่นเดียวกับงานวิจัยของ วรวิทย์ และกิตติศักดิ์ (2563) หลังจากดอกบัวฟุ้งบิวต์ถูกฝึกลบด้วยซิลิกาทรายความชื้นของดอกบัวลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 1-2 วันแรก ซิลิกาทรายมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนทำให้สามารถดูดซับความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถกักน้ำได้มากกว่าร้อยละ 30 ของน้ำหนักซิลิกาทรายแต่หลังจากวันที่ 2-6 ความชื้นของดอกบัวจะลดลงอย่างช้าๆ จนถึงความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ



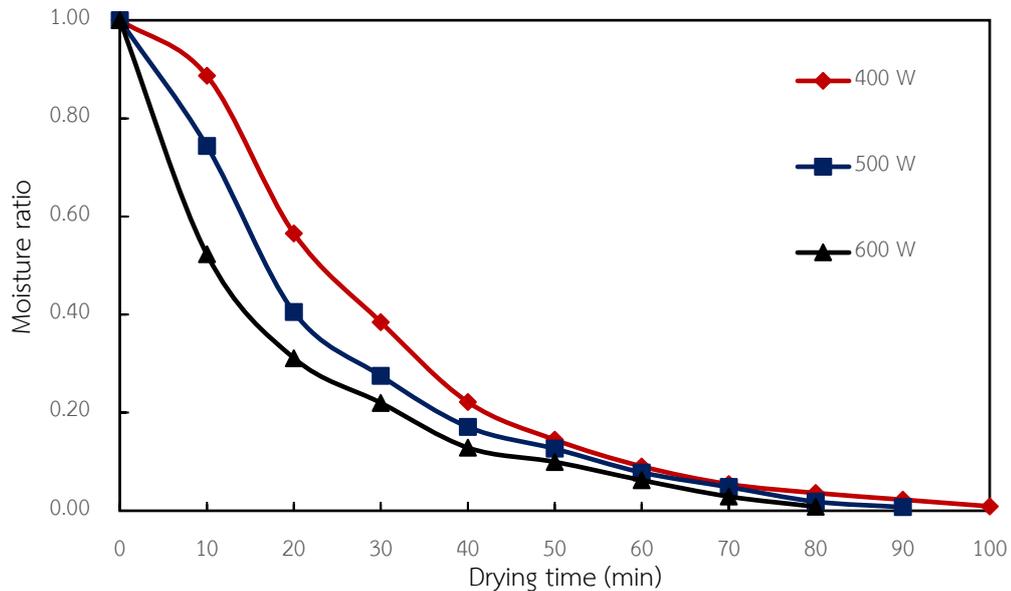
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัวที่อบแห้งโดยการฝึกลบด้วยซิลิกาทราย

4.2 การฝึกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทรายแล้วนำไปอบแห้งในเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ

การฝึกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทรายแล้วนำไปอบแห้งในเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟที่กำลังไมโครเวฟ 400 500 และ 600 วัตต์ และความดันสัมบูรณ์คงที่ 5 กิโลปาสกาล พบว่า กำลังไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงดังภาพที่ 3 และผลการทดลองพบว่า สภาวะในการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาของการอบแห้งลดลง (Angel *et al.*, 2011) โดยกำลังไมโครเวฟที่ 600 วัตต์ ความชื้นของดอกบัวลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากการอบแห้งที่ระดับพลังงานไมโครเวฟสูงจะทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุระหว่างการอบแห้งสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำในวัสดุที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงจะเคลื่อนที่ออกจากวัสดุได้อย่างรวดเร็วและใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง (ปานฤทัย และสุจินดา, 2563) รวมถึงอิทธิพลของความดันสุญญากาศจะให้ความชื้นของดอกบัวระเหยที่อุณหภูมิต่ำ และเมื่อนำมาใช้ร่วมกับไมโครเวฟทำให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในวัสดุพอรุน (ดอกบัว) ค่อนข้างสม่ำเสมอและการถ่ายเทความชื้นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (โสภิตา และคณะ, 2559) จากความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยของดอกบัวอยู่ที่ร้อยละ 756.06 มาตรฐานแห้งจนความชื้นสุดท้ายลดลงเหลือร้อยละ 5.88 มาตรฐานแห้ง ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด 80 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังไมโครเวฟที่ 400 และ 500 วัตต์ ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้ง 100 และ 90 นาที ตามลำดับ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 อัตราการอบแห้งของดอกบัวที่ฝึกลบด้วยซิลิกาทรายและอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัวที่ฝัองกลบด้วยซิลิกาทรายและอบแห้งด้วยเทคนิค  
สุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ

#### 4.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของดอกบัวที่ฝัองกลบด้วยซิลิกาทรายและอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟดังตารางที่ 1 จากผลการทดลองพบว่าการเพิ่มขึ้นของกำลังไมโครเวฟจาก 400 เป็น 500 วัตต์ และจาก 500 เป็น 600 วัตต์ ทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามการอบแห้งที่กําลังไมโครเวฟที่สูงจนถึง 1000 วัตต์ (ค่าสูงสุดของเครื่องอบแห้ง)อาจมีผลกระทบต่อคุณภาพด้านสีของวัสดุหลังอบแห้ง จึงควรเลือกใช้กําลังไมโครเวฟที่เหมาะสมต่อวัสดุนั้นๆ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป การใช้กําลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นตามกําลังไมโครเวฟ เวลาในการอบแห้งจึงลดลงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง (Tien & Sirichai, 2022) กําลังไมโครเวฟต่ำส่งผลทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงขึ้น (รัฐศักดิ์ และคณะ, 2560) ส่วนการเพิ่มกําลังไมโครเวฟให้สูงขึ้นทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง (Varith *et al.*, 2007) เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟไปเหนี่ยวนำให้โมเลกุลของน้ำภายในดอกบัวเกิดการหมุนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชั่วฟ้าอย่างรวดเร็ว ผลของการหมุนนี้ทำให้เกิดการเสียดสีของโมเลกุลของน้ำภายในดอกบัว ก่อให้เกิดความร้อนในดอกบัวได้อย่างรวดเร็ว (ระวิน, 2556) น้ำในดอกบัวระเหยได้ง่ายขึ้นจึงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง และการอบแห้งดอกบัวในสถานะความดันสมบูรณ์คงที่ที่ 5 กิโลปาสกาล ส่งผลให้น้ำระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง (วรวิทย์ และกิตติศักดิ์, 2563) ดังนั้นการอบแห้งที่กําลังไมโครเวฟ 600 วัตต์ ใช้เวลาในการอบแห้ง 80 นาที โดยค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุดที่ 0.203 เมกะจูลต่อกรัม น้ำระเหย

**ตารางที่ 1** ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งดอกบัว

กำลังไมโครเวฟ (วัตต์)	เวลาที่ใช้ (นาที)	พลังงานไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	ความชื้น(ร้อยละมาตรฐาน แห้ง)	ความสิ้นเปลืองพลังงาน จำเพาะ(เมกะจูลต่อกรัมน้ำ ระเหย)
400	100	0.506	6.670	0.255
500	90	0.492	5.880	0.225
600	80	0.403	5.880	0.203
การฝักรอบด้วย ซิลิกาทราย	7 วัน	-	6.450	-

4.4 ผลของคุณภาพด้านสีของดอกบัว

คุณภาพด้านสีของดอกบัวหลังการอบแห้งแสดงดังตารางที่ 2 ผลการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบเทียบสีของดอกบัวสดกับดอกบัวหลังการอบแห้งแสดงได้ดังภาพที่ 4 ถึงภาพที่ 7 ค่าความสว่างของดอกบัวที่ฝักรอบด้วยซิลิกาทรายและอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 500 และ 600 วัตต์ มีค่าความสว่าง (L) ในช่วง 60.37-67.22 และความเป็นสีแดง (a) และความเป็นสีน้ำเงิน (-b) มีค่าลดลง ส่วนดอกบัวที่ฝักรอบด้วยซิลิกาทรายมีค่าความสว่าง 64.91 และดอกบัวที่อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 วัตต์ มีค่าความสว่าง 67.22 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความสว่างของดอกบัวสดมากที่สุดแสดงได้ดังภาพที่ 4 และ 5 และการอบแห้งดอกบัวด้วยกำลังไมโครเวฟที่ 500 วัตต์ ค่าความเป็นสีน้ำเงินมีค่าใกล้เคียงกับดอกบัวสดมากที่สุดแสดงได้ดังภาพที่ 6

เมื่อพิจารณาความแตกต่างของสีโดยรวมพบว่าการฝักรอบด้วยซิลิกาทราย 7 วัน ให้ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมน้อยที่สุด 5.22 แสดงว่าสีดอกบัวหลังการอบแห้งใกล้เคียงกับดอกบัวสดมากที่สุดแสดงดังภาพที่ 4 ส่วนการอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศและกำลังไมโครเวฟ 400 วัตต์ ให้ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมใกล้เคียงกับวิธีการฝักรอบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย โดยมีค่าน้อยที่สุด 6.13 เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งดอกบัวที่กำลังไมโครเวฟ 500 และ 600 วัตต์ กำลังไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นจาก 400 500 และ 600 วัตต์ ส่งผลให้ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมเพิ่มขึ้นตามลำดับที่ 6.13 6.90 และ 7.63 ซึ่งค่าความแตกต่างของสีโดยรวมที่มากขึ้นจากกำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นจะส่งผลให้สีของดอกบัวหลังอบแห้งมีความแตกต่างกับสีของดอกบัวสดมากขึ้นตามไปด้วยและไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ส่วนการใช้กำลังไมโครเวฟที่เหมาะสมจะส่งผลให้ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมน้อยซึ่งจะมีค่าความใกล้เคียงกับสีของดอกบัวสด นอกจากนี้ยังพบว่าสีของดอกบัวหลังอบแห้งด้วย

ไมโครเวฟมีความสม่ำเสมอ (Ricardo *et al.*, 2020) และไม่เกิดการไหม้ที่ผิวของดอกบัว (Ricardo *et al.*, 2015)

**ตารางที่ 2** คุณภาพสีของดอกบัวก่อนและหลังการอบแห้ง

วิธีการอบแห้ง	ความชื้น(ร้อยละมาตรฐานแห้ง)	L	a	b	$\Delta E$
ดอกบัวสด	756.06	66.74±0.64 <sup>ab</sup>	11.44±0.34 <sup>ab</sup>	-22.33±0.57 <sup>b</sup>	N/A
การฝัากลบด้วย ซิลิกาทราย	6.45	64.91±0.46 <sup>bc</sup>	9.38±0.16 <sup>b</sup>	-17.89±0.38 <sup>a</sup>	5.22
ไมโครเวฟ 400 วัตต์	6.67	67.22±0.32 <sup>a</sup>	7.49±0.26 <sup>c</sup>	-17.67±0.35 <sup>a</sup>	6.13
ไมโครเวฟ 500 วัตต์	5.88	60.37±0.30 <sup>d</sup>	9.08±0.33 <sup>b</sup>	-21.10±0.20 <sup>b</sup>	6.90
ไมโครเวฟ 600 วัตต์	5.88	63.32±0.42 <sup>c</sup>	8.32±0.18 <sup>bc</sup>	-16.26±0.59 <sup>a</sup>	7.63

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )



ก่อนอบแห้ง



หลังอบแห้ง

**ภาพที่ 4** สีของดอกบัวหลังอบแห้งโดยการฝัากลบด้วยซิลิกาทราย 7 วัน



ก่อนอบแห้ง



หลังอบแห้ง

ข

ภาพที่ 5 สีของดอกบัวที่อบแห้งกำลังไมโครเวฟ 400 วัตต์ ความดันสมบูรณ์ 5 กิโลปาสกาล



ก่อนอบแห้ง



หลังอบแห้ง

ภาพที่ 6 สีของดอกบัวที่อบแห้งกำลังไมโครเวฟ 500 วัตต์ ความดันสมบูรณ์ 5 กิโลปาสกาล



ก่อนอบแห้ง



หลังอบแห้ง

ภาพที่ 7 สีของดอกบัวที่อบแห้งกำลังไมโครเวฟ 600 วัตต์ ความดันสมบูรณ์ 5 กิโลปาสกาล

#### 4.5 ปริมาณน้ำอิสระของดอกบัวก่อนและหลังอบแห้ง

การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระของดอกบัวหลังอบแห้งทั้ง 2 วิธีการ คือ การทำแห้งดอกบัวด้วยวิธีการฝักรอบชิลิกาทราย 7 วัน และการฝักรอบดอกบัวด้วยชิลิกาทรายและอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟที่กำลัง 400 500 และ 600 วัตต์ พบว่าปริมาณน้ำอิสระของดอกบัวหลังอบแห้งอยู่ในช่วง 0.416-0.468 ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 3 โดยมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ มีค่าไม่เกิน 0.6 จุลินทรีย์ประเภทเชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ทำให้สามารถเก็บรักษาดอกบัวอบแห้งไว้ได้นานโดยไม่เกิดความเสียหายจากเชื้อรา (กิตติศักดิ์ และ ศรีมา, 2562)

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำอิสระของดอกบัวก่อนและหลังอบแห้ง

วิธีการอบแห้ง	ความชื้น (ร้อยละมาตรฐานแห้ง)	ปริมาณน้ำอิสระ
ดอกบัวสด	756.06	0.970±0.0051 <sup>a</sup>
การฝักรอบด้วยชิลิกาทราย	6.45	0.468±0.0067 <sup>b</sup>
ไมโครเวฟ 400 วัตต์	6.67	0.432±0.0068 <sup>bc</sup>
ไมโครเวฟ 500 วัตต์	5.88	0.416±0.0083 <sup>bc</sup>
ไมโครเวฟ 600 วัตต์	5.88	0.445±0.0119 <sup>bc</sup>

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

#### 5. สรุปผล

การอบแห้งดอกบัวสายพันธุ์โคโลราดาโดยการฝักรอบด้วยชิลิกาทรายแล้วอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟภายใต้สภาวะความดันสมบูรณ์ที่ 5 กิโลปาสคาล และกำลังไมโครเวฟที่ 400 500 และ 600 วัตต์ จากความชื้นเริ่มต้นของดอกบัวประมาณร้อยละ 756.06 มาตรฐานแห้ง จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 5.88-6.67 มาตรฐานแห้ง จากผลการทดลองพบว่า กำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาของการอบแห้งลดลง ทำให้ลดความชื้นของดอกบัวได้เร็วขึ้นสามารถอบแห้งได้เร็วกว่าการฝักรอบดอกบัวด้วยชิลิกาทราย 7 วัน ซึ่งลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ร้อยละ 79.36-99.20 โดยใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด 80 นาที ที่กำลังไมโครเวฟ 600 วัตต์ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดที่ 0.203 เมกะจูลต่อกรัมน้ำระเหย แต่เมื่อพิจารณาในด้านคุณภาพของดอกบัว พบว่า กำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นจะทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าน้อยลงแต่จะทำให้ความแตกต่างของสีโดยรวมมากขึ้น ดังนั้นการอบแห้งดอกบัวที่กำลังไมโครเวฟต่ำ

(400 วัตต์) จะมีคุณภาพสีใกล้เคียงกับดอกบัวสดมากที่สุดซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด คือ มีความแตกต่างของสีโดยรวมน้อยที่สุดที่ 6.13 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับวิธีการฝักรีบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย 7 วัน มากที่สุด และมีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกและสถาบันบวรราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ วิจิรัตน์กิตต์, และศรีมา แจ้คำ. (2562). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งข้าด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด. *วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 9(3), 29-43.
- ปานฤทัย เมฆะ, และสุจินดา ศรีวัฒน์. (2563). สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟและการสกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกสมบัติทางเคมีกายภาพของดอกอัญชัน (*Clitoria ternatea* L.). *วารสารวิทยาศาสตร์ มศว.*, 36(2), 197-215.
- พัชรี ญาณสาร. (2564). **ดอกบัวโคโรลาต้า**. พิพิธภัณฑน์บัว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ค้นหามาจาก <http://www.lotus.rmutt.ac.th/?p=10473>
- มานะบุตร ศรีรงค์, มณฑนา บัวหนอง, ณ นพชัย ชาญศิลป์, ภูรินทร์ อัครกุลธร, และเฉลิมชัย วงอารี. (2554, ธันวาคม). **คุณภาพของกลีบดอกบัวมั่งกลอุบลที่ทำแห้งด้วยวิธีการอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับการฝักรีบในซิลิกาเจล**. เอกสารนำเสนอในที่ประชุมสัมมนาวิชาการการพัฒนาบัวให้เป็นพืชเศรษฐกิจ ครั้งที่ 9 ในงานมหกรรมพืชสวนโลกเฉลิมพระเกียรติราชพฤกษ์ 2554, ณ โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน จังหวัดเชียงใหม่.
- ระวิน สืบคำ. (2556). เทคโนโลยีความชื้น. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 23(2), 500-512.
- รัฐศักดิ์ พรหมมาศ, โศภิตา สังข์สุนทร, และณิชาภา มินาบูลย์. (2560). การอบข้าวสารชุบสีสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟ. *วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยจุลจอมเกล้า*, 15(15), 79-89.
- วรวิมล มานะงาน, และกิตติศักดิ์ วิจิรัตน์กิตต์. (2563). การอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์และอินฟราเรดร่วมกับการฝักรีบในซิลิกาทราย. *วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 10(3), 86-98.

- โศภิตา สังข์สุนทร, ดนุสรณ์ชาติเซียงแดง, และวัชรพงศ์ บุญครอง. (2559). ผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศในการอบแห้งสับประรด. *วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยจุลจอมเกล้า*, 14(14), 159-170.
- สุภวรรณ ภูริระวณิชย์กุล, สลิลลา ชาญเขียว, และยุพธนา ภูริระวณิชย์กุล. (2556). การอบแห้งใบบัวบกเพื่อผลิตใบบัวบกแห้งขงดื่มด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด: จลนพลศาสตร์ความชื้นเปลี่ยนแปลงพลังงานและคุณภาพ. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 18(2), 311-324.
- สุภา จุฬคุปต์. (2552). *การพัฒนาดอกบัวสดอบแห้ง*. รายงานการวิจัย สาขาเกษตรศาสตร์คณะเทคโนโลยีเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.
- Angel, C., Antoni, S., Adam, F., Klaudiusz. J., Maciej, A., Angel, A., & Carbonell, B. (2011). Effects of vacuum level and microwave power on rosemary volatile composition during vacuum-microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 103, 219-227.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). *Official Methods of Analysis*. 17<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists. Maryland: Gaithersburg; 2000.
- MacDermot, E. (1974). Preserving flower with silica gel, In dried flower design, *Botanic garden record plant and gardens*, 30, 7-11.
- Ricardo, M., Aline, G., Jade, L., Bruno, C., & Joao, L. (2020). Microwave vacuum drying of foods with temperature control by power modulation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 65, 1-11.
- Ricardo, M., Bruno, C., Antonio, J., & Joao L. (2015). How to make a microwave vacuum dryer with turntable. *Journal of Food Engineering*, 166, 276-284.
- Varith, J., Dijkanarukkul, P., Achariyaviriya, A., & Achariyaviriya, S. (2007). Combined microwave-hot air drying of peeled longan. *Journal of Food Engineering*, 81, 459-468.
- Yangyang, J., Ibrahim, K., Lanlan, H., Wei, Z., Jin, L., Kaikai, L., & Chunmei, L. (2019). Influence of three different drying techniques on persimmon chips' characteristics: A comparison study among hot-air, combined hot-air-microwave, and vacuum-freeze drying techniques. *Food and Bioproducts Processing*, 118, 67-76.

## การศึกษาศักยภาพชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี A STUDY OF BIOMASS POTENTIAL FROM AGRICULTURAL WASTE IN CHONBURI PROVINCE

นิชาภา รัศมี\*, จิรวัดน์ สิตรานนท์, กมลวรรณ จิตรจักร, ศรีมา แจ้คำ

Nichapha Ratsamee\*, Jirawat Sitranon, Kamonwan Jitjuk, Srima Jakhom

สำนักวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 201102

School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok,

Sriracha, Chonburi, Thailand, 2110

\*Corresponding author e-mail: nichapha.rusme@gmail.com

วันที่เข้ารับ 25 มกราคม 2566

วันที่แก้ไขบทความ 18 มีนาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 21 มีนาคม 2566

### บทคัดย่อ

การศึกษาศักยภาพชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจปริมาณและศึกษาศักยภาพพลังงานชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรีทั้ง 11 อำเภอ ซึ่งผู้วิจัยได้ติดต่อประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อการได้มาของข้อมูลการสำรวจและปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรแต่ละชนิด โดยเลือกพืชเศรษฐกิจที่มีการเพาะปลูกสูงสุด 5 ชนิดแรกในแต่ละอำเภอ จากสัมภาษณ์และแลกเปลี่ยนข้อมูลเกษตรกรรายใหญ่จำนวน 30 คนต่อชนิดพืช การลงพื้นที่สำรวจเพิ่มเติมจะดำเนินการโดยการเข้าร่วมการจัดประชุมของเกษตรกรอำเภอและเกษตรกรจังหวัดที่ได้มีการจัดขึ้น พบว่า เมื่อจำแนกปริมาณส่วนเหลือทิ้งทางการเกษตรสูงสุด 10 อันดับ จะพบชีวมวลที่มีปริมาณเหลือทิ้งสูงสุดคือ ยอดและใบอ้อย และ ชีวมวลที่มีปริมาณเหลือทิ้งอันดับสุดท้ายคือกะลามะพร้าว จะเห็นว่าพืชแต่ละชนิดมีปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรไม่เท่ากัน ซึ่งการวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนต่ำ พบว่าค่าความชื้นของชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรถือเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการแปลงชีวมวลเป็นพลังงานความร้อน เมื่อชีวมวลใดมีค่าความชื้นมากยิ่งทำให้ชีวมวลนั้นมีค่าความร้อนต่ำ ดังนั้นความชื้นเริ่มต้นของชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกชนิดของชีวมวลกลับมาใช้ประโยชน์ จะเห็นได้ว่าจังหวัดชลบุรีมีส่วนการใช้พื้นที่เพาะปลูกยางพารามากที่สุด ทำให้มีชีวมวลเหลือทิ้งจากการเพาะปลูกมากตามไปด้วย ทั้งนี้ค่าความร้อนของใบยางพาราให้ค่าความร้อนสูงถึง 4,310 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และกิ่งก้านยางพารา ให้ค่าความร้อนสูงถึง 3,910 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ดังนั้นการนำชีวมวลจากยางพารามาใช้ประโยชน์ทางด้านความร้อนจึงเป็นแนวทางด้านการบริหารจัดการพลังงานภายในจังหวัดชลบุรี

**คำสำคัญ:** ชีวมวล, พลังงานชีวมวล, พืชเศรษฐกิจ, ส่วนเหลือทิ้งทางการเกษตร

## Abstract

The objective of this study is to survey the amount and the potential of agricultural biomass waste in Chonburi province, including all 11 districts, by coordinating with concerned agricultural sectors in order to collect the survey and the amount of each type of agricultural biomass waste and by selecting the five most planted cash crops in each district based on interviewing and exchanging the information from 30 large-scale agricultures per each plant type. According to the additional field survey by attending district and provincial agricultural conventions, the most agricultural biomass waste is ranked into 10 types. The first is tips and leaves of sugarcane and the last is coconut shells. It reveals that the amounts of agricultural biomass waste of each type differ. As lower heating value (LHV) analysis, it was found that the moisture value of agricultural biomass waste is one of the properties affecting the process of converting biomass into heat energy. When the moisture of biomass is higher, its heating value is lower. Therefore, the initial moisture of agricultural biomass waste is the main factor in selecting a type of the biomass waste for reuse purpose. Since the plantation proposition of rubber trees is the largest area in Chonburi, the waste from plantation increases accordingly. Moreover, the heating value of rubber leaves is up to 4,310 Kcal per Kg and the heating value of rubber branches is up to 3,910 Kcal per Kg. Consequently, reusing the biomass waste from rubber for heating value is a process for managing energy internally in Chonburi.

**Keywords:** Biomass, Biomass energy, Industrial drop, Agricultural waste

### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรหลากหลายชนิด ซึ่งมีพื้นที่ทางการเกษตรในประเทศไทยรวม 149.25 ล้านไร่ (สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, มปป.) การกระจายเชิงพื้นที่และความผันแปรตามฤดูกาลของชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรและศักยภาพพลังงาน (Pattaraanong *et al.*, 2020) มีชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรที่แปรผันโดยตรงกับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศเป็นจำนวนมาก (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2563)

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ในฐานะที่เป็นองค์กรหลักด้านกิจการไฟฟ้า ได้ตระหนักถึงความสำคัญในการรักษาสมดุลของแหล่งพลังงาน โดยเฉพาะการกระจายการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าให้เหมาะสมและยั่งยืน เช่นเดียวกับตำบลห้วยสูงมีความเป็นไปได้สำหรับการสร้างโรงไฟฟ้า

ในพื้นที่มีการศึกษาศักยภาพชีวมวลพบเชื้อเพลิงแข็งจากยอดและใบอ้อย ฟางข้าวและตอซังข้าว ปริมาณ 40,486.65 ตัน (ภัทราน และคณะ, 2558) ด้วยเหตุนี้พลังงานหมุนเวียนซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ไม่หมด สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ มีแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติรอบ ๆ ไม่ว่าจะเป็น แสงอาทิตย์ ลม น้ำ ความร้อนใต้พิภพ ชีวมวล และก๊าซชีวภาพ ผลผลิตและวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้หลายรูปแบบ เช่น การเผาไหม้ในเตาเผาชีวมวลระบบหัวเผา (วัชรกร และมนตรี, 2561) ก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง (วิจิตยา และคณะ, 2561) การผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม (นพดล และคณะ, 2563) การผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย (อาทิตยา และคณะ, 2563) ไบโอดีเซล พลังงานจากน้ำมันพืชใช้แล้ว (นิติพงศ์ และคณะ, ม.ป.ป.) และ การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ (ติณณภพ และคณะ, 2661) เป็นต้น

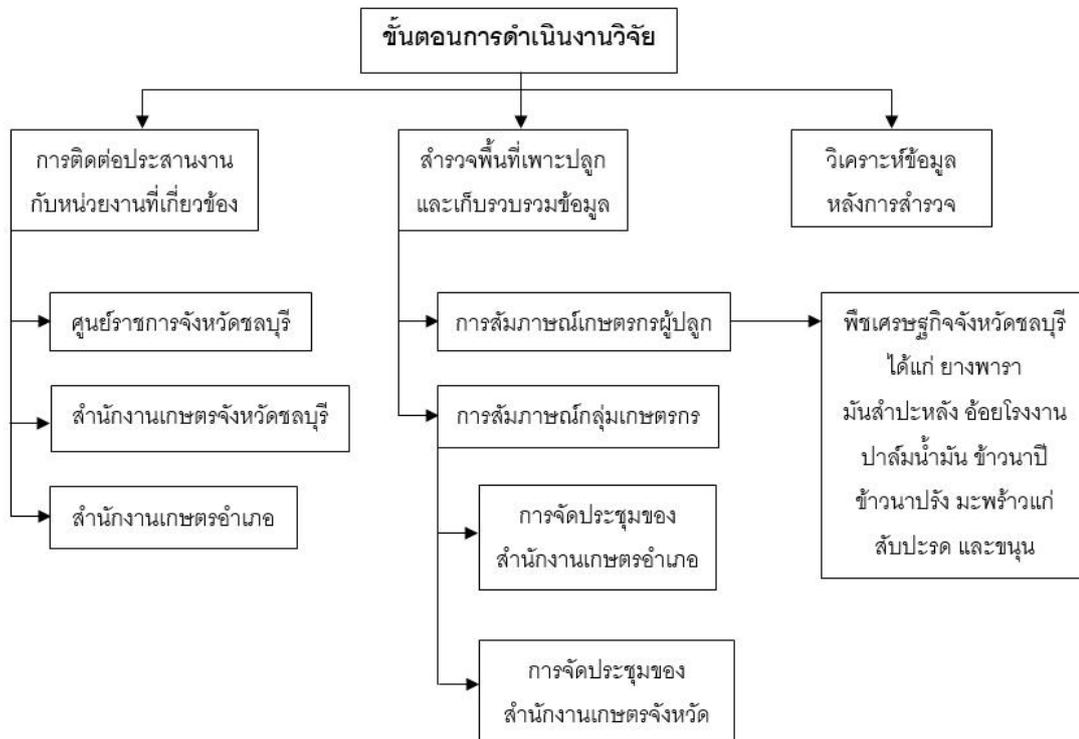
เมื่อมองถึงศักยภาพการให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันของประเทศไทยในภาพรวมพบว่า มีผลผลิตต่ำกว่ามาเลเซียและอินโดนีเซีย สาเหตุหลักคือ เกษตรกรยังขาดความรู้ความเข้าใจในพืชนี้ (ธีระพงศ์, 2555) ในขณะเดียวกัน มันสำปะหลังนับเป็น 1 ในพืชไร่ที่สำคัญในจังหวัดชลบุรีที่ให้ผลผลิตรวมทั้งปี 640,143 ตัน จะเห็นได้ว่าเป็นพืชที่สามารถสร้างรายได้มูลค่ารวมมากกว่า 960,214,500 บาท (สำนักงานเกษตรจังหวัดชลบุรี, 2561) สำหรับอ้อยนั้น จำเป็นต้องพัฒนาอีกมาก ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ จากสาเหตุหลักหลายประการ เช่น พื้นที่เพาะปลูก พันธุ์อ้อย ความอ่อนแอต่อศัตรูอ้อย และต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น (กระทรวงอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาศักยภาพชีวมวลโดยศึกษาการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของชีวมวลในประเทศไทย ศึกษาชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร และ สมบัติของการเป็นเชื้อเพลิงความร้อนของวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งแต่ละชนิดในจังหวัดชลบุรีเพื่อให้ทราบถึงความเหมาะสมและความพร้อมของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในจังหวัดชลบุรีแต่ละพื้นที่ในการนำมาเป็นพลังงานทดแทนเพื่อศึกษาศักยภาพชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการส่งเสริมให้มีการใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทน

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อสำรวจปริมาณและศึกษาศักยภาพพลังงานชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี

### 3. วิธีดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาศักยภาพชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรีเพื่อสำรวจปริมาณและศึกษาศักยภาพพลังงานชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรีทั้ง 11 อำเภอ ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจและศึกษาชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร ดังนี้

#### 3.1 การติดต่อประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

##### 3.1.1 ศูนย์ราชการจังหวัดชลบุรี

ติดต่อเพื่อยื่นหนังสือขออนุญาตเข้าพื้นที่จังหวัดชลบุรี สำหรับการสำรวจและแจ้งส่งเรื่องไปยังสำนักงานเกษตรจังหวัดชลบุรี ณ ศูนย์ราชการจังหวัดชลบุรี

##### 3.1.2 สำนักงานเกษตรจังหวัดชลบุรี

ติดต่อเพื่อแจ้งขอความอนุเคราะห์จากเกษตรจังหวัดชลบุรีเพื่อแจ้งเรื่องประสานงานไปยังสำนักงานเกษตรอำเภอทั้ง 11 อำเภอ และขอรับข้อมูลพื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว ปริมาณผลผลิตพืชเศรษฐกิจระดับจังหวัดชลบุรี ประจำปี 2563/2564 ที่มีการสำรวจและเก็บบันทึกไว้แล้วในเบื้องต้น



### 3.1.3 สำนักงานเกษตรอำเภอ ทั้ง 11 อำเภอ

ติดต่อเพื่อขอความอนุเคราะห์ข้อมูลการติดต่อรายชื่อกลุ่มเกษตรกรรายใหญ่ผู้ปลูกพืชเศรษฐกิจจังหวัดชลบุรีและรับคำแนะนำการลงพื้นที่สำรวจจากสำนักงานเกษตรทุกอำเภอ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และวางแผนการลงพื้นที่สำรวจเพิ่มเติม

### 3.2 การสำรวจพื้นที่เพาะปลูก และเก็บรวบรวมข้อมูล

จากที่ได้สำรวจข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกและเก็บข้อมูลพืชเศรษฐกิจในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรีทั้ง 11 อำเภอ เพื่อหาปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรแต่ละชนิดจากการโทรสัมภาษณ์ สอบถาม และสัมภาษณ์เกษตรกร โดยคัดเลือกชนิดพืชเศรษฐกิจที่มีการเพาะปลูกสูงสุด 5 อันดับแรกในแต่ละอำเภอ จากนั้นสอบถามและสัมภาษณ์เกษตรกรรายใหญ่จำนวน 30 คนในแต่ละชนิดพืช เพื่อเก็บข้อมูลการสำรวจและทำการนัดหมายทางโทรศัพท์ เพื่อเข้าเก็บข้อมูลพืชเศรษฐกิจในแต่ละชนิดพืชของเกษตรกรผู้ปลูกพืชเศรษฐกิจรายใหญ่ทั้ง 11 อำเภอ สำหรับการลงพื้นที่สำรวจข้อมูลชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรเพิ่มเติมจะดำเนินการโดยการเข้าร่วมการจัดประชุมของเกษตรอำเภอและเกษตรจังหวัดที่ได้มีการจัดขึ้น ซึ่งเป็นการประชุมกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกพืชเศรษฐกิจแต่ละชนิดเพื่อขอสัมภาษณ์และแลกเปลี่ยนข้อมูลจากเกษตรกร ดังนี้

#### 3.2.1 การสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูก ยางพารา มันสำปะหลัง อ้อยโรงงาน ปาล์มน้ำมัน

ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มะพร้าวแก่ สับปะรด และขนุน

#### 3.2.2 การสัมภาษณ์กลุ่มเกษตรกร

##### 3.2.2.1 การจัดประชุมของสำนักงานเกษตรจังหวัด

##### 3.2.2.2 การจัดประชุมของสำนักงานเกษตรอำเภอ

จากการเข้าร่วมการจัดประชุมของสำนักงานเกษตรอำเภอและสำนักงานเกษตรจังหวัดที่ได้มีการจัดขึ้น เป็นการประชุมกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกพืชเศรษฐกิจแต่ละชนิด ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์และแลกเปลี่ยนข้อมูลจากกลุ่มเกษตรกร เพื่อหาชนิด ประเภท และปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว ปริมาณผลผลิตของพืชเศรษฐกิจที่มีการสำรวจและเก็บบันทึกไว้แล้วในเบื้องต้น

### 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลหลังจากการสำรวจ

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลหลังจากการสำรวจจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่สำรวจ และจากที่ได้ทำการชั่งน้ำหนักและทำการเก็บตัวอย่างชีวมวลที่เหลือทิ้งจากการเกษตรที่ได้ลงพื้นที่และการสัมภาษณ์เกษตรกรรายใหญ่ผู้ปลูกพืชเศรษฐกิจ เพื่อสรุปผลการสำรวจชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี สำหรับนำไปศึกษาเกี่ยวกับการนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ หรือการนำไปประยุกต์เป็นเชื้อเพลิงทดแทนทางด้านพลังงานในลำดับต่อไป



#### 4. ผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี เพื่อสำรวจปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี เพื่อนำไปสู่การพัฒนาแหล่งพลังงานทางเลือกของจังหวัดชลบุรี โดยได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

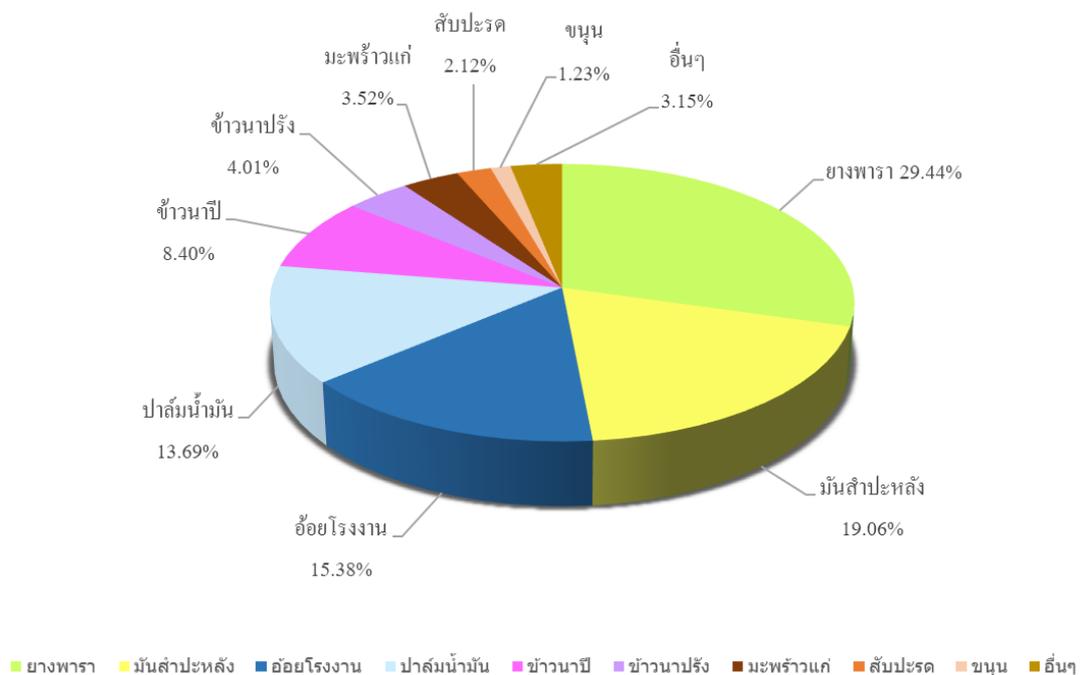
##### 4.1 พื้นที่การเกษตร

จากการเลือกพืชเศรษฐกิจจากการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เกี่ยวเกี่ยว ปริมาณผลผลิต ของพืชเศรษฐกิจที่มีการสำรวจและเก็บบันทึกไว้แล้วในเบื้องต้นจากการจำแนกกลุ่มเกษตรกรรม ภายใต้เงื่อนไขด้านพื้นที่เพาะปลูกสูงสุด 5 อันดับแต่ละอำเภอ พบว่า อำเภอเมืองปลุกมันสำปะหลัง 1,377 ไร่ ข้าวนาปี 871 ไร่ มะพร้าวแก่ 825 ไร่ อ้อยโรงงาน 199 ไร่ ปาล์มน้ำมัน 105 ไร่ อำเภอบ้านบึง ปลูกอ้อยโรงงาน 75,596 ไร่ มันสำปะหลัง 23,894 ไร่ ปาล์มน้ำมัน 15,723 ไร่ ยางพารา 12,920 ไร่ ข้าวนาปี 6,998 ไร่ อำเภอบางละมุงปลุกมันสำปะหลัง 34,609 ไร่ มะพร้าวแก่ 15,037 ไร่ ยางพารา 8,453 ไร่ สับปะรด 4,376 ไร่ ปาล์มน้ำมัน 3,122 ไร่ อำเภอพนัสนิคม ปลูกข้าวนาปี 45,470 ไร่ มันสำปะหลัง 28,396 ไร่ ข้าวนาปรัง 28,204 ไร่ ยางพารา 3,645 ไร่ ขนุน 2,954 ไร่ อำเภอพานทอง ปลูกข้าวนาปี 5,300 ไร่ ข้าวนาปรัง 2,108 ไร่ อ้อยโรงงาน 1,311 ไร่ ปาล์มน้ำมัน 309 ไร่ มะพร้าวแก่ 49 ไร่ อำเภอศรีราชา ปลูกมันสำปะหลัง 18,521 ไร่ มะพร้าวแก่ 9,136 ไร่ ยางพารา 6,091 ไร่ สับปะรด 3,906 ไร่ ขนุน 1,707 ไร่ อำเภอสัตหีบปลุกมันสำปะหลัง 8,301 ไร่ ขนุน 910 ไร่ ยางพารา 784 ไร่ มะพร้าวแก่ 466 ไร่ สับปะรด 171 ไร่ อำเภอบ่อทอง ปลูกยางพารา 120,868 ไร่ ปาล์มน้ำมัน 35,637 ไร่ อ้อยโรงงาน 29,614 ไร่ มันสำปะหลัง 13,121 ไร่ ข้าวนาปี 2,396 ไร่ อำเภอหนองใหญ่ ปลูกยางพารา 66,513 ไร่ ปาล์มน้ำมัน 45,526 ไร่ มันสำปะหลัง 15,559 ไร่ อ้อยโรงงาน 11,702 ไร่ สับปะรด 3,423 ไร่ อำเภอเกาะจันทร์ปลูกยางพารา 17,042 ไร่ มันสำปะหลัง 9,204 ไร่ ปาล์มน้ำมัน 5,415 ไร่ ข้าวนาปี 4,610 ไร่ อ้อยโรงงาน 2,109 ไร่ ในขณะที่อำเภอกะสีซึ่ง ไม่มีการเกษตรพืชเศรษฐกิจเนื่องจากปัญหาขาดแคลนน้ำจืดและเกษตรกรทำการเกษตรเพาะปลูกเพียงพืชผักสวนครัวเท่านั้น กล่าวได้ว่าพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจของจังหวัดชลบุรีมีเพียง 10 อำเภอ และมีการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญเพียง 9 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางการใช้พื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ 9 ชนิด ระดับจังหวัดชลบุรี ปี 2563/2564

อำเภอ/ กิ่งอำเภอ	มัน		อ้อย		ปาล์ม		ข้าว		มะพร้าว		อื่นๆ
	ยางพารา (ไร่)	สำปะหลัง (ไร่)	โรงงาน (ไร่)	น้ำมัน (ไร่)	ข้าวนาปี (ไร่)	ข้าวนาปรัง (ไร่)	แก่ (ไร่)	สับปรด (ไร่)	ขนุน (ไร่)		
เมือง	31	1,377	199	105	871	-	825	-	51	1,826	
บ้านบึง	12,920	23,894	75,596	15,723	6,998	474	2,048	2,433	455	3,226	
พนัสนิคม	3,645	28,396	1,957	2,912	45,470	28,204	286	-	2,954	2,087	
ศรีราชา	6,091	18,521	990	1,127	456	242	9,136	3,906	1,707	483	
พานทอง	-	36	1,311	309	5,300	2,108	49	-	-	340	
เกาะสีชัง	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
บางละมุง	8,453	34,609	-	3,122	943	108	15,037	4,376	413	863	
เกาะจันทร์	17,042	9,204	2,109	5,415	4,610	1,038	309	543	1,132	2,414	
หนองใหญ่	66,513	15,559	11,702	45,526	384	-	93	3,423	986	1,128	
บ่อทอง	120,868	13,121	29,614	35,637	2,396	-	51	2,177	1,279	12,624	
สัตหีบ	784	8,301	-	26	16	-	466	171	910	334	
<b>รวมพื้นที่ เพาะปลูก</b>	<b>236,347</b>	<b>153,018</b>	<b>123,478</b>	<b>109,902</b>	<b>67,444</b>	<b>32,174</b>	<b>28,300</b>	<b>17,029</b>	<b>9,887</b>	<b>25,325</b>	

#### 4.2 ศักยภาพด้านการเกษตรของจังหวัดชลบุรี



ภาพที่ 2 สัดส่วนการใช้พื้นที่เพาะปลูกด้านการเกษตรของแต่ละชนิดพืช ในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรีประจำปี 2563/2564



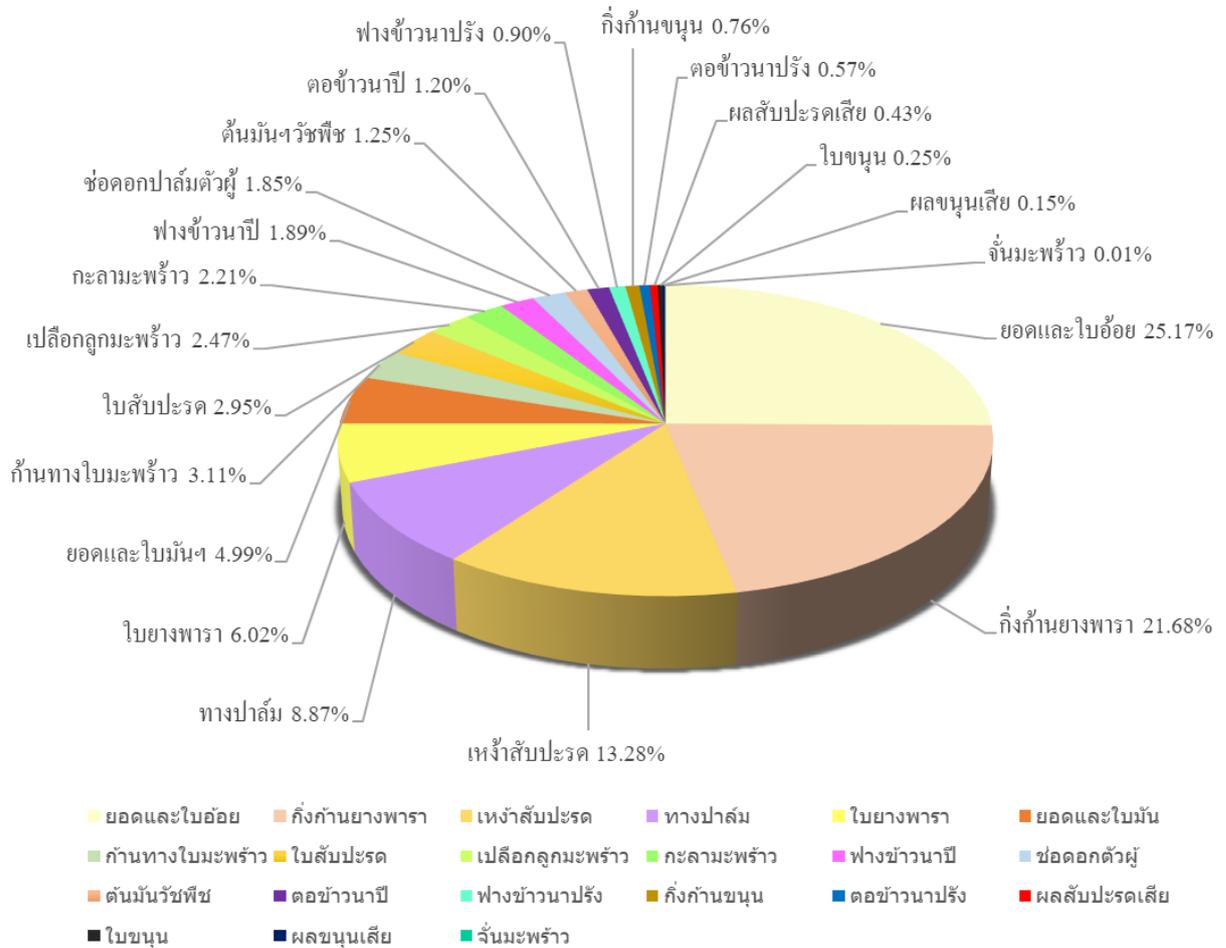
ซึ่งสัดส่วนการใช้พื้นที่เพาะปลูกด้านการเกษตรของแต่ละชนิดพืชในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี แสดงในภาพที่ 2 พบว่าจังหวัดชลบุรีมีพื้นที่ทั้งสิ้น 2,882,393.125 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.90 ของพื้นที่ประเทศไทย (พื้นที่ของประเทศไทยประมาณ 320,696,875 ไร่) และมีการใช้พื้นที่ด้านเกษตรกรรม 802,904.188 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 27.86 ของพื้นที่จังหวัดชลบุรีทั้ง 11 อำเภอ มีการใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ 9 ชนิด ดังต่อไปนี้ ยางพารา มีพื้นที่เพาะปลูกรวม 236,347 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 29.44 มัณฑะปาล์ม มีพื้นที่เพาะปลูกรวม 153,018 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 19.06 อ้อยโรงงาน มีพื้นที่เพาะปลูกรวม 123,478.40 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 15.38 ปาล์มน้ำมัน มีพื้นที่เพาะปลูกรวม 109,902 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 13.69 ข้าวนาปี มีพื้นที่เพาะปลูกรวม 67,444 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 8.4 ข้าวนาปรัง มีพื้นที่เพาะปลูกรวม 32,174 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 4.01 มะพร้าวแกง มีพื้นที่เพาะปลูกรวม 28,300 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.52 สับปะรด มีพื้นที่เพาะปลูกรวม 17,029 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.12 ขนุน มีพื้นที่เพาะปลูกรวม 9,887 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.23 ในขณะที่มีการเพาะปลูกพืชชนิดอื่นๆ 25,324.79 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.15 ของการใช้พื้นที่ด้านการเกษตรของจังหวัดชลบุรีในปี 2563/2564

#### 4.3 ศักยภาพชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี

จากการประสานงานกับสำนักงานเกษตรอำเภอและสำนักงานเกษตรจังหวัดชลบุรี เพื่อลงพื้นที่สำรวจเพิ่มเติมโดยการจัดประชุม เข้าร่วมการประชุมที่เกษตรอำเภอหรือเกษตรจังหวัดได้มีการจัดขึ้น ซึ่งเป็นการประชุมกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกพืชเศรษฐกิจแต่ละชนิด เพื่อขอสัมภาษณ์และแลกเปลี่ยนข้อมูลจากเกษตรกร รวมถึงการโทรศัพท์สัมภาษณ์ และขออนุญาตสำรวจเก็บข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกรผู้ปลูกพืชเศรษฐกิจทางโทรศัพท์เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกพื้นที่เก็บเกี่ยว ปริมาณผลผลิต ของพืชเศรษฐกิจที่มีการสำรวจและเก็บบันทึกไว้แล้วในเบื้องต้นและทำการขอเก็บตัวอย่างชีวมวลที่เหลือทิ้งจากการเกษตรมาซึ่งนำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งจากการเกษตรเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรีแสดงในภาพที่ 2

ข้อมูลชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรนี้ได้จากการสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่จังหวัดชลบุรี แสดงในภาพที่ 3 พบว่าขนาดหรือจำนวนพื้นที่เพาะปลูกขนาดใหญ่หลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปพืชเศรษฐกิจไม่ได้มีผลต่อปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรแต่อย่างใด ซึ่งจากการสำรวจ พบว่ายางพารา คือ พืชเศรษฐกิจที่มีการเพาะปลูกมากที่สุดในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี แต่พืชที่ให้ปริมาณผลผลิตทางการเกษตรและคงเหลือชีวมวลเหลือทิ้งที่มากที่สุดคือ การทำไร่อ้อย โดยให้ผลผลิตรวมทั้งสิ้น 1,237,402.85 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 52.61 ของปริมาณผลผลิตทางการเกษตร ในพื้นที่เพาะปลูกรวม 123,478.40 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 15.38 ของพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ และคงเหลือยอดและใบอ้อย ในปริมาณ 493,912 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 25.17 ซึ่งเป็นสัดส่วนชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทเดียวที่เหลือทิ้งจากการทำไร่อ้อย ซึ่งอดีตเกษตรกรจะเก็บส่วนใบอ้อยไปขายหรือเป็นอาหารสัตว์ แต่ในปัจจุบัน กำจัดโดยการเผาทิ้งภายในไร่ แต่ในขณะเดียวกันพื้นที่เพาะปลูก

สวนยางพารามีมากถึง 236,347 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 29.44 ของสัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจใน จังหวัดชลบุรีกลับมีปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งจากส่วนใบยางพารา 118,173.5 ตันต่อปี คิดเป็นอัตรา ร้อยละ 6.02 ของส่วนเหลือทิ้งจากใบที่ตกบริเวณลำต้น และกิ่งก้านยางพาราคงเหลือในปริมาณ 425,424.6 ตันต่อปี คิดเป็นอัตราร้อยละ 21.68 ของสัดส่วนชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ได้จาก การตัดแต่งกิ่งก้าน โดยส่วนมากจะปล่อยทิ้งไว้เพื่อการย่อยสลายเป็นปุ๋ยบำรุงดิน ซึ่งถัดจากการ เพาะปลูกยางพาราคือการปลูกมันสำปะหลัง มีขนาดพื้นที่เพาะปลูกรวมทั้งสิ้น 153,018 ไร่ คิดเป็น ร้อยละ 19.06 ของพื้นที่เพาะปลูก และมีผลผลิตรวม 586,686.31 ตันต่อปี คิดเป็นอัตราร้อยละ 24.95 ของปริมาณผลผลิตทางการเกษตร นับเป็นปริมาณผลผลิตอันดับสองรองจากการเพาะปลูก อ้อยโรงงาน ซึ่งตามหลักวิชาการ มันสำปะหลังจะปลูกไร่ละประมาณ 1,600 ตัน เมื่อถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยวจะคงเหลือส่วนเหลือทิ้งทางการเกษตรคือส่วนของยอดและใบมันสำปะหลังประมาณ 97,931.52 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 4.99 และต้นมันวัชพืช 24,482.88 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 1.25 ซึ่งยังไม่มี การนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ เนื่องจากไม่มีเครื่องจักรและผู้เชี่ยวชาญเข้ามาให้ความรู้หรือแนะนำและ การจัดการนำไปใช้ จึงปล่อยทิ้งไว้เป็นปุ๋ยหมักภายในไร่ ซึ่งในขณะที่การทำสวนปาล์มน้ำมันมีพื้นที่ เพาะปลูกรวม 109,902 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 13.69 ของเขตพื้นที่เพาะปลูก และมีผลผลิตรวม 291,676.11 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 12.40 ซึ่งเป็นผลผลิตอันดับสามรองจากการทำไร่มันสำปะหลัง โดยมีทางปาล์มเหลือทิ้งประมาณ 174,084.77 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 8.87 ซึ่งปัจจุบันเกษตรกรจะ ปล่อยทิ้งไว้ตามบริเวณโดยรอบต้นเพื่อคลุมหญ้าวัชพืช และปล่อยย่อยสลายเป็นปุ๋ย หรือเมื่อแห้ง เกษตรกรบางรายจะรวมเป็นกองภายในสวน และทำการเผาทิ้ง ส่วนช่อดอกตัวผู้ที่ร่วงจากลำต้นมี ประมาณ 36,267.66 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 1.85 ของส่วนเหลือทิ้งทางการเกษตรจากการทำสวน ปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะเห็นได้ชัดจากพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีปริมาณ 67,444 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 8.40 ของ พื้นที่ปลูกข้าว ให้ผลผลิตรวม 31,117.08 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 1.32 คงเหลือชีวมวลเหลือทิ้งทาง การเกษตรในส่วนของฟางข้าวนาปีในปริมาณ 37,094.20 ตันต่อปีคิดเป็นร้อยละ 1.89 และตอข้าว 23,605.4 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 1.20 ซึ่งอยู่ในลำดับที่ 11 และ 14 ตามลำดับจากส่วนเหลือทิ้งทาง การเกษตร ในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรีทั้ง 21 รายการ

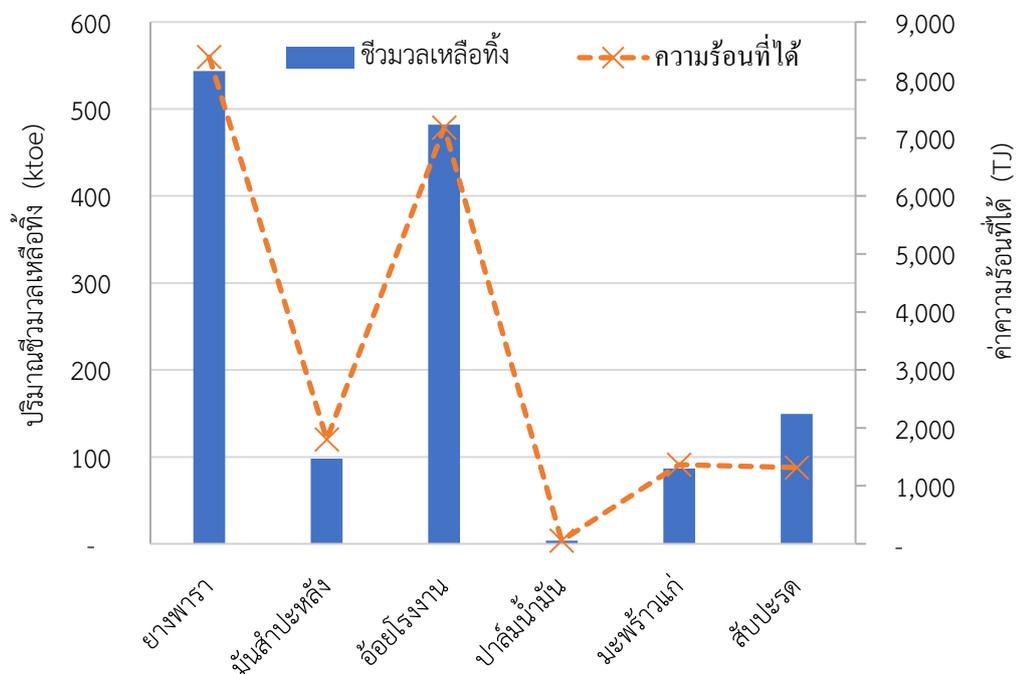


ภาพที่ 3 สัดส่วนชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรีประจำปี 2563/2564

#### 4.4 ศักยภาพพลังงานชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี

จากพื้นที่เพาะปลูกในจังหวัดชลบุรีพืชที่มีการเพาะปลูกมากที่สุดคือ ยางพารา และยังเป็นชีวมวลเหลือทิ้งที่มีปริมาณที่สุด ในส่วนมันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน มะพร้าวแก่ สับปะรด แสดงให้เห็นว่าพืชแต่ละชนิดมีปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งไม่เท่ากัน บางชนิดไม่มีชีวมวลเหลือทิ้ง นั่นก็คือ การทำนาข้าว จากการวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนต่ำ ค่าค่าความชื้น ของชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร ค่าความชื้นถือเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการแปลงชีวมวลเป็นพลังงานความร้อน เมื่อชีวมวลใดมีค่าความชื้นมากยิ่งทำให้ชีวมวลนั้นมีค่าความร้อนต่ำ จากผลการวิเคราะห์ ค่าความชื้นของชีวมวลจากเหง้าสับปะรดมีค่ามากถึงอัตราร้อยละ 63.20 และ ก้านทางใบมะพร้าว มีค่าความชื้นอัตราร้อยละ 38.83 ซึ่งจะทำให้ต้องสูญเสียพลังงานในการเปลี่ยนรูปพลังงาน เนื่องจากต้องใช้ความร้อนในการทำให้ความชื้นลดลงเท่ากับ 0 ดังนั้นความชื้นเริ่มต้นของชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกชนิดของชีวมวลกลับมาใช้ประโยชน์ หรือการลดความชื้นเพื่อเพิ่มศักยภาพทางด้านความร้อน ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน พบว่ายอดและใบมันสำปะหลังมีค่าความร้อนต่ำสุดถึง

1,802.46 เทระจูล แต่เมื่อเทียบกับปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งที่ค่าความร้อนต่ำของยางพารากลับมีค่ามากที่สุดถึง 8,397 เทระจูล รองลงมาคือ อ้อยซึ่งมีค่าความร้อนต่ำ 7,181 เทระจูล ดังภาพที่ 4 ในส่วนชีวมวลจากสับปะรดค่าพลังงานความร้อนที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับชีวมวลประเภทอื่นที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณชีวมวลเหลือทิ้ง เนื่องจากค่าความชื้นของสับปะรดมีค่าสูงทำให้ค่าความร้อนต่ำมีค่าน้อย ส่งผลต่อค่าความร้อนที่ได้มีค่าน้อยลงตามไปด้วย จากการเรียงลำดับพื้นที่การเพาะปลูกจากมากไปหาน้อย พบว่ามันสำปะหลังซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกมากแต่กับมีชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรน้อย อีกทั้งยังมีค่าพลังงานความร้อนต่ำสูงที่สุด แต่ค่าความร้อนที่ได้เมื่อเทียบกับปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งที่มีน้อยจึงทำให้มีค่าลดลงตามไปด้วย



ภาพที่ 4 ปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรและค่าพลังงานความร้อนที่ได้

### 5. อภิปรายผลและสรุปผล

ผลจากการสำรวจปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี พบว่าจังหวัดชลบุรีมีพื้นที่จำนวนทั้งสิ้น 2,882,393.125 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.90 ของพื้นที่ประเทศไทย (พื้นที่ของประเทศไทยประมาณ 320,696,875 ไร่) และมีการใช้พื้นที่ด้านเกษตรกรรมในระดับจังหวัดทั้งสิ้น 802,904.188 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 27.86 ของพื้นที่จังหวัดชลบุรีทั้ง 11 อำเภอ แต่ในภาคเกษตรกรรมมีการใช้สัดส่วนพื้นที่ทางการเกษตรเพียง 10 อำเภอ เนื่องจากอำเภอเกาะสีชังไม่มีศักยภาพด้านภูมิศาสตร์เพียงพอในการทำเกษตรกรรมการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจขนาดใหญ่ พบปัญหา



เรื่องปริมาณน้ำจืดไม่เพียงพอ และยังต้องซื้อน้ำสำหรับการอุปโภค-บริโภคใช้ภายในเกาะ ซึ่งต่างจากอำเภออื่นๆในจังหวัดชลบุรีที่มีสัดส่วนการใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ 9 ชนิดทั้งสิ้น 777,579.4 ไร่ พบสัดส่วนการใช้พื้นที่ด้านการเพาะปลูกยางพารามากที่สุดคือ 236,347 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 29.44 ของพื้นที่ มีส่วนเหลือทิ้งจากการเพาะปลูกได้เช่น ใบยางพาราเหลือทิ้งในปริมาณ 118,173.5 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 6.02 ของปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร ให้ค่าความร้อนสูงถึง 4,310 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม หรือและกิ่งก้านยางพารามีปริมาณเหลือทิ้งในปริมาณ 425,424.6 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 21.68 ของปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร ให้ค่าความร้อนสูงถึง 3,910 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม พบมากในอำเภอบ่อทอง รองลงมามีการใช้พื้นที่ด้านการเพาะปลูกมันสำปะหลังเป็นลำดับที่สองรองจากยางพาราในสัดส่วนพื้นที่ 153,018 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 19.06 ของพื้นที่ มีส่วนเหลือทิ้งจากการเพาะปลูกเช่น ยอดและใบมันสำปะหลัง มีปริมาณเหลือทิ้งในปริมาณ 97,424.6 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 4.99 ของปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร ให้ค่าความร้อนสูงถึง 4,740 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม พบมากในอำเภอบางละมุง และถัดมาจะเป็นการใช้สัดส่วนพื้นที่ด้านการเพาะปลูกอ้อย 123,478.4 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 15.38 ของพื้นที่ มีส่วนเหลือทิ้งจากการเพาะปลูกได้เช่น ยอดและใบอ้อยเหลือทิ้งในปริมาณ 493,912 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 25.17 ของปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร ให้ค่าความร้อนสูงถึง 3,870 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม พบมากในอำเภอบ้านบึง

จะเห็นได้ว่าจังหวัดชลบุรีมีชีวมวลเหลือทิ้งจากการเพาะปลูกยางพารามากที่สุด แต่ยอดและใบมันสำปะหลังก็มีค่าความร้อนที่สูงเช่นกัน ดังนั้นการนำชีวมวลจากยางพารามาใช้ประโยชน์ทางด้านความร้อนจึงเป็นแนวทางด้านการบริหารจัดการพลังงานภายในจังหวัดชลบุรี อีกทั้งยังมีชีวมวลจากการเพาะปลูกอ้อยที่ใช้พื้นที่เพาะปลูกไม่มาก แต่มีศักยภาพชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรมากกว่ามันสำปะหลังที่ใช้สัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกมากกว่า โดยจากการศึกษาศักยภาพชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรีนี้ นอกจากจะทำให้ทราบปริมาณชีวมวลจากการเพาะปลูกแล้วยังสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปพยากรณ์ วางแผนการเพาะปลูกในปีถัดไป รวมไปถึงจนถึงแนวทางการจัดการพลังงานในด้านอื่นๆได้อีกมากมาย เช่น การนำไปเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบของถ่านอัดแท่งหรือก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อลดต้นทุนด้านการจัดหาวัตถุดิบของถ่านอัดแท่งหรือก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ในอนาคตสำหรับผู้ที่ต้องการนำชุดข้อมูลที่ได้ไปใช้ไปใช้ประกอบการพิจารณาและวางแผนแนวทางการจัดการวัสดุเหลือทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตภายในไร่ให้กับเกษตรกรในจังหวัดชลบุรี หรือพื้นที่อื่นๆได้อีกด้วย

## 6. ข้อเสนอแนะ

จากที่ได้มีการส่งเสริมประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าชีวมวลตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 10 ปี และมีการกำหนดแผนการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล เบื้องต้น จะมีการดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าในโรงงานน้ำตาล ดังนั้น การศึกษาศักยภาพชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี อาจเป็นอีกแนวทางการศึกษาหนึ่งที่สามารถขยายผลไปยังโรงไฟฟ้าชีวมวลประเภทอื่น ๆ เช่น มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน สับปะรดต่อไปได้ในอนาคต

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย ขอขอบคุณผู้ว่าราชการจังหวัดชลบุรี สำนักงานเกษตรจังหวัด สำนักงานเกษตรอำเภอ ทั้ง 11 อำเภอ ที่ให้การอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลประกอบงานวิจัยและการประสานงานการเข้าพื้นที่และสำรวจข้อมูลชีวมวลในจังหวัดชลบุรี และขอขอบคุณ คณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่เป็นต้นสังกัดในการให้มาได้มาซึ่งทุนสถานที่ทำวิจัย และความรู้ในการจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- ไกววัล กล้าแข็ง. (2551). **คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรมันสำปะหลัง** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: กรมส่งเสริมการเกษตร.
- จิรวัดน์ เทอดพิทักษ์พงษ์, รณยุทธ สัตยานิคม, พรทิพย์ เกตุมา, และคณะ. (2551). **คู่มือการจัดการไร้อ้อยอย่างยั่งยืน** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย
- ดิฉนวน สันตาคำ และมาลี สันตาคุณาภรณ์. (2661). การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 26(6), 1042-1047.
- ธีระพงศ์ จันทนิยม. (2562). **คู่มือเกษตรกรการผลิตปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ** (พิมพ์ครั้งที่ 4). สงขลา: ห้างหุ้นส่วนสามัญ หาดใหญ่ ดิจิตอล พรินท์.
- นิติพงศ์ ปานกลาง, สมชาย เปียนสูงเนิน และ บุญยัง ปลั่งกลาง. (ม.ป.ป.). ไบโอดีเซล พลังงานจากน้ำมันพืชใช้แล้ว. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคลธัญบุรี**, 5(10), 82-86.

- นพดล โปษกาเหน็ด, สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์ และณิชา ประสงค์จันทร์. (2563). ศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม จากแหล่งเทศบาลเมืองเขารูปช้าง โดยใช้การหมักแบบกะ. **วารสารวิจัย UTK ราชมงคล กรุงเทพ**, 14(2), 106-127.
- พุดชาติ คิดหาทาง, วีรินทร์ หวังจิรนิรันทร์ และอัจฉริยา สุริยะวงศ์. (2557). การศึกษาศักยภาพเชิงพื้นที่ของชีวมวลสำหรับผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย, **วารสารวิจัยพลังงาน**, 11(1), 63-75.
- ภัทรานี นาคคงคำ, พิสิษฐ์ มณีโชติ และศิรินุช จินดารักษ์. (2558). การศึกษาศักยภาพชีวมวลในพื้นที่ตำบลข่อยสูง อำเภอตรอน จังหวัดอุดรธานี, การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่8 สถานที่จัดประชุม,139-142.
- วัชรกร ใจตรง และมนตรี วงศ์ศิริวิทยา. (2561). ผลการเผาไหม้ชีวมวลโดยตรงในเตาเผาเชื้อเพลิงระบบหัวเผาจากการอัดอากาศ ของพัดลมหอยโข่ง, **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ**, 21(3)191-198.
- วิจิตยา รัชศรี, ณัฐกานต์ แก้วยานะ และพฤกษ์ อักกะรังสี. (2561). การพัฒนาการผลิตก๊าซมีเทนจากน้ำเสียอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังโดยการเติมโลหะไอออน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี Thai Science and Technology Journal (TSTJ)**, 28(4),706-716.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2563). สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2563. สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2564, จาก [http://www.oae.go.th/download/document\\_tendency/journalofecon2558.pdf](http://www.oae.go.th/download/document_tendency/journalofecon2558.pdf)
- อาทิตยา ปาปะไพ, พรธิดา บุญทา, เมทินี เสาศมภพ และชัชฎาภา เกตุวงศ์. (2563). การผลิตเอทานอลจากการหมัก. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม**, 31-41.
- Pattaraanong, K., Warunee, T., Adisak, N., & Somchart, S. (2021). Assessment of seasonal Availability and Spatial Distribution of Bio-feedstock for Power Generation in Thailand, **BioEnergy Research**, 70-90. Doi: 10.1007/s12155-020-10168-x

การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุ  
กรณีศึกษาบริษัทผู้ผลิตดินผสม สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกส์  
EFFICIENCY IMPROVEMENT IN FILLING PROCESS:  
A CASE STUDY OF COMPOUND CLAY MANUFACTURER  
FOR CERAMIC INDUSTRY

ศิริรัตน์ แจ้รักษ์สกุล<sup>1\*</sup>, จินตนาย ไพรสมนต์<sup>2</sup>, กิตติชัย อธิกุลรัตน์<sup>3</sup>

Sirat Jangruksakul<sup>1\*</sup>, Chintanai Praisont<sup>2</sup>, Kittichai Athikulrat<sup>3</sup>

<sup>1</sup>วิทยาลัยบริหารธุรกิจนวัตกรรมและการบัญชี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10200

<sup>2</sup>คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10200

<sup>3</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10800

<sup>1</sup> College of Innovative Business and Accountancy, Dhurakij Pundit University, Laksi, Bangkok, Thailand, 10210

<sup>2</sup> Faculty of Commerce and Accountancy, Thammasat University, Phra Nakhon, Bangkok, Thailand 10200

<sup>3</sup> Faculty of Engineer, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bang Sue, Bangkok, Thailand 10800

\*Corresponding author e-mail: sirat.jan@dpu.ac.th

วันที่เข้าระบบ 12 มกราคม 2566

วันที่แก้ไขบทความ 13 มีนาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 21 มีนาคม 2566

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพปัญหา หาแนวทางการปรับปรุง และเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการบรรจุของบริษัทผู้ผลิตดินผสม สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกส์ โดยใช้การศึกษาการทำงานด้วยเครื่องมือแผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ (Multiple activity chart) ในการบันทึกข้อมูล หาแนวทางการปรับปรุงโดยใช้การลดความสูญเสียเปล่าด้วยหลักการ ECRS พร้อมทั้งเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง ผลการวิจัยพบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการดังกล่าวคือ 1) เวลาว่างของเครื่องจักร รวมทั้งเวลารอคอยของพนักงาน และ 2) การทำงานของเครื่องจักรไม่เต็มประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับปรุงโดยใช้หลักการ ECRS ได้แก่ 1) การรวมขั้นตอน รวมพื้นที่เข้าด้วยกัน 2) การจัดลำดับงานใหม่ให้เหมาะสม โดยใช้การสลับขั้นตอนและงานให้กับพนักงาน และ 3) การออกแบบการทำงานให้ง่ายขึ้น โดยตัดคานเหล็กบางจุดที่ขัดขวางการเคลื่อนไหวของพนักงาน ผลการปรับปรุง พบว่า เวลาที่ใช้ในการบรรจุต่อ 1 ถัง ลดลงร้อยละ 53.00 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 89.58 ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานคนที่ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นร้อยละ 26.94 และ 43.86 ตามลำดับ ส่งผลให้ผลิตภาพของกระบวนการในภาพรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 105.88 และสามารถลดต้นทุนแรงงานในการบรรจุได้ 19,320 บาทต่อปี

**คำสำคัญ:** การปรับปรุงกระบวนการ, แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ, อุตสาหกรรมเซรามิกส์, ECRS

## Abstract

The purpose of this research is to study the preliminary information and find ways to improve and increase efficiency in the mixed soil filling process of a compound clay manufacturer. By using the Multiple Activity Chart as a starting tool, operating data of a case company were recorded, analyzed, and identified improvement solutions with focus on waste reduction under ECRS principle. Results were then evaluated and compared between pre and post implementation. We found that there were two problems associated with the filling process: 1) Machine and employee idle time 2) Machine efficiency is not performed at its best. With ECRS guidelines, we conducted three improvement approaches: 1) Combined operating procedures and working areas together. 2) Rearranged sequences of mixed soil packaging process for both machines and employees. and 3) Simplified working procedures by taking off steel beams in positions that obstructed employee movement. The improvement results showed that the time spent filling per bag was reduced by 53.00%. The percentage of machine efficiency increased by 89.58%. Work rate of the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> employees went up 26.94% and 43.86% respectively. As a result, the overall process productivity increased 105.88% and the company could save labor expenses by 19,320 Baht per year.

**Keywords:** Process improvement, Multiple activity chart, Ceramic industry, ECRS

## 1. บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบัน ปัญหาเศรษฐกิจไม่ว่าจะเป็นปัญหาสินค้าขาดแคลนและมีราคาแพง ผู้ประกอบการที่เป็นผู้ผลิตสินค้าเกิดปัญหาทางด้านต้นทุนซึ่งมีราคาสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็น วัตถุดิบ ค่าแรงงาน และค่าใช้จ่ายการผลิตอื่นๆ โดยเฉพาะค่าน้ำมันที่ต้องใช้ในการขนส่งสินค้า ส่งผลกระทบต่อต้นทุนของสินค้าที่ผลิต ผู้บริหารจึงควรตระหนักถึงความสำคัญของการลดต้นทุนเพื่อความอยู่รอด และเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของกิจการ (อนุธิตา, 2554) การลดต้นทุนถือเป็นสิ่งสำคัญ เพราะต้นทุนที่เพิ่มขึ้นย่อมหมายถึงกำไรที่ลดลง แต่ถ้ากิจการสามารถลดต้นทุนลงได้ นั่นถือเป็นช่องทางหนึ่งของการเพิ่มกำไร ดังนั้นผู้ประกอบการธุรกิจจึงหันมาให้ความสำคัญต่อการควบคุมต้นทุนการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (กรณีรัฐกิจ, 2559) ทั้งหมดเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ผู้ประกอบการจำเป็นต้องมีการวางแผนการผลิตที่ดี ใช้เทคนิคต่างๆ สำหรับการวางแผนควบคุมการผลิต (Phiphop, 2005) การมุ่งเน้นในการที่จะลดความสูญเปล่า (Ratchawan, 1995) ในกระบวนการผลิต การศึกษาการทำงานเพื่อลด

ความสูญเสียและเพิ่มผลผลิตในการปฏิบัติงาน การจัดสมดุลการผลิตโดยแบ่งย่อยกระบวนการต่างๆ ให้มีเวลาใกล้เคียงกัน (Kasidit & Chusak, 2007) โดยประยุกต์ใช้เทคนิค ECRS เข้ามาใช้ในการปรับปรุงการทำงาน (Wichai, 2008)

ในขณะที่อุตสาหกรรมเซรามิกส์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นแหล่งสร้างอาชีพ ทำให้เกิดการจ้างงาน สร้างรายได้ให้แก่คนในท้องถิ่น ส่งผลต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศอุตสาหกรรมเซรามิกส์ไทยได้ก้าวเข้าสู่ตลาดโลก โดยมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีการนำเทคโนโลยีและการจัดการแบบใหม่เข้ามาพัฒนาในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ของไทย ซึ่งจะเน้นการพัฒนาด้านการกระจายสินค้า คุณภาพ รูปแบบของสินค้าให้มีความทันสมัย สอดคล้องกับความต้องการของตลาดและมีมาตรฐานการผลิตระดับสากล (หัสตินทร์, 2560) ในขณะที่บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผู้ผลิตดินผสมสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ซึ่งธุรกิจนี้ภายในประเทศมีคู่แข่งน้อยราย แต่ในสภาวะปัจจุบันที่ลูกค้ามีความต้องการที่มีความหลากหลายมากขึ้น ไม่ว่าจะประเภทของสินค้า ราคาสินค้า ขนาดการสั่งซื้อ และความต้องการในการส่งมอบที่มีความหลากหลายมากขึ้น ส่งผลให้บริษัทต้องเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น ทั้งในด้านการเพิ่มกำลังการผลิต การวางแผนการผลิต การส่งมอบสินค้าที่รวดเร็วและทันเวลา การลดต้นทุนการผลิตแต่คุณภาพเท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้น ตอบสนองความต้องการและสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า เพื่อรักษาฐานลูกค้าเก่า และแสวงหาฐานลูกค้าใหม่เพิ่มขึ้น (จักรพงษ์, 2560)

ดังนั้นการศึกษานี้ จึงให้ความสำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตดินผสมให้มีประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มมากขึ้น โดยวิเคราะห์การทำงานในแต่ละกระบวนการ สสำรวจและวิเคราะห์กระบวนการผลิต จับเวลาการทำงานในแต่ละหน่วยงานเพื่อให้ทราบถึงกำลังการผลิต และสามารถวิเคราะห์ได้ว่า จุดไหนเป็นคอขวด เพื่อหาสาเหตุของปัญหากระบวนการผลิตและทำการปรับปรุงแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น เมื่อได้พิจารณาแล้ว พบว่า รูปแบบกระบวนการผลิตของบริษัทเป็นระบบท่อตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้นซึ่งมีกำลังการผลิตที่ใกล้เคียงกันทุกกระบวนการ จะมีเพียงขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต คือ ขั้นตอนการบรรจุ ที่ยังเป็นคอขวดซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างพนักงานและเครื่องจักร จึงนำแผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ (Multiple activity chart) มาประยุกต์ใช้ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพนักงานหลายคนซึ่งทำงานอยู่ในบริเวณเดียวกัน หรือต้องใช้เครื่องจักรร่วมกัน วิเคราะห์สัดส่วนเวลาการทำงานของพนักงานและเครื่องจักรเพื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ลดต้นทุนและเพื่อให้ธุรกิจสามารถเติบโตแข่งขันได้ในตลาดอุตสาหกรรมต่อไป



## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาสภาพปัญหาของกระบวนการบรรจุดินผสมสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกส์
- 2.2 เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุดินผสม ด้วยการประยุกต์ใช้หลักการ ECRS
- 2.3 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการบรรจุดินผสมก่อนและหลังการปรับปรุง

## 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการศึกษาในกรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในครั้งนี้ มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

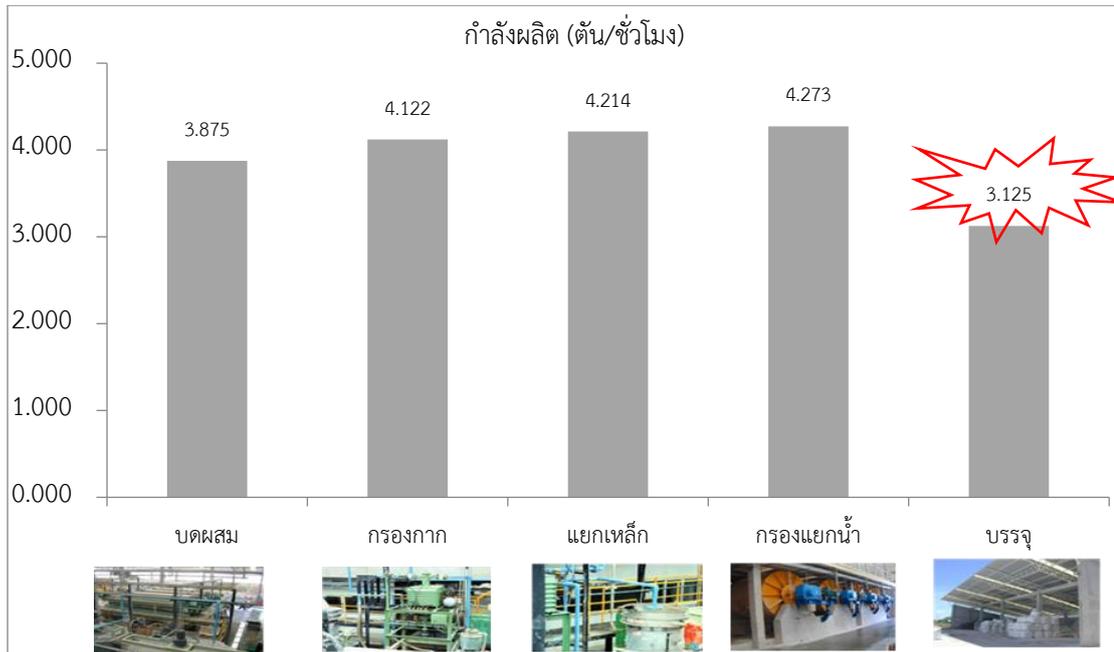
1. ศึกษาสภาพการปฏิบัติงานปัจจุบันของกระบวนการบรรจุดินผสม โดยการศึกษางาน ซึ่งเครื่องมือหลักที่ใช้ คือ แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ ซึ่งใช้แสดงความสัมพันธ์ของการทำงานระหว่างพนักงานหลายคนที่ต้องเกี่ยวข้องซึ่งกันและกัน ตั้งแต่สองคนขึ้นไป หรือพนักงานหลายคนที่ร่วมกันทำงานในบริเวณเดียวกัน ใช้เครื่องมือหรือเครื่องจักรร่วมกัน เพื่อเก็บข้อมูลขั้นตอนการผลิต เวลาที่ใช้ของแต่ละขั้นตอน (ภิมพร และคณิต, 2013) ทำการวิเคราะห์กิจกรรมที่ทำร่วมกันและแยกกันทำ เพื่อลดเวลาว่างงานของพนักงานและเครื่องจักรลง หรือเพิ่มผลิตภาพในการทำงาน

2. ทำการหาแนวทางการปรับปรุงจากปัญหาที่พบ โดยใช้การลดความสูญเปล่าด้วยหลักการ ECRS (ประเสริฐ, 2552) โดยหลักการ ECRS เป็นหลักการง่าย ๆ ซึ่งสามารถใช้ในการเริ่มต้นลดความสูญเปล่าหรือ MUDA ลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เปลี่ยนแปลงสภาพปัจจุบันให้เข้าสู่สภาพที่ควรจะเป็น สร้างงานที่เป็นมาตรฐานเพื่อการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (ภัทรนิษฐ์, 2556) โดยเป็นหลักการที่ประกอบด้วย E = Eliminate การกำจัดออก หมายถึง การพิจารณาการทำงานปัจจุบัน และทำการกำจัดความสูญเปล่าทิ้งเจ็ด ที่พบในการทำงานออกไป C = Combine การรวมกัน หมายถึง ความสามารถในการรวมขั้นตอนทำงานให้ลดลงได้หรือไม่ R = Rearrange การจัดลำดับใหม่ หมายถึง การจัดขั้นตอนการทำงานใหม่ เพื่อลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น หรือการรอคอย และ S = Simplify การทำให้ง่ายขึ้น หมายถึง การปรับปรุงการทำงานให้ง่าย และสะดวกขึ้นกว่าเดิม

3. ประเมินผลการปรับปรุง โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการบรรจุดินผสม ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง

## 4. ผลการวิจัย

โดยมีกระบวนการผลิตหลักของผลิตภัณฑ์ดินผง คือ การนำวัตถุดิบมาทำการบดผสม กรองกากสิ่งสกปรก กรองเพื่อแยกเหล็ก กรองแยกน้ำ และทำการบรรจุ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตหลักของผลิตภัณฑ์ดินผง

จากการศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการบรรจุดินผสม โดยใช้แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ และจับเวลาในแต่ละกิจกรรม ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ในแต่ละครั้งที่ทำการบรรจุดินผสมลงถุงบรรจุ 1 รอบการบรรจุ 1 ถุงใช้เวลารวม 576 วินาที เครื่องบรรจุจะเกิดเวลาว่าง (Idle time) เนื่องจากต้องรอพนักงานคนที่ 1 ที่ทำหน้าที่เตรียมถุงภายนอก นำถุงพลาสติกใส่ในถุงนอก เป่าลมใส่ถุง มัดปากถุงพลาสติก นำมาพันสีสเปรย์บอก Lot นำมาที่เครื่องบรรจุ แกะปากถุงพลาสติกและนำเข้าเครื่องบรรจุ และทำการผูกถุงที่เครื่องบรรจุ เป็นเวลา 266 วินาที และเมื่อทำการบรรจุดินผสมลงถุงแล้วต้องเสียเวลารอคอยจากการแกะถุงออกจากเครื่องบรรจุ รอถุงเลื่อนออก ผูกปากถุงหลังจาก QC นำรอกยกมาที่ถุงที่บรรจุแล้ว และยกถุงที่บรรจุแล้วไปยังพื้นที่จัดเก็บเป็นเวลา 93 วินาที ดังนั้น ใน 1 รอบการบรรจุ 1 ถุงใช้เวลารวม 576 วินาที พนักงานคนที่ 1 ทำงานร้อยละ 64.06 พนักงานคนที่ 2 ทำงานร้อยละ 11.46 และเครื่องจักรทำงานร้อยละ 35.94 ซึ่งสรุปได้ว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการดังกล่าวคือ 1) เกิดเวลาว่างของเครื่องจักร และเวลารอคอยของพนักงาน และ 2) การทำงานของเครื่องจักรไม่เต็มประสิทธิภาพ

**ตารางที่ 1** แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ และเวลาในแต่ละกิจกรรมการบรรจุดินผสมก่อนปรับปรุง

แผนภูมิคนและเครื่องจักร (Man-Machine Chart)					
			% ทำงาน		
แผนก: บรรจุดินผสม		คน/เครื่องจักร	ปัจจุบัน	ปรับปรุง	เพิ่มขึ้น
กิจกรรม: การบรรจุดินผสมลงกระสอบบรรจุ		พนักงาน 1	64.06		
วิธีการทำงาน: ปัจจุบัน		พนักงาน 2	11.46		
วันที่: 15 มิถุนายน 2565		เครื่องบรรจุ	35.94		
พนักงานคนที่ 1	เวลา (วินาที)	พนักงานคนที่ 2	เวลา (วินาที)	เครื่องบรรจุ	เวลา (วินาที)
เตรียมถุงภายนอก	76	รอพนักงานคนที่ 1 นำถุงมาที่เครื่องบรรจุ	210	รอนำถุงใส่ให้เรียบร้อย	266
นำถุงพลาสติกใส่ในถุงนอก	17				
เป่าลมใส่ถุง	45				
มัดปากถุงพลาสติก	16				
นำมาพันสีสเปรย์บอก Lot	16				
นำมาที่เครื่องบรรจุ	30				
แกะปากถุงพลาสติกและนำเข้าเครื่องบรรจุ	10				
ทำการผูกถุงที่เครื่องบรรจุ	56	ทำการผูกถุงที่เครื่องบรรจุ	56		
รอเครื่องบรรจุให้ได้จำนวน 1000 Kg.	186	รอเครื่องบรรจุให้ได้จำนวน 1000 Kg.	186	ทำการบรรจุ	186
ทำการแกะถุงออกจากเครื่องบรรจุ	10	ทำการแกะถุงออกจากเครื่องบรรจุ	10	รอ	10
รูดถุงเลื่อนออก	21	รอพนักงานคนที่ 1 นำถุงมาที่เครื่องบรรจุ	114	เลื่อนถุงออกจากเครื่องบรรจุ	21
ผูกปากถุงหลังจาก QC	32			รอนำถุงใส่ให้เรียบร้อย	93
นำรอยกมามาที่ถุงที่บรรจุแล้ว	3				
ยกถุงที่บรรจุแล้วไปยังพื้นที่จัดเก็บ	58				
<b>เวลารวม</b>	<b>576</b>	<b>เวลารวม</b>	<b>576</b>	<b>เวลารวม</b>	<b>576</b>
เวลาทำงานรวม	369	เวลาทำงานรวม	66	เวลาทำงานรวม	207
เวลารอคอยรวม	207	เวลารอคอยรวม	510	เวลารอคอยรวม	369

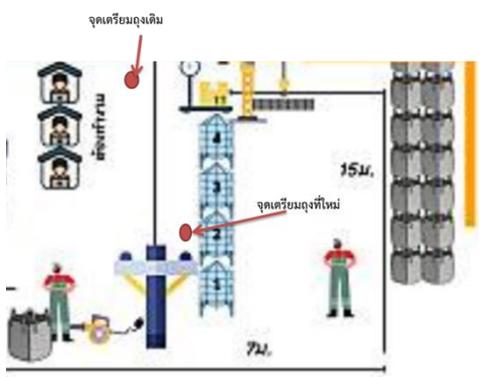
**แนวทางการปรับปรุงจากปัญหาโดยใช้หลักการ ECRS**

ECRS เป็นแนวคิดที่นำมาใช้ในการบริหารการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ โดยปรับปรุงวิธีการทำงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานให้ดีขึ้น มีแนวทางที่สามารถใช้ปรับปรุงสิ่งต่าง ๆ ได้ด้วยการหยุด การลด การเปลี่ยน การรวม และการทำงานให้ง่าย หรือหลักการของ ECRS โดยในการปรับปรุงครั้งนี้ได้เลือกใช้ 3 หลักการ (ดังตารางที่ 2) ดังนี้

1. C (Combine) คือ การรวมขั้นตอนการทำงาน รวมพื้นที่เข้าด้วยกัน โดยเฉพาะขั้นตอนที่ก่อให้เกิดคุณค่าซึ่งสามารถนำมารวมกันได้ เพื่อประหยัดเวลาหรือแรงงานในการทำงาน โดยเดิมจะทำการเตรียมถุงในพื้นที่เตรียมถุงแล้วยกมาที่พื้นที่บรรจุทุกครั้งทีละ 1 ใบ จึงทำการย้ายพื้นที่ในการเตรียมถุงก่อนบรรจุมารวมไว้ในบริเวณพื้นที่ทำการบรรจุ เพื่อลดระยะทางและเวลา



ภาพที่ 2 พื้นที่เดิมสำหรับการเตรียมถุงก่อนนำมาบรรจุ



ภาพที่ 3 พื้นที่เดิมและพื้นที่ใหม่สำหรับเตรียมถุง

2. R (Rearrange) คือ การจัดลำดับงานใหม่ให้เหมาะสม โดยในช่วงที่เครื่องจักรกำลังทำการบรรจุดินผสมลงถุงบรรจุ สลับขั้นตอนและสลับงานให้กับพนักงาน ดังนี้

1) กำหนดให้พนักงานคนที่ 1 ทำหน้าที่ต่อไปนี้ทันที เมื่อเครื่องจักรทำการบรรจุดินผสมลงถุงบรรจุ ได้แก่ เตรียมถุงภายนอก นำถุงพลาสติกใส่ในถุงนอก เป่าลมใส่ถุง มัดปากถุงพลาสติก นำมาพันสีสเปรย์บอก Lot และนำมาที่เครื่องบรรจุ

2) สลับงานบางส่วนของพนักงานคนที่ 1 โดยให้พนักงานคนที่ 2 ทำการแกะถุงออกจากเครื่องบรรจุ รอกถุงเลื่อนออก นำรอกยกมาที่ถุงไปวางไว้ก่อน และมาช่วยพนักงานที่ 1 ทำการผูกปากถุงเครื่องบรรจุ

3. S (Simplify) การทำให้การทำงานง่ายขึ้น โดยการตัดคานเหล็กบางจุดที่ขัดขวางการเคลื่อนไหวของพนักงาน ซึ่งไม่ส่งผลต่อโครงสร้างความแข็งแรงของจุดยึดถุงพลาสติก เพื่อให้พนักงานทำงานได้ง่ายขึ้น โดยไม่มีสิ่งกีดขวางขั้นตอนการนำถุงบรรจุเข้ามาผูกที่จุดยึดถุงพลาสติก



ภาพที่ 3 แสดงคานเหล็กขัดขวางการเคลื่อนไหวของพนักงาน



ภาพที่ 4 แสดงจุดตัดคานเหล็กขัดขวางการเคลื่อนไหวของพนักงาน

จากนั้นนำวิธีการทำงานจากการจัดกระบวนการใหม่ ดังแสดงในแผนภูมิกิจกรรมพหุคุณหลังการปรับปรุง ตารางที่ 2 ไปใช้ โดยกำหนดเป็นมาตรฐานการทำงานและจัดทำเป็นเอกสารมาตรฐานการทำงาน

จากการปรับปรุงกระบวนการบรรจุดินผสม โดยใช้แนวทาง ECRS ดังตารางที่ 2 พบว่า ในแต่ละครั้งที่ทำการบรรจุดินผสมลงถุงบรรจุ 1 รอบการบรรจุ 1 ถุงใช้เวลารวม 273 วินาที โดยพนักงานคนที่ 1 ทำงานร้อยละ 81.32 พนักงานคนที่ 2 ทำงานร้อยละ 16.48 และเครื่องจักรทำงานร้อยละ 68.13

ตารางที่ 2 แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ และเวลาในแต่ละกิจกรรมการบรรจุดินผสมหลังปรับปรุง

แผนภูมิคนและเครื่องจักร (Man-Machine Chart)						
				% ทำงาน		
แผนก: บรรจุดินผสม		คน/เครื่องจักร		ปัจจุบัน	ปรับปรุง	เพิ่มขึ้น
กิจกรรม: การบรรจุดินผสมลงกระสอบบรรจุ		พนักงาน 1		64.06	81.32	26.94
วิธีการทำงาน: ปัจจุบัน		พนักงาน 2		11.46	16.48	43.86
วันที่: 15 มิถุนายน 2565		เครื่องบรรจุ		35.94	68.13	89.58
พนักงานคนที่ 1	เวลา (วินาที)	พนักงานคนที่ 2	เวลา (วินาที)	เครื่องบรรจุ	เวลา (วินาที)	
รอกก่อนหน้าเลื่อนออก	51	ทำการแกะรอกออกจากเครื่องบรรจุ	10	รอ	87	
		รอกเลื่อนออก	21			
ทำการผูกถุงที่เครื่องบรรจุ	56	นำรอกยกมาที่ถุงไปวางไว้ก่อน	3	ทำการบรรจุ	186	
เตรียมถุงภายนอก	62	รอ	21			
นำถุงพลาสติกใส่ในถุงนอก	17	ผูกปากถุงหลังจาก QC	32			
เป่าลมใส่ถุง	45	รอ	186			
มัดปากถุงพลาสติก	16					
นำมาพันสีสเปรย์บอก Lot	16					
นำมาที่เครื่องบรรจุ	10					
เวลารวม	<b>273</b>	เวลารวม	<b>273</b>	เวลารวม	<b>273</b>	
เวลาทำงานรวม	222	เวลาทำงานรวม	45	เวลาทำงานรวม	186	
เวลารอคอยรวม	51	เวลารอคอยรวม	228	เวลารอคอยรวม	87	

\*หมายเหตุ: เนื่องจากผู้บริหารมีความกังวลในด้านขวัญกำลังใจของพนักงาน จึงต้องการให้คงจำนวนเท่าเดิม โดยมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของคนและเครื่องจักร

## 5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการเปรียบเทียบโดยใช้แนวทาง ECRS ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ในภาพรวมเวลาที่ใช้ในการบรรจุต่อ 1 ถุง ลดลงเหลือ 273 วินาที หรือลดลงร้อยละ 53.00 จากเวลาเดิม 576 วินาทีต่อถุง ร้อยละสัดส่วนการทำงานของเครื่องจักรจากเดิมร้อยละ 35.94 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 68.13 หรือเพิ่มจากเดิมร้อยละ 89.58 ร้อยละสัดส่วนการทำงานของพนักงานคนที่ 1 จากเดิมร้อยละ 64.06 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 81.32 หรือเพิ่มจากเดิมร้อยละ 26.94 และร้อยละสัดส่วนการทำงานของพนักงานคนที่ 2 จากเดิมร้อยละ 11.46 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16.48 หรือเพิ่มจากเดิมร้อยละ 43.86 ซึ่งจากผลการลดเวลาในการบรรจุต่อถุงลงเหลือ 273 วินาที ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการบรรจุดินผสมจำนวน 22 ตัน จากเดิม 3.5 ชั่วโมง คิดผลิตภาพได้เท่ากับ 6.29 ตันต่อชั่วโมง ลดลงเหลือ 1.7 ชั่วโมง คิดผลิตภาพได้เท่ากับ 12.94 ตันต่อชั่วโมง ดังนั้น ผลิตภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 105.88

ซึ่งตลอดทั้งปี บริษัทจะมีการบรรจุจำนวน 3,000 ตันต่อปี จากต้นทุนแรงงานที่ลดลงเหลือ 6.09 บาทต่อตัน ทำให้สามารถลดต้นทุนแรงงานในการบรรจุได้เป็นจำนวน 19,320 บาทต่อปี

### ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบการก่อนและหลังการปรับปรุง

	ปัจจุบัน	ปรับปรุง	เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
พนักงาน 1 (% ทำงาน)	64.06	81.32	+26.94
พนักงาน 2 (% ทำงาน)	11.46	16.48	+43.86
เครื่องบรรจุ (% ทำงาน)	35.94	68.13	+89.58
รอบเวลาการผลิต/ถุง (วินาที)	576	273	-53.00
เวลาที่ใช้ต่อการบรรจุ 22 ตัน (ชั่วโมง)	3.5	1.7	-53.00
ผลิตภาพ (ตัน/ชั่วโมง)	6.29	12.94	+105.88
ต้นทุนแรงงาน บาท/ตัน	12.53	6.09	-53.00

\* หมายเหตุ โดยเฉลี่ยในแต่ละครั้งที่ทำการบรรจุดินผสมลงถุงบรรจุ จะทำการบรรจุปริมาณ 22 ตัน/ครั้ง และค่าแรงรายวันพนักงาน 315 บาท/วัน หรือคิดเป็น 39.375 บาท/ชั่วโมง

ซึ่งจากผลที่ได้จากการปรับปรุงโดยใช้แนวทาง ECRS พบว่า มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของหลายๆ ท่าน ได้แก่ กิตติชัย (2561), ภาวิณี (2551), ภาวิณี (2557), ศุภฤกษ์กลิ่นหม่น (2559) และ ธนิตา (2555) ซึ่งทำการศึกษาขั้นตอนปัจจุบัน จากนั้นใช้หลักการ ECRS เข้ามาช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพ ลดเวลาและความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ผลการปรับปรุง คือ ประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มขึ้น ลดรอบเวลาในกระบวนการผลิต และลดต้นทุนแรงงาน

### 6. ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้ใช้ทฤษฎีต่าง ๆ มาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพขั้นตอนการบรรจุดินผสม ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่สนใจในการปรับปรุงขั้นตอนหรือกระบวนการผลิตในสถานประกอบการได้ โดยอาจจะมีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ประกอบรวม จะทำให้สามารถลดเวลาการทำงานลงไปได้อีก

2. การปรับปรุงดังกล่าวเป็นการปรับปรุงที่สถานประกอบการ โดยได้ดำเนินการในช่วงเวลาที่จำกัด ซึ่งสถานประกอบการควรดำเนินการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ตามแนวคิดของการทำไคเซ็น (KAIZEN) รวมถึงการสร้างวัฒนธรรมด้านการลดต้นทุนโดยการขจัดความสูญเปล่า เพื่อยกระดับการแข่งขันจากระบบการผลิตในปัจจุบัน จะช่วยเพิ่มศักยภาพในการดำเนินธุรกิจได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ควรมีการปลูกฝังวิธีการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ เพื่อการปรับปรุงพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

### 7. เอกสารอ้างอิง

กรณัฐกุล วรราชศิริวัฒน์. (2559). การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตในสายการผลิตขึ้นส่วนยานยนต์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

- จักรพงษ์ เพ็งแจ่มใส. (2560). การปรับปรุงการบำรุงรักษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, กรุงเทพฯ.
- จำลอง ชุนพลแก้ว. (2546). หลักการเพิ่มผลผลิต (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติสำนักพิมพ์โรงพิมพ์ประชาชน.
- ประเสริฐ อัครประถมพงศ์. (2552). การลดความสูญเปล่า ด้วยหลักการ ECRS. ค้นจาก <https://cpico.wordpress.com>.
- ภัทรนิษฐ์ บุญวัง. (2556). การประยุกต์แนวคิดแบบลีนเพื่อลดความสูญเปล่าในการผลิตกรณีศึกษาบริษัท ABC จำกัด. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
- กิมพร ประเสริฐ และคณิศร ภูนิคม. (2013). การลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตกระดาษกรณีศึกษาในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดอุบลราชธานี. *Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University*, 3(6), 61-72.
- หัตถินทร์ สอนปะละ. (2560). แรงจูงใจและส่วนประสมการตลาดที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการซื้อเซรามิกส์ของนักท่องเที่ยวชาวไทยในเอทท์เลทเซรามิกส์ จังหวัดลำปาง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- องุ่น สังขพงศ์ และสถาพร ทองคำ. (2556). การเพิ่มผลผลิตของสายการผลิตกึ่งไม่มีหัวแช่แข็งในอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- อนุธิดา ประเสริฐศักดิ์. (2554). การลดต้นทุนเพื่อความยั่งยืนของธุรกิจ. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีสแตติน*, 17(1), 1-10.
- Kasidit, S., & Chusak, S. (2007). **Productivity Improvement with Line Balancing Technique by Genetic Algorithm**. In *Proceeding of 7<sup>th</sup> National Conference of Industrial Engineering Network*. (IE Network), Petchaburi, 685 – 692.
- Phiphop, L. (2005). **Production Planning and Control**. Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan) Press. 83-96.
- Ratchawan, K., & Neausom, T. (1995). **Motion and Time Study**. Bangkok: Physic Center Press, 48-62.
- Wichai, C. & Chaleornpol, B. (2008). Application of Production Line Balancing Technique for Productivity with Electronic Part Assembly Industry. *KKU Research Journal*, 13(8), 969-980.



การจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยระบบ  
POWER CONTROL DEMAND RESPOND  
ENERGY MANAGEMENT IN ISLAND MODE WITH  
SYSTEM POWER CONTROL DEMAND RESPOND

เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์\*, บุญวัฒน์ วิจารย์พล, วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร, วัชรระ วงศ์ปัญญา  
Saowalak Yotwinyuwong\*, Bunyawat Vichanpol, Wattanapong Rakwichian,  
Watchara Wongpanyo

วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา อ.เมือง จ.พะเยา ประเทศไทย 56000  
School of Energy and Environment, University of Phayao, Mueang, Phayao, Thailand, 56000

\*Corresponding author e-mail: poo.sert@gmail.com

วันที่เข้ารับ 22 มีนาคม 2566

วันที่แก้ไขบทความ 11 เมษายน 2566

วันที่ตอบรับบทความ 11 เมษายน 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยระบบ Power control demand respond ของอาคารปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร โดยนำหลักการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand response :DR) และระบบการบริหารจัดการพลังงาน (Building energy management system : BEMS) เพื่อวางแผนควบคุมการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติและตอบสนองความต้องการการใช้ไฟฟ้าระหว่างโหลดกับแหล่งจ่ายให้เหมาะสม ทำให้ลดต้นทุนในการสำรองไฟฟ้าในช่วงเวลา Peak period กับโหลดที่ใช้ภายในอาคาร ประกอบด้วย ไฟฟ้าแสงสว่าง พัดลมไอน้ำ ชุดลำโพงช่วยสอน โน้ตบุ๊ก โปรเจคเตอร์และตู้เย็น จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดภายในอาคารปฏิบัติการ พบว่า ในช่วงเวลาหนึ่งวันมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 9.89 kWh ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 0.41 kWh และความต้องการใช้งานไฟฟ้าสูงสุดของวันจำนวน 7 ชั่วโมง เกิดขึ้นเวลาประมาณ 08.30-12.00 น. และ 13.00-16.30 น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.24 kWh ค่าความต้องการไฟฟ้าต่ำสุดของวันจำนวน 1 ชั่วโมง เกิดขึ้นเวลาประมาณ 12.00-13.00 น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.22 kWh ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำหลักการของอัลกอริทึมร่วมกับการพัฒนาชุดอุปกรณ์ควบคุม ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino mega พบว่า การทำงานของระบบ Power control demand respond จะทำการตรวจสอบสถานะของแหล่งจ่าย จากนั้นจะทำการตรวจสอบสถานะความต้องการใช้งานไฟฟ้าของโหลด ถ้าไม่มีการใช้งานของโหลดระบบจะทำการชาร์จพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเก็บไว้ที่แบตเตอรี่สำรอง หากมีการใช้งานของโหลดระบบจะทำการจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นลำดับแรก ถ้าโหลดยังมีความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเกินกำลังของแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบจะทำจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานลมเป็นลำดับที่สอง

ถึงกระนั้นถ้าโหลดยังมีความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเกินกำลังของแหล่งจ่ายทั้งสองที่กล่าวมา ระบบ จะทำการตรวจสอบไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สำรองเพื่อจ่ายให้กับโหลด ซึ่งถ้าโหลดมีความต้องการใช้ไฟฟ้า มากกว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้งสาม ระบบจะทำการจ่ายไฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และแสดง ข้อความแจ้งเตือนให้ทำการปิดโหลดตามเงื่อนไขความจำเป็นใช้งาน หากไม่ทำการปิดโหลดระบบจะ แสดงผลโอเวอร์โหลดทันที ในการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยพลังงานเลือกทั้ง 4 แหล่งจ่าย สามารถเปิดใช้งานโหลดครบทุกอุปกรณ์ 5 ชั่วโมงต่อเนื่อง ใช้กำลังไฟฟ้ารวมจากแหล่งจ่าย ทั้งหมดเท่ากับ 6.91 kWh โดยใช้กำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 1.76 kWh พลังงานลม 0.68 kWh แบตเตอรี่สำรอง 3.60 kWh และเครื่องผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซล 6.91 kWh เมื่อโหลดมีการใช้ งานเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่หก ชุดอุปกรณ์ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลสามารถใช้ อุปกรณ์ไฟฟ้าได้แก่ หลอดไฟ โปรเจคเตอร์ ลำโพงช่วยสอน และเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพาให้ เพียงพอต่อแหล่งจ่าย ทั้งนี้หากมีการเพิ่มขนาดแผงโซลาร์เซลล์จากเดิมเป็น 4.25 kw จะทำให้สามารถ ใช้งานกับโหลดทุกชนิดอุปกรณ์ได้ต่อเนื่องจำนวน 7 ชั่วโมง สามารถนำไปสู่การประหยัดพลังงานจาก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร้อยละ 15.92

**คำสำคัญ:** พลังงานทางเลือก, ดีมานต์ เรสปอนส์, อัลกอริทึม, Power control

### Abstract

This study aims to manage the Island mode via power control demand respond system for the operation building of Kamphaengphet Rajabhat University. The Demand Response (DR) and Building Energy Management System (BEMS) are applied in order to plan the automatic electric supply and respond to the needs of the electric usage between loads and power supply appropriately. It helps reducing the cost to reserve the electric during the Peak Period and loads within the building including light bulbs, air cooling fans, portable speakers, notebooks, projectors and refrigerators. According to the analysis of electric usage in the building, discovered that the electric usage in one day is used 9.89 kWh. The average of electric usage needs of the loads is equally at 0.41 kWh and the need of electricity usage is seven hours per day. The usage occurs between 08.30-12.00 a.m. and 01.00 -04.30 p.m. Its usage average is 1.24 kWh. The least electric usage is 0.22 kWh, occurring one hours during lunch break which is between 12.00-01.00. The researchers applied the algorithm theory developing along with the controlling set with microcontroller Arduino Mega. The result determines that the operation of power control demand respond system will evaluate the electric

supply. Then it examines the usage needs of the load. Without the need of load usage, the system will reserve the solar and wind energy in the battery backup. If the load is requesting energy, they system releases the solar energy as the first source. If the load still requires more energy than solar energy could produce, the system will release the wind energy as the second supply. In case the electric usage is still required more energy than those two sources provided, the system will examine the electric from battery backup and supply to the loads. If the load still needs more energy, the system will release the electric power from diesel generator. The system will deliver the message to turn off the load if necessary. Without turning the load off, the system will show overload result immediately. In order to manage energy in island mode with four power sources, all loads can be turned on for 5 hours continue. The overall electricity is equally at 6.91 kWh which is 1.76 kWh from solar energy, 0.68 kWh from wind energy, 3.60 kWh from battery backup and 6.91 kWh from diesel generator. When the load increases over 5 hours, the microcontroller kit will limit the electric devices using only light bulbs, projectors, portable speakers and portable computer so it is adequate for the power supply. However, the size of solar cells is increased into 4.25 kw, it will produce enough energy 7 hours continually for all loads. It can save energy from diesel generator around 15.92 percent.

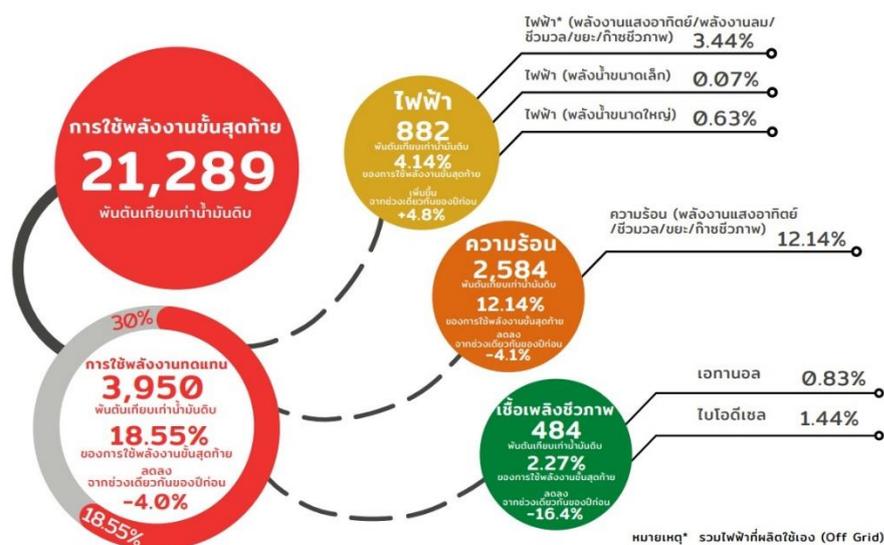
**Keywords:** Alternative energy, Demand response, Algorithm, Power control

## 1. บทนำ

ในช่วงเวลาปัจจุบันจนถึงปี พ.ศ.2578 ความต้องการใช้พลังงานของโลกเพิ่มสูงขึ้นมาก เนื่องจากมาตรฐานการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจของจีน อินเดีย และประเทศในภูมิภาคตะวันออกกลางดีขึ้น ทั้งนี้ในภูมิภาคเอเชียใต้ประเทศจีนมีความต้องการพลังงานมากที่สุด แต่ถึงกระนั้นในปี พ.ศ.2563 ประเทศอินเดียและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จะกลายเป็นภูมิภาคสำคัญที่มีความต้องการพลังงานเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นศูนย์กลางความต้องการพลังงานของโลกนั้นจะอยู่ที่กลุ่มประเทศเศรษฐกิจเกิดใหม่ (Emerging economies) ซึ่งสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลในปัจจุบันยังคงอยู่ที่ร้อยละ 82 แต่ในปี พ.ศ.2578 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลจะลดลงอยู่ที่ร้อยละ 76 เนื่องจากมีสัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ประเทศจีนจะเป็นผู้นำเข้าและบริโภคน้ำมันรายใหญ่ที่สุดในปี พ.ศ.2573 ส่วนประเทศสหรัฐอเมริกาจะกลายเป็นประเทศที่สามารถตอบสนอง

ความต้องการพลังงานของตนเองด้วยทรัพยากรที่มีอยู่ในประเทศ ภายในปี พ.ศ.2578 (สถานการณ์พลังงานโลก, 2558)

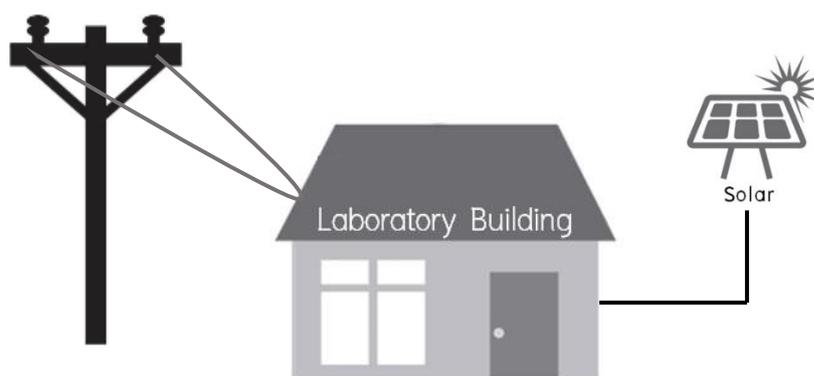
อย่างไรก็ตาม การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพยังคงมีความสำคัญกับทุกประเทศทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย การที่รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยลดสัดส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวม (Energy intensity) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2565) พบว่า ประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในช่วงไตรมาสแรกของปี 2565 มีปริมาณ 21,289 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อน ร้อยละ 8.4 คิดเป็นมูลค่าการใช้พลังงานรวมกว่า 494,266 ล้านบาท โดยในช่วงไตรมาสแรกของปี 2565 ประเทศไทย มีการนำเข้าพลังงานคิดเป็นมูลค่ากว่า 418,729 ล้านบาท พบว่ามีการนำเข้าน้ำมันดิบมากที่สุดคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 62 ของการนำเข้าพลังงานทั้งหมด และมีการส่งออกพลังงาน คิดเป็นมูลค่ากว่า 71,040 ล้านบาท พบว่ามีการส่งออกน้ำมันสำเร็จรูปมากที่สุดคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 87 ของการส่งออกพลังงานทั้งหมด ในช่วงไตรมาสแรกของปี 2565 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย 21,289 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ โดยพบว่าการใช้พลังงานทดแทนปริมาณ 3,950 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบมีอัตราลดลงร้อยละ 4.0 จากช่วงเดียวกันของปีก่อนคิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในอัตราร้อยละ 18.55 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย ทั้งนี้เป้าหมายการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายที่ร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ.2580 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2565) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 สถานการณ์ด้านพลังงานทดแทน ไตรมาส 1/2565  
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2565)

การใช้สมาร์ท-กริดเทคโนโลยี (Smart grid technology: SGT) เป็นเทคโนโลยีหนึ่งในการใช้พลังงานทางเลือกมาผลิตไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นโครงข่ายไฟฟ้าที่มีความชาญฉลาดที่สามารถรวมเอากิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเข้าไว้ด้วยกัน เชื่อมโยงผู้ผลิตและผู้บริโภคเข้าด้วยกันทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความมั่นคง ปลอดภัย เชื่อถือได้ มีคุณภาพในการผลิตและบริโภค (Ronnie, 2010)

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เป็นองค์กรที่ให้บริการทางด้านการศึกษา ที่ให้ความสำคัญทางด้านพลังงาน และมีนโยบายการประหยัดพลังงานของรัฐบาล ปัจจุบันมหาวิทยาลัยฯ ได้เปิดหลักสูตรเทคโนโลยีพลังงาน มีสวนพลังงานเพื่อใช้ในการเรียนการสอนและใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอาคารปฏิบัติการ ซึ่งประกอบไปด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม เป็นต้น ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงระบบจ่ายไฟฟ้าของอาคารปฏิบัติการในสวนพลังงาน  
ของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

จากภาพ จะเห็นว่าสวนพลังงานประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟจากการไฟฟ้า และแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ซึ่งมีพลังงานจากแสงอาทิตย์ขนาด 2.2 kW พลังงานลมขนาด 680 W ในปัจจุบันอาคารปฏิบัติการใช้แหล่งจ่ายไฟจากการไฟฟ้าและจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลัก เพื่อจ่ายให้กับโหลดภายในอาคาร ทั้งนี้แหล่งจ่ายไฟจากพลังงานลมไม่ได้นำมาใช้ในอาคารปฏิบัติการ ทำให้สูญเสียทรัพยากรโดยเปล่าประโยชน์

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการจัดการพลังงานในไอแลนต์ใหม่ด้วยระบบ Power control demand respond เพื่อใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกให้มีประสิทธิภาพ และมีความมั่นคงโดยไม่พึ่งพาสายส่ง อีกทั้งเพื่อการบริหารจัดการพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกให้ก้าวไปสู่ระบบไมโครกริดและโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ ให้มีความยั่งยืนต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนต์ใหม่ทดจากพลังงานทางเลือกด้วยระบบ Power control demand respond

## 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการวิจัยนี้มุ่งเน้น การจัดการพลังงานในไอแลนต์ใหม่ทดด้วยระบบ Power control demand respond สำหรับการจัดการพลังงานในอาคารปฏิบัติการ เพื่อให้เพียงพอและเหมาะสมกับความต้องการของโหลด โดยนำหลักการดังต่อไปนี้มาใช้ในงานวิจัย

### 3.1 หลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการงานวิจัย

3.1.1 ระบบการบริหารจัดการพลังงาน (Building energy management system: BEM) เป็นการบริหารพลังงานแบบกลุ่มอาคาร เช่น อาคารสำนักงาน อาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย โรงพยาบาล รวมทั้งอาคารหน่วยงานราชการต่าง ๆ โดยการนำเอาเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การใช้พลังงาน เพื่อควบคุมและลดการใช้พลังงานของระบบต่าง ๆ ในอาคาร เช่น ระบบปรับอากาศ (Air conditions) ระบบควบคุมไฟฟ้ากำลัง (Power monitoring) ระบบควบคุมไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting control) ระบบควบคุมสาธารณูปโภค (Utility control) โดยระบบการบริหารพลังงานนี้ทำหน้าที่วางแผนและควบคุมการใช้พลังงานของอาคารให้ได้ประโยชน์สูงสุดโดยใช้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด พลังงานที่ใช้ในอาคารส่วนใหญ่ จะเป็น 2 รูปแบบ คือ พลังงานไฟฟ้า และพลังงานทดแทนในรูปพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ไม่ว่าจะการใช้พลังงานในรูปแบบใดก็คงมีราคาสูงมาก การบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยประหยัดพลังงานได้ โดยปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้ส่วนหนึ่งเกิดจากการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานในสภาพต่าง ๆ ในอาคาร การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ใช้หลอดไฟ LED รวมทั้งการออกแบบอาคารให้สามารถปรับเปลี่ยนให้เข้ากับสภาพแวดล้อม เช่น การใช้ที่บังแดดที่สามารถปรับเปลี่ยนการบังแดดตามองศาของดวงอาทิตย์สามารถทำให้อาคารประหยัดพลังงานได้ นับเป็นวิธีการประหยัดพลังงานได้วิธีหนึ่ง ในระบบบริหารพลังงาน BEMS ที่มีความสามารถมาก ๆ นั้นสามารถนำข้อมูลประวัติการใช้พลังงานในอาคาร มาวิเคราะห์แล้วสั่งให้ระบบต่าง ๆ ทำงาน เช่น กำหนดการเปิดและปิดระบบต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยระบบบริหารพลังงานจะช่วยตรวจสอบ ดูแลและถ่วงดุลให้ระบบทั้งหมดทำงานอย่างประสานกัน (Yunyong, 2015)

3.1.2 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand response: DR) คือ รูปแบบการตอบสนองความต้องการทางไฟฟ้าระหว่างผู้ผลิต/จำหน่ายและผู้ใช้ไฟฟ้า ในอดีตการควบคุมความต้องการใช้ไฟฟ้าด้วยการสื่อสารทางเดียว โดยส่งสัญญาณจากผู้ผลิต/จำหน่าย ผ่านสายไฟฟ้าหรือระบบสื่อสารอื่นไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าบริหารความต้องการใช้ไฟฟ้าด้วยตนเอง (Load management) ด้วย



มาตรการต่าง ๆ เช่น เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองในช่วงที่มีอัตราค่าไฟฟ้าสูงหรืองดการใช้งานอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นน้อยบางชนิดลง เพื่อบริหารให้มีค่าใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าต่ำลง ในปัจจุบันทั้งระบบสื่อสารและมิเตอร์ได้มีการพัฒนาการสื่อสารในระบบ 2 ทางได้อย่างรวดเร็วมีประสิทธิภาพ ในรูปแบบของ Smart Grid ซึ่งเอื้ออำนวยต่อผู้ผลิต/จำหน่าย และผู้ใช้ไฟฟ้า สามารถควบคุมความต้องการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาได้อย่างเหมาะสม โดยผ่านมาตรการต่าง ๆ เช่น การใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง (Standby generator) ในการควบคุมระบบไฟฟ้าแสงสว่าง การปรับกระบวนการผลิต การปรับลดโหลดชั่วคราว เป็นต้น โดยระบบการสื่อสาร 2 ทางจะช่วยในการตรวจสอบผลและปรับสมดุลในระบบได้อย่างรวดเร็ว

ทั้งนี้ DR จะช่วยให้ภาระการใช้ไฟฟ้าในช่วง Peak Period ลดลง ซึ่งจะทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตและสำรองไฟฟ้าในช่วงเวลานั้นลงได้ ผลประโยชน์ที่ได้รับจะช่วยให้ผู้ผลิตไฟฟ้าสามารถวางแผนใช้กำลังการผลิตที่มีอยู่ได้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้านี้ก็จะได้รับเงินชดเชยสำหรับการควบคุมรวมถึงอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่มีต้นทุนลดลง อีกส่วนหนึ่ง DR จะช่วยให้สามารถบริหารการผลิตและจ่ายไฟฟ้าในภาวะฉุกเฉินได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เช่น ในกรณีภัยพิบัติภัยแหล่งจ่ายพลังงานหลักขัดข้อง ภัยแล้ง แหล่งพลังงานหมุนเวียนขัดข้อง เป็นต้น (พิธาน, 2559)

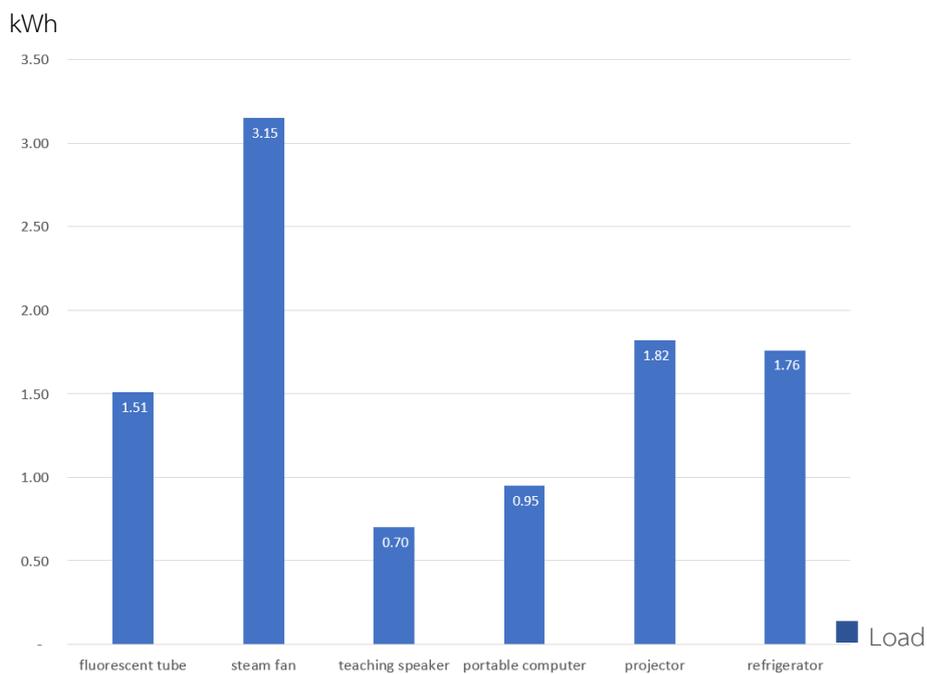
3.1.3 อัลกอริทึม (Algorithm) เป็นวิธีการในการทำงานอย่างมีลำดับการทำงานเป็นขั้นตอนชัดเจน และปฏิบัติตามขั้นตอนแล้วได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ อัลกอริทึมที่ดีจะต้องมีความถูกต้องทำงานได้เร็ว สั้น กระชับ ใช้เนื้อที่ในหน่วยความจำน้อย มีความยืดหยุ่นในการเขียนโปรแกรมได้เร็ว และง่ายต่อการทำความเข้าใจ การเขียนอัลกอริทึมเป็นการวางแผนเกี่ยวกับการแก้ปัญหา มีเครื่องมือช่วยในการเขียน คือ การบรรยาย ผังงาน และ ซูโดโค้ด ในงานวิจัยนี้ได้เขียนอัลกอริทึมแบบผังงาน (การเขียนอัลกอริทึมขั้นต้น, 2558)

3.1.4 อาดูโน (Arduino) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ดอาดูโนถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติมพัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ดหรือโปรแกรมต่อได้ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่าง ๆ สามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino shield) ประเภทต่าง ๆ ดังเช่น Arduino relay shield, Arduino wireless shield, Arduino GPRS shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

3.1.5 ไอแลนด์โหมด (Island mode) เป็นการจ่ายไฟแบบแยกตัวเป็นอิสระจากโครงข่ายไฟฟ้าหลัก ระบบจะมีพฤติกรรมเฉพาะเป็นของตนเอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของโหลดไฟฟ้าที่มีในระบบนั้นๆ

การจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือกด้วยระบบ Power control demand respond มีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.2.1 เก็บข้อมูลปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของโหลดภายในอาคารปฏิบัติการของสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในระยะเวลา 1 วัน ประกอบด้วย ไฟฟ้าแสงสว่าง พัดลมไอน้ำ ชุดลำโพงช่วยสอน โน้ตบุค โปรเจคเตอร์และตู้เย็น ดังภาพที่ 3

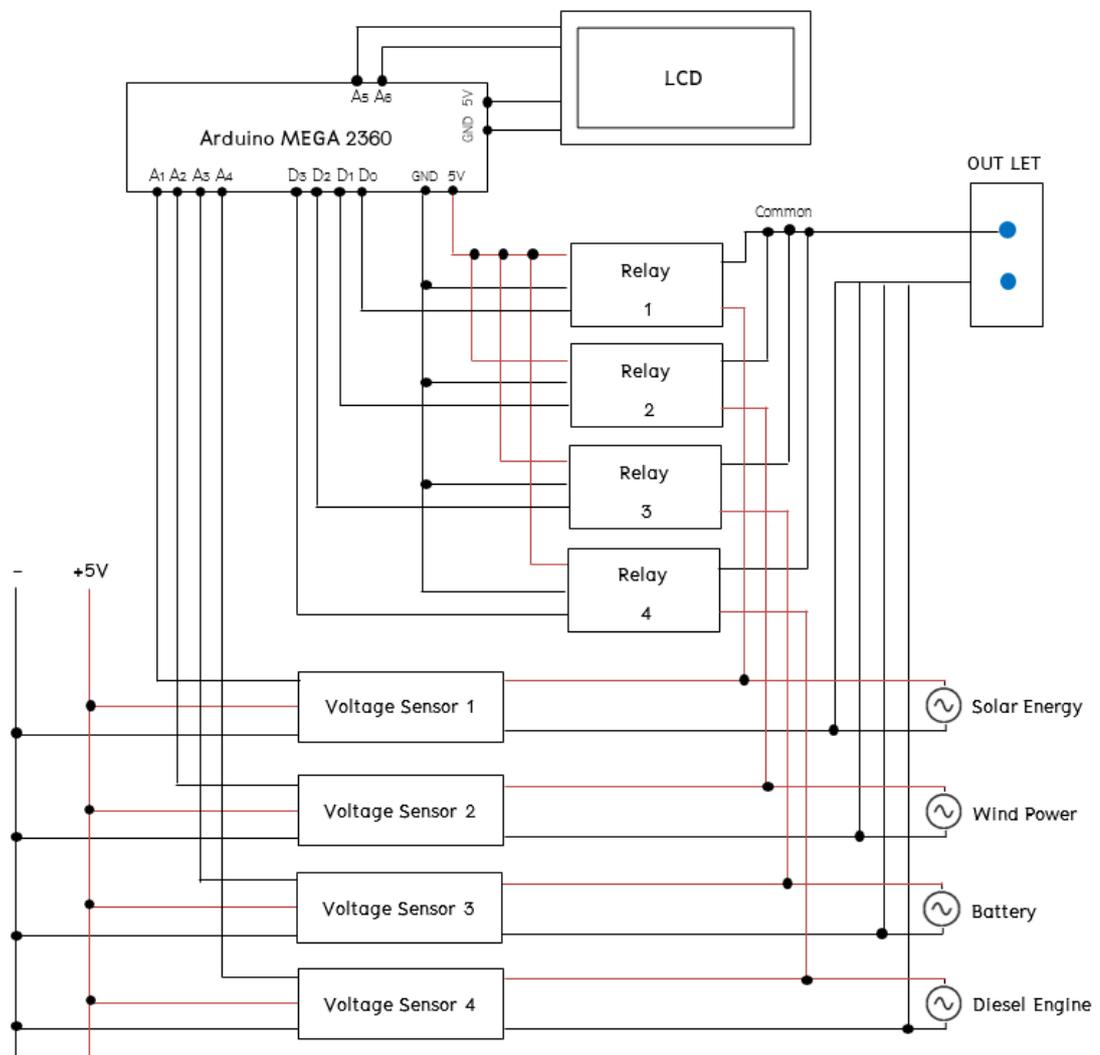


ภาพที่ 3 แสดงอัตราการใช้ไฟฟ้าของโหลดภายในอาคารปฏิบัติการ

3.2.2 ออกแบบอุปกรณ์ชุดควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด ให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดโดยไม่พึ่งพาไฟฟ้าจากสายส่ง โดยนำพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่สำรองและเครื่องผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซล เป็นแหล่งจ่ายให้กับโหลดภายในอาคารปฏิบัติการร่วมกัน ดังภาพที่ 4

จากภาพ จะเห็นว่ามีแหล่งจ่ายไฟประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่สำรอง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ซึ่งแหล่งจ่ายแต่ละชนิดจะวัดแรงดันจาก Voltage Sensor ซึ่งมีไฟฟ้า 5 โวลต์ จ่ายให้กับบอร์ด แล้วทำการส่งค่าไปที่บอร์ด Arduino MEGA 2360 ซึ่งตัวบอร์ดจะใช้สัญญาณอะนาล็อกทั้ง 4 ขา เพื่อจะอ่านค่าของ Voltage Sensor แต่ละตัวแล้วแปลงมาเป็นแรงดัน เพื่อตรวจสอบแหล่งจ่ายแต่ละชนิด จากนั้นจะนำค่าแรงดัน ณ เวลานั้น ๆ แสดงที่หน้าจอ LCD ทั้งนี้ในวงจรจะประกอบด้วย Relay จำนวน 4 ตัว ต่อจากแหล่งจ่ายเพื่อต่อพ่วงไปที่ขา

Common และต่อออกไปยัง Out Let เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลด ทั้งนี้จะมีขาของ Relay อีกขาต่อพ่วงกับแหล่งจ่ายแต่ละตัวเพื่อสลับเลือกใช้แหล่งจ่าย ถ้า Relay ตัวที่ 1 อยู่ในสภาวะวงจรปิด ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์จะจ่ายไฟให้กับโหลด ส่วน Relay ตัวที่ 2, 3 และ 4 จะอยู่ในสภาวะวงจรเปิดทำให้ไม่ครบวงจร แหล่งจ่ายจากพลังงานลม แบตเตอรี่สำรอง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ก็จะไม่ทำงาน แต่ถ้าไม่ใช่ไฟจากแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ ขาของ Relay ตัวที่ 1 อยู่ในสภาวะวงจรเปิด จากนั้นจะทำการตรวจสอบสถานะจากแหล่งจ่ายอื่น ๆ สลับกันไป ในส่วน D0 ถึง D3 เป็นสัญญาณดิจิทัล Height กับ Low ส่งกระตุ้น Relay ให้อยู่ในสภาวะวงจรเปิด-ปิด



ภาพที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์ชุดควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โฮมด

3.2.3 สร้างและทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์ชุดควบคุม Power control demand respond ในการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โฮมด พร้อมบันทึกค่า

#### 4. ผลการวิจัย

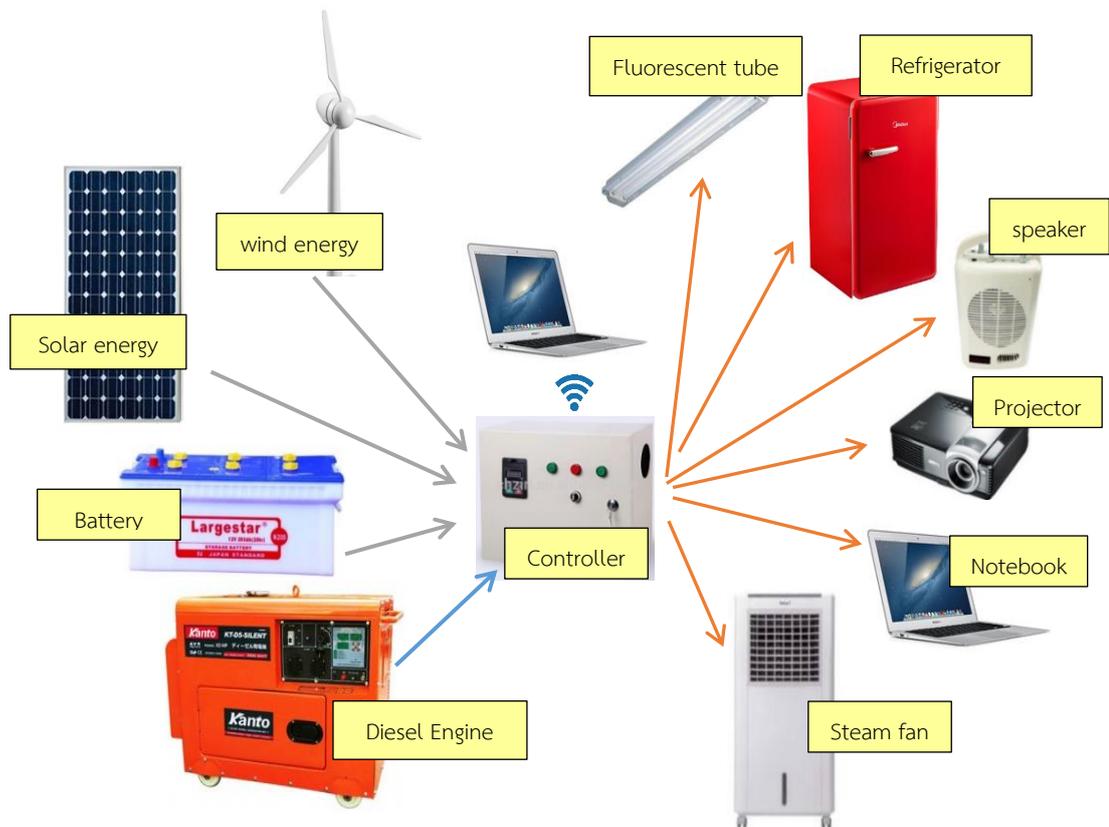
ในการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือกด้วยระบบ Power control demand respond เพื่อตอบสนองความต้องการการใช้ไฟฟ้าระหว่างโหลดกับแหล่งจ่ายที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของอาคารปฏิบัติการในช่วงเวลาหนึ่งวันมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 9.89 kWh และมีค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 0.41 kWh มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของวัน 7 ชั่วโมง เกิดขึ้นเวลาประมาณ 08.30-12.00 น. และเวลาประมาณ 13.00-16.30 น มีค่าเท่ากับ 1.24 kWh และมีความต้องการไฟฟ้าต่ำสุดของวัน 1 ชั่วโมง เกิดขึ้นเวลาประมาณ 12.00-13.00 น มีค่าเท่ากับ 0.22 kWh แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงโหลดกราฟประจำวัน (Daily load curve)

ทั้งนี้หากมีการใช้งานโหลดพร้อมกันทั้งหมดในช่วงเวลา 7 ชั่วโมงต่อเนื่อง จะมีอัตราการใช้ไฟฟ้า 9.89 kWh เทียบกับแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์เพียงพอต่อการใช้งานของโหลด แต่ถึงกระนั้นในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ทำให้ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าใช้งานได้อย่างสม่ำเสมอ

จากนั้นได้นำหลักการบริหารพลังงาน (Building energy management system : BEMS) เพื่อวางแผน และออกแบบการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดให้กับอาคารปฏิบัติการ ดังภาพที่ 5 จะเห็นว่าอาคารปฏิบัติการในสวนพลังงาน มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 2.2 kW พลังงานลมขนาด 0.68 kW และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel engine) ขนาด 2 kW และยังมีแบตเตอรี่สำรองขนาด 300 Ah เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดภายในอาคารปฏิบัติการ ดังภาพที่ 6

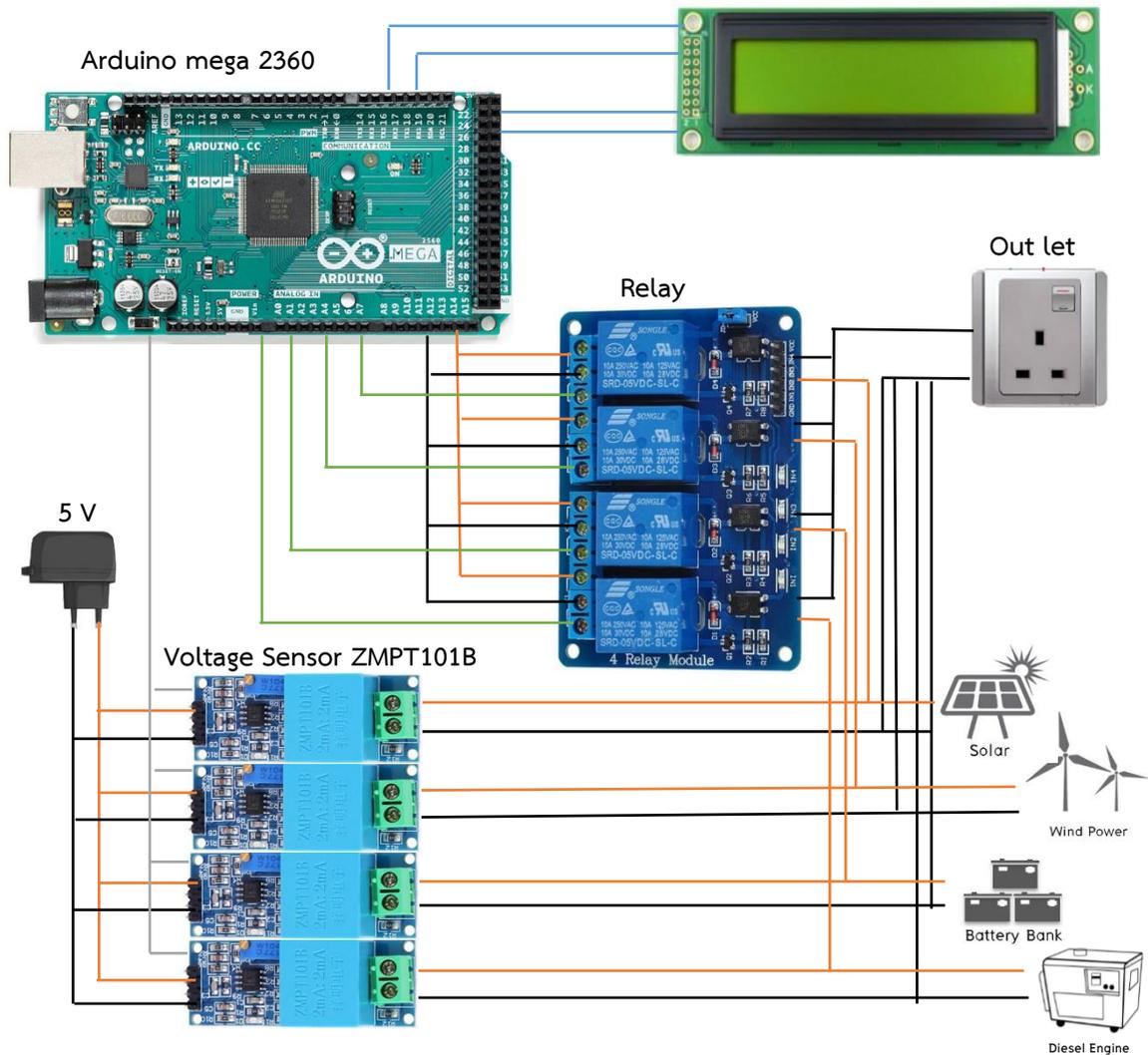


ภาพที่ 6 แสดงการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนดใหม่ สำหรับอาคารปฏิบัติการในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

จากภาพที่ 6 ในกรณีที่มีการใช้งานโหลดจำนวนมากระบบได้กำหนดเงื่อนไขการจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอันดับแรก ตามด้วยพลังงานลม แบตเตอรี่สำรองและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลตามลำดับ แต่ถ้ากรณีมีการใช้งานโหลดน้อยแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมจะทำการชาร์จพลังงานเก็บไว้ที่แบตเตอรี่สำรอง

เมื่อทำการออกแบบระบบการจัดการพลังงานในไอแลนดใหม่จากพลังงานทางเลือก ผู้วิจัยได้ทำการสร้างอุปกรณ์ควบคุม ประกอบด้วย บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino mega 2560 เซนเซอร์วัดแรงดัน รีเลย์ (Relay) และโมดูลแสดงผล LCD การทำงานของระบบ Power control demand respond ลำดับแรกจะทำการตรวจสอบความต้องการใช้งานไฟฟ้าของโหลดก่อน จากนั้น

ดังภาพที่ 7



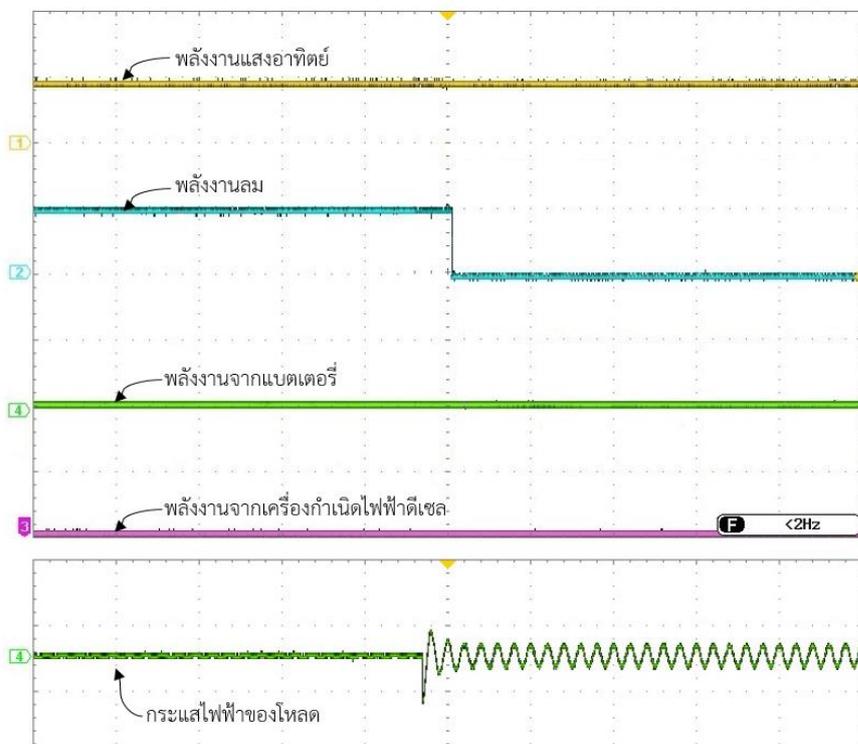
ภาพที่ 7 อุปกรณ์ควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนดโหนดจากพลังงานทางเลือก

ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ชุดควบคุม Power control demand respond สำหรับการจัดการพลังงานในไอแลนดโหนด มีการเก็บผลการทดลองและบันทึกข้อมูลโดยใช้ Digital storage oscilloscope GW Instek GDS 3154 Series 150MHz 4 input channel โดยผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังนี้ เมื่อเปิดระบบอุปกรณ์ชุดควบคุมจะประมวลผลตรวจสอบความต้องการใช้งานไฟฟ้าของโหลด เทียบกับสถานะการตอบสนองการทำงานของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่สำรองและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เมื่อไม่มีการใช้งานของโหลด พลังงานของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมทั้งหมดจะถูกใช้สำหรับชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่สำรอง ดังภาพที่ 9



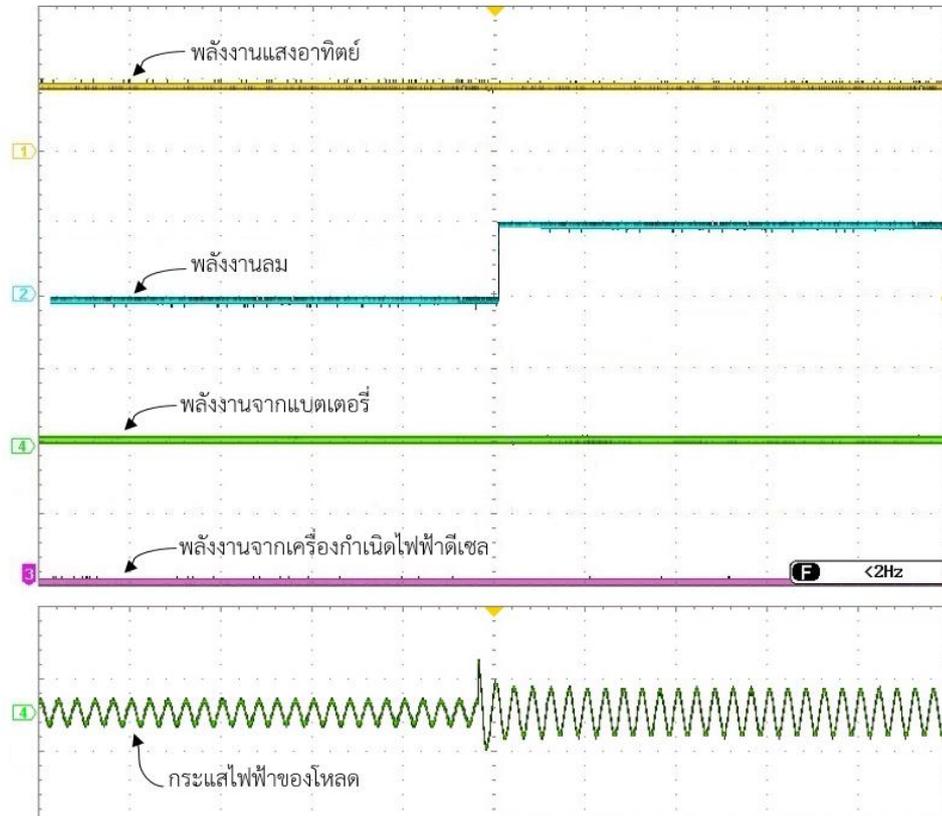
ภาพที่ 9 แสดงสภาวะการตอบสนองการทำงานของระบบ เมื่อไม่มีการใช้งานโหลด พลังงานทั้งหมด จะถูกใช้สำหรับชาร์จแบตเตอรี่

จากนั้นเมื่อมีการใช้งานของโหลด พลังงานจากแหล่งจ่ายแสงอาทิตย์ทำการจ่ายไฟฟ้าให้กับ โหลดเป็นลำดับแรก และพลังงานลมยังคงใช้สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงสภาวะการตอบสนองการทำงานของระบบ เมื่อมีการใช้งานโหลด จะใช้พลังงาน แสงอาทิตย์สำหรับการจ่ายโหลด

ทั้งนี้เมื่อมีการใช้งานโหลดเกินพิกัดของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบจะต่อรวมกับแหล่งจ่ายพลังงานลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อทำการจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลด ดังภาพที่ 11

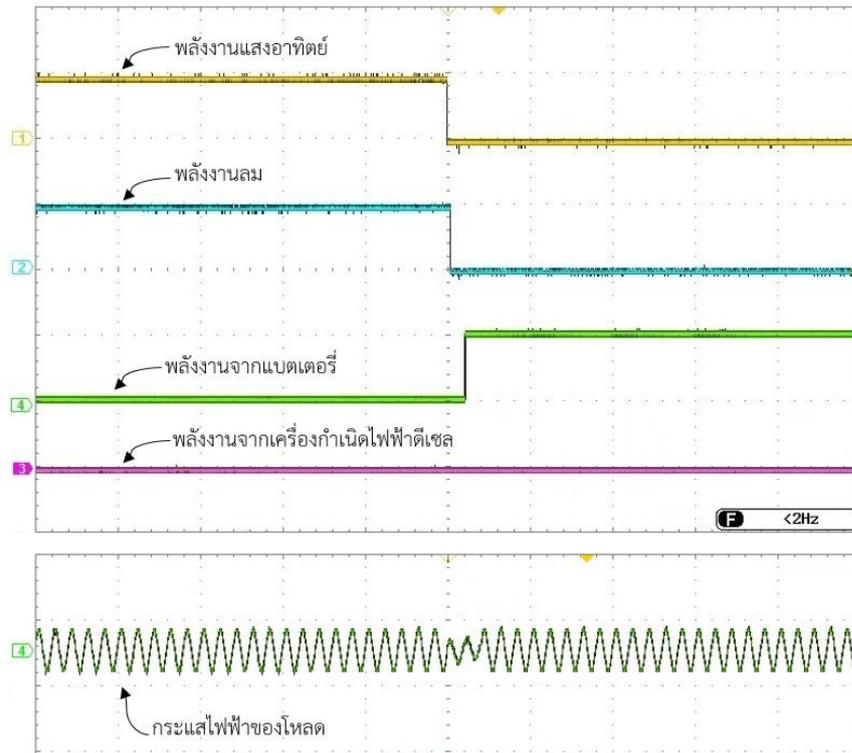


ภาพที่ 11 แสดงสถานะการตอบสนองการทำงานของระบบ เมื่อมีการใช้งานโหลดเกินพิกัดของพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบจะต่อรวมกับพลังงานลม

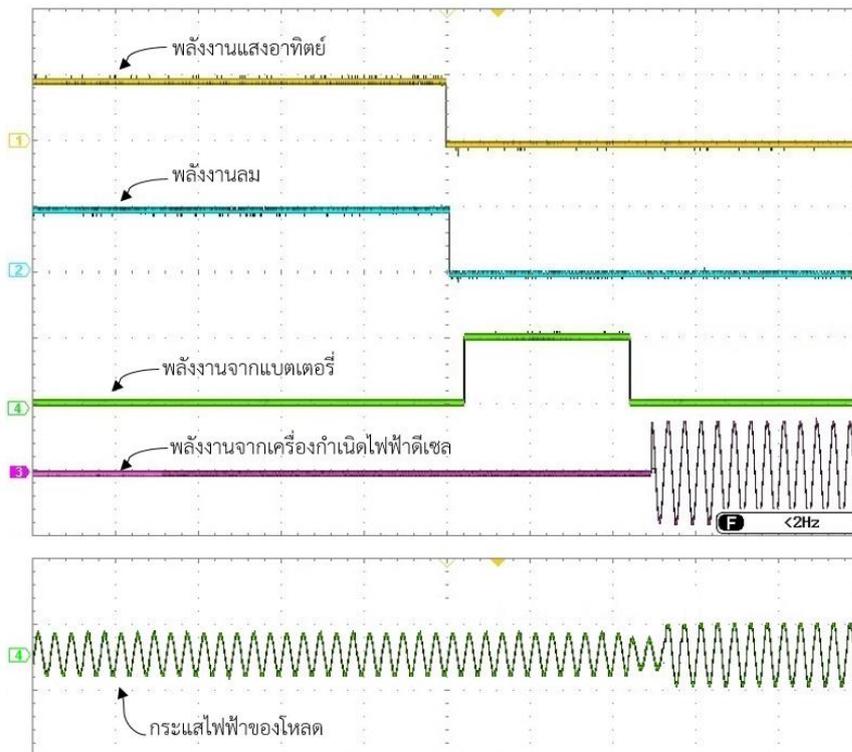
เมื่อมีการใช้งานโหลดเกินพิกัดของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์และแหล่งจ่ายพลังงานลม ระบบจะตัดการใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม และมาใช้พลังงานจากแบตเตอรี่สำรอง ดังภาพที่ 12

จากนั้น เมื่อมีการใช้งานโหลดเกินพิกัดของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ แหล่งจ่ายพลังงานลม และแบตเตอรี่สำรอง ระบบจะตัดการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายทั้งสาม และมาใช้พลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ดังภาพที่ 13

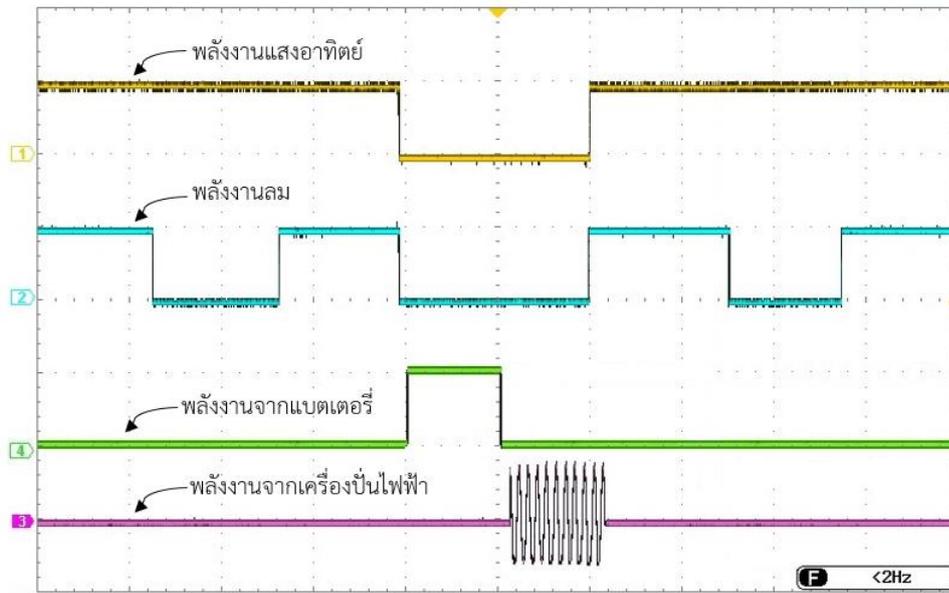
เมื่อมีการเปิดระบบอย่างต่อเนื่อง สามารถแสดงสถานะการตอบสนองการทำงานของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดทั้งหมด ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 12 แสดงสถานะการตอบสนองการทำงานของระบบ เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม  
หมด ระบบจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่



ภาพที่ 13 แสดงสถานะการตอบสนองการทำงานของระบบ เมื่อมีการใช้งานโหลดเกินพิกัด



ภาพที่ 14 แสดงสถานะการตอบสนองการทำงานของระบบทั้งหมด

## 5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยระบบ Power control demand respond ของอาคารปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้นำหลักการการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand response :DR) เพื่อตอบสนองความต้องการการใช้ไฟฟ้าระหว่างโหลดกับแหล่งจ่ายให้เหมาะสม และลดภาระการใช้ไฟฟ้าในช่วง Peak period ซึ่งจะทำให้สามารถลดต้นทุนในการสำรองไฟฟ้าในช่วงเวลานั้นได้ อีกทั้งนำระบบการบริหารจัดการพลังงาน (Building energy management system : BEMS) เพื่อวางแผน ตรวจสอบและควบคุมการจำหน่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติให้กับโหลด ที่ใช้ภายในอาคาร ประกอบด้วย ไฟฟ้าแสงสว่าง พัดลมไอน้ำ ชุดลำโพงช่วยสอน โน้ตบุ๊ค โปรเจคเตอร์ และตู้เย็น จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดในอาคารปฏิบัติการ พบว่า ในช่วงเวลาหนึ่งวันมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 9.89 kWh และมีค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 0.41 kWh มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของวัน 7 ชั่วโมง เกิดขึ้นเวลาประมาณ 08.30-12.00 น. และเวลาประมาณ 13.00-16.30 น มีค่าเท่ากับ 1.24 kWh และมีความต้องการไฟฟ้าต่ำสุดของวัน 1 ชั่วโมง เกิดขึ้นเวลาประมาณ 12.00-13.00 น มีค่าเท่ากับ 0.22 kWh จากการวิเคราะห์ปริมาณความต้องการใช้งานไฟฟ้าในแต่ละวันของโหลดในอาคารปฏิบัติการ ได้นำหลักการของอัลกอริทึมร่วมกับการพัฒนาชุดอุปกรณ์ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 เซนเซอร์วัดแรงดัน เซนเซอร์วัดกำลังไฟฟ้า รีเลย์ (Relay) และโมดูลแสดงผล LCD พบว่า การทำงานของระบบ Power control demand respond จะทำการตรวจสอบสถานะความต้องการใช้งาน

ไฟฟ้าของโหลดก่อน ถ้าไม่มีการใช้งานของโหลดระบบจะทำการชาร์จพลังงานเก็บไว้ที่แบตเตอรี่สำรอง แต่ถ้ามีการเริ่มใช้งานไฟฟ้าของโหลดระบบจะทำการตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นลำดับแรกและจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลด ถ้าโหลดยังมีความต้องการใช้ไฟฟ้ามากกว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบจะทำการตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานลมเป็นลำดับที่สอง ถึงกระนั้นยังคงมีความต้องการใช้ไฟฟ้าของโหลดมากกว่าแหล่งจ่ายทั้งสองที่กล่าวมา ระบบจะทำการตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สำรอง ถ้าโหลดมีความต้องการใช้ไฟฟ้ามากกว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมและแบตเตอรี่สำรอง ระบบจะทำการตรวจสอบไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ถ้าโหลดมีความต้องการใช้ไฟฟ้ามากกว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่กล่าวมาทั้งหมด ระบบจะแสดงผลโอเวอร์โหลดทันที ทั้งนี้แหล่งจ่ายที่เป็นพลังงานทดแทนจะผลิตไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศในแต่ละวัน ระบบการจัดการพลังงานสามารถนำไปสู่การประหยัดพลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร้อยละ 15.92 การบริหารจัดการแหล่งจ่ายและการใช้งานโหลดจากพลังงานทางเลือก ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แหล่งจ่ายแบตเตอรี่สำรอง และแหล่งจ่ายเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ที่มีข้อจำกัด เหมาะสำหรับเป็นต้นแบบสำหรับชุมชนหรือหน่วยงานที่ไม่มีไฟฟ้าจากสายส่ง แหล่งจ่ายพลังงานลมไม่เหมาะสมจะนำมาใช้ในการจ่ายไฟให้กับโหลดโดยตรง ควรเก็บพลังงานที่ผลิตได้ในแบตเตอรี่สำรอง แล้วดึงพลังงานมาใช้ภายหลัง

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน โปรแกรมวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยและสนับสนุนเครื่องมือในการวัดและทดสอบงานวิจัย

## 7. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). **แผนพัฒนาพลังงาน ทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579**. ค้นจาก [http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015\\_Final\\_version.pdf](http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf)

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2565). **รายงานสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย ไตรมาสที่ 1/2565**. ค้นจาก [www.dede.go.th/download/state\\_65/3\\_SIT\\_Quarter%201\\_65.pdf](http://www.dede.go.th/download/state_65/3_SIT_Quarter%201_65.pdf)

พิธาน ชัยจินดา. (2016). **การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า Demand Side**. ค้นจาก [http://www.dsm.egat.co.th/file/DSM\\_PDF/1Demand%20Response.pdf](http://www.dsm.egat.co.th/file/DSM_PDF/1Demand%20Response.pdf)

สถานการณ์พลังงานโลก. (8 พฤษภาคม 2558). **World Energy Outlook 2013** โดย



- International Energy Agency: IEA). ค้นจาก <http://worldwaterlife.com/?p=158>
- Ronnie, B. (2010). **European Technology Platform SmartGrids Strategic deployment document for Europe's electricity networks of the future.**  
Retrieved from [http://www.smartgrids.eu/documents/SmartGrids\\_SDD\\_FINAL\\_APRIL2010.pdf](http://www.smartgrids.eu/documents/SmartGrids_SDD_FINAL_APRIL2010.pdf).
- Yunyong, T. (2015). **ระบบบริหารจัดการพลังงาน HEMS, BEMS, FEMS, CEMS และพลังงานทางเลือก.** ค้นจาก [www.pointthai.net/index.php?title=ระบบบริหารจัดการพลังงาน\\_HEMS,\\_BEMS,\\_FEMS,\\_CEMS\\_และพลังงานทดแทน](http://www.pointthai.net/index.php?title=ระบบบริหารจัดการพลังงาน_HEMS,_BEMS,_FEMS,_CEMS_และพลังงานทดแทน).



การจัดการโซ่อุปทานสำหรับการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ  
บริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย  
SUPPLY CHAIN MANAGEMENT FOR WELLNESS TOURISM  
OF SUKHOTHAI HISTORICAL PARK

อภิญญา ปาลวงค์, ไกลรุ่ง พรอนันต์\*

Apinya Palawong, Klairung Ponanan\*

คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

Faculty of Logistics and Digital Supply Chain, Naresuan University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

\*Corresponding author e-mail: klairungp@nu.ac.th

วันที่เข้ารับ 1 มีนาคม 2566

วันที่แก้ไขบทความ 2 เมษายน 2566

วันที่ตอบรับบทความ 3 เมษายน 2566

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ (Wellness tourism) บริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย 2) เพื่อเสนอรูปแบบการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ (Wellness tourism) บริเวณอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย โดยวิธีการดำเนินงานวิจัยเป็นแบบผสมผสานเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยรวบรวมข้อมูลภาพรวมของโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพด้วยการสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้ที่เกี่ยวข้อง รวบรวมข้อมูลระดับความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวต่อการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพด้วยแบบสอบถาม และนำผลลัพธ์ที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์โซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยตามหลักตัวแบบเชิงปฏิบัติการโซ่อุปทาน (SCOR model) ผลการวิจัย พบว่าการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย มีองค์ประกอบ 3 ด้าน ได้แก่ การจัดการห่วงโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเกี่ยวกับปัจจัยทางด้านต้นน้ำ การจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเกี่ยวกับปัจจัยทางด้านกลางน้ำ และการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเกี่ยวกับปัจจัยทางด้านปลายน้ำ

**คำสำคัญ:** การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ, การจัดการโซ่อุปทานท่องเที่ยว, ตัวแบบเชิงปฏิบัติการโซ่อุปทาน

## Abstract

This research aimed to study supply chain management for wellness tourism of Sukhothai Historical Park and to propose an improvement of supply chain management for wellness tourism of Sukhothai Historical Park. This mixed methodology study consisted of the qualitative method and quantitative method. Firstly, the overview of supply chain management for wellness tourism of Sukhothai Historical Park were collected by using the in-depth interviewing method. The stakeholders in the supply chain for wellness tourism were selected for in-depth interviewing as actors in the upstream and middle stream of the supply chain. Secondly, a questionnaire were used to examine the satisfaction of the tourist, an actor in downstream of the supply chain. Then supply chain management for wellness tourism of Sukhothai Historical Park were analyzed based on the results of the in-depth interviewing method and the satisfaction of tourists with supply chain management. Then, the supply chain management for wellness tourism of Sukhothai Historical Park was implemented by applying Supply Chain Operations (SCOR Model). The results showed that the supply chain management for wellness tourism of Sukhothai Historical Park consisted of 3 aspects: the supply chain management for wellness tourism in terms of upstream of the supply chain factors, middle stream of the supply chain factors, and downstream of the supply chain factors.

**Keywords:** Wellness tourism, Tourism supply chain management, SCOR model

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการผสมผสานรูปแบบการท่องเที่ยวต่าง ๆ เพื่อสร้างประสบการณ์ที่แปลกใหม่ให้นักท่องเที่ยว การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพเป็นหนึ่งในรูปแบบการท่องเที่ยวแบบผสมผสาน และการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ (Wellness tourism) ได้รับความสนใจจากนักท่องเที่ยวในปัจจุบันค่อนข้างมาก (การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย, 2565) ประเทศไทยมีขนาดตลาดท่องเที่ยวเชิงสุขภาพใหญ่ที่สุดเป็นอันดับแรกของโลก (กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม, 2564) เนื่องจากประเทศไทยมีภูมิปัญญาท้องถิ่นและวิถีชีวิตไทย ส่งผลให้การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในประเทศไทยนั้นเป็นที่สนใจของนักท่องเที่ยว และเป็นที่ยอมรับจากทั่วโลก (นันทพรธ, 2560) ทั้งนี้กิจกรรมที่มีชื่อเสียงสำหรับการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพของประเทศไทย ได้แก่ การนวดแผนไทย และสปาไทย



จังหวัดสุโขทัยเป็นจังหวัดที่มีแหล่งท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์ที่สำคัญ ได้แก่ อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย (สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดสุโขทัย, 2563) แม้ว่าอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยจะเป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์ที่มีความสำคัญและมีชื่อเสียง ในหลายปีที่ผ่านมาจำนวนนักท่องเที่ยวที่เดินทางเข้ามาเที่ยวอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยลดลงอย่างต่อเนื่อง (แผนพัฒนาการท่องเที่ยวจังหวัดสุโขทัย, 2560) เนื่องมาจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด 19 (COVID-19) ประกอบกับแหล่งท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์ไม่ได้รับความสนใจจากนักท่องเที่ยวชาวไทยมากนัก ดังนั้น การผสมผสานรูปแบบการท่องเที่ยวดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นแนวทางในการส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดสุโขทัย ซึ่งบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ประกอบไปด้วยร้านนวดแผนไทย ร้านสปาไทย และโรงแรมที่มีบริการนวดแผนไทย และสปาไทยจำนวนมาก การผสมผสานการท่องเที่ยวและบริการเชิงสุขภาพจะช่วยเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวบริเวณอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ทั้งนี้การเพิ่มศักยภาพการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพจำเป็นต้องมีการศึกษาการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยว ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการตั้งแต่ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำตลอดโซ่อุปทานของการท่องเที่ยวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มในโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ (Wellness tourism) บริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย

2.2 เพื่อเสนอรูปแบบการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ (Wellness tourism) บริเวณอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย

## 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษารั้งนี้ ประกอบไปขั้นตอนการศึกษา 3 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

### 3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

#### 3.1.1 ศึกษาทบทวน และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง ประกอบไปด้วย ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับจังหวัดสุโขทัยสถานที่ท่องเที่ยว สถิติการท่องเที่ยว รายได้การท่องเที่ยวของจังหวัดสุโขทัย สถานการณ์การท่องเที่ยวปัจจุบัน รวมทั้งนโยบายการท่องเที่ยวในจังหวัด และแผนการพัฒนารท่องเที่ยวของจังหวัดสุโขทัย ตลอดจนทบทวนข้อมูล ทฤษฎี และแนวคิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการศึกษารั้งนี้



### 3.1.2 ทบทวนเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสาร บทความงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ถูกทบทวน เพื่อวิเคราะห์ถึงช่องว่างของปัญหาที่จะทำการศึกษา และเครื่องมือที่จะใช้ในงานวิจัย นอกจากนี้การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะช่วยกำหนดขอบเขตปัจจัยที่จะทำการศึกษาได้

## 3.2 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

### 3.2.1 การสัมภาษณ์เชิงลึก

การสัมภาษณ์แบบเจาะลึกรายบุคคล (In-depth interview) เป็นการซักถามสนทนากันระหว่างผู้วิจัยและผู้ให้สัมภาษณ์ โดยมีการตั้งคำถามอย่างละเอียดเจาะลึก และได้คำตอบวิเคราะห์อย่างละเอียดถี่ถ้วนจากผู้ถูกสัมภาษณ์ (อรนรินทร์, 2552) การถามนอกจากจะเป็นรูปแบบในเชิงการให้อธิบายแล้ว จะต้องถามถึงเหตุผล ที่มาที่ไปอย่างชัดเจน การสัมภาษณ์รูปแบบเช่นนี้นั้น จะช่วยได้ดีเกี่ยวกับพฤติกรรมของบุคคล เจตคติ ความต้องการ ให้มีความชัดเจนตรงไปตรงมา (กรแก้ว, 2007) โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดผู้ที่เกี่ยวข้องในโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ทั้งนี้ประกอบด้วยผู้ประกอบการ และผู้ให้บริการ ในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ตัวแทนผู้ประกอบการมีส่วนเกี่ยวข้องเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ บริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย จังหวัดสุโขทัย เช่น ผู้ประกอบการธุรกิจท่องเที่ยว (ที่พัก ร้านอาหาร บริษัททัวร์) และ ผู้ให้บริการ (ร้านนวด สปา ร้านค้าเกี่ยวกับสมุนไพร) โดยใช้วิธีการกำหนดแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยเลือกสรรบุคคลที่ทำธุรกิจการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ บริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย จังหวัดสุโขทัย

### 3.2.2 แบบสอบถาม

แบบสอบถามนำมาใช้เพื่อสำรวจพฤติกรรมและความคิดเห็นของนักท่องเที่ยวที่มาท่องเที่ยวจังหวัดสุโขทัย (เกียรติสุดา, 2552) ที่มีต่อการจัดการโซ่อุปทานท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ เพื่อวิเคราะห์เกี่ยวกับความต้องการการท่องเที่ยวในเชิงสุขภาพ และเพื่อชี้ให้เห็นข้อควรปรับปรุงในโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ บริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย จังหวัดสุโขทัย ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบความเที่ยงตรงของแบบสอบถามด้วยการคำนวณค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (Index of item-objective congruence: IOC) ซึ่งคะแนนได้มาจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน หลังจากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลโดยการกำหนดกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) ซึ่งได้แก่นักท่องเที่ยวที่เดินทางท่องเที่ยวจังหวัดสุโขทัยจำนวน 100 คน

### 3.3 การวิเคราะห์ผลการวิจัย

#### 3.3.1 วิเคราะห์โซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ

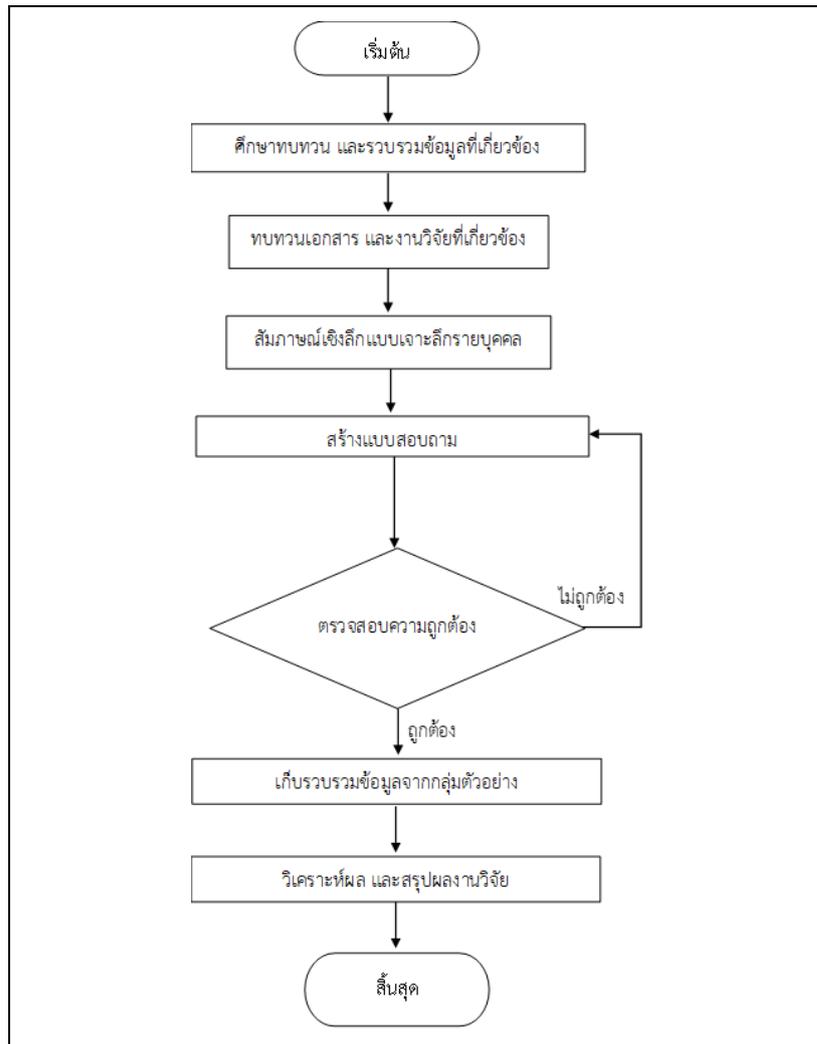
ในขั้นตอนนี้เป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้ที่เกี่ยวข้องในโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ได้แก่ ผู้ประกอบการ สถาบันฝึกอบรมการนวดแผนไทย และผู้ให้บริการนวดแผนไทย / สปาไทย มาทำการวิเคราะห์โซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ บริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยในปัจจุบัน เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงโซ่อุปทานดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพ

#### 3.3.2 วิเคราะห์รูปแบบการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ

หลังจากที่ได้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยจากการสัมภาษณ์เชิงลึก ประกอบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามสำหรับวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่มีต่อองค์ประกอบของการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ในขั้นตอนนี้จึงสามารถทำการวิเคราะห์รูปแบบการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ บริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยด้วยการนำตัวแบบเชิงปฏิบัติการโซ่อุปทาน (Supply chain operations : SCOR model) มาประยุกต์ใช้เพื่อหาแนวทางการจัดการโซ่อุปทานที่เหมาะสม ซึ่งเป็นความเชื่อมโยงระหว่างการวางแผนและการบริหารกิจกรรมในโซ่อุปทาน ที่เริ่มตั้งแต่การจัดการ การแปรรูป และกิจกรรมภายในโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ ทุก ๆ กิจกรรม อีกทั้งยังรวมถึงการประสานงาน การสัมพันธ์กันระหว่างผู้จำหน่ายวัตถุดิบ ตัวกลาง และลูกค้า และเชื่อมโยงกับผู้ประกอบการ สถานที่ท่องเที่ยว และนักท่องเที่ยวต่อไป

### 4. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวต่อการจัดการโซ่อุปทานสำหรับการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ บริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย โซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ บริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย และรูปแบบการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ บริเวณอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ซึ่งเป็นการปรับปรุงจากโซ่อุปทานการท่องเที่ยวในปัจจุบันโดยการนำผลที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกของผู้ที่เกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน (ต้นน้ำ และกลางน้ำ) และผลจากแบบสอบถามสำหรับนักท่องเที่ยว (ปลายน้ำ)



ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 4.1 ลักษณะส่วนบุคคลและความพึงพอใจของนักท่องเที่ยว

ผลการวิเคราะห์จากรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามประกอบไปด้วย ลักษณะส่วนบุคคล ภาพรวมการท่องเที่ยว และความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวต่อการจัดการโซ่อุปทานสำหรับนักท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามแสดงดังตารางที่ 1-2



**ตารางที่ 1** ลักษณะส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม และภาพรวมของการเดินทางท่องเที่ยว

รายการ	ลักษณะส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยว	ร้อยละ
เพศ	ชาย	47
	หญิง	53
อายุ	21-30 ปี	58
รายได้ต่อเดือน	15,000-30,000 บาท	44
อาชีพ	อาชีพพนักงานบริษัทเอกชน/รับจ้าง	26
วัตถุประสงค์หลักในการเดินทางท่องเที่ยว	เพื่อพักผ่อนหย่อนใจ	64
ผู้ร่วมเดินทางท่องเที่ยว	ครอบครัว (พ่อแม่ / สามีภรรยา / ลูก)	44
ระยะเวลาการเดินทางท่องเที่ยว	ประมาณ 1-2 วัน	50

ผลความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวต่อการจัดการโซ่อุปทานสำหรับการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยจำนวน 100 คน ซึ่งผลการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวต่อการจัดการโซ่อุปทานท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย

ข้อความ	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ	S.D
<b>ก่อนการเดินทาง: ด้านการไหลเวียนทางข้อมูลข่าวสาร (Information Flow)</b>			
1. สามารถรับรู้ข้อมูลข่าวสาร	3.12	62.4	0.909
2. มีการนำเสนอข้อมูลข่าวสารและสื่อโฆษณาประชาสัมพันธ์	3.30	66.0	0.700
3. มีการนำระบบเทคโนโลยีการสื่อสารมาใช้	3.35	67.0	0.899
4. ผู้ดูแลระบบสารสนเทศ/เจ้าหน้าที่อุทยานมีความสามารถในการให้บริการ	3.34	66.8	0.930
<b>ระหว่างเดินทาง: ด้านการไหลเวียนทางกายภาพ (Physical Flows)</b>			
<b>1. สิ่งดึงดูดใจนักท่องเที่ยว (Attraction)</b>			
1.1 มีกิจกรรมการนวดแผนไทย สปา ที่หลากหลาย ให้นักท่องเที่ยวเลือกใช้บริการ	3.25	65.0	0.853
1.2 กิจกรรมการนวดแผนไทย สปา ตอบโจทย์ต่อการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ	3.28	65.6	0.813
1.3 การนวดแผนไทย สปา บริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย มีความเป็นเอกลักษณ์	3.34	66.8	0.790
1.4 กิจกรรมการนวดแผนไทย สปา มีการนำภูมิปัญญาไทยแบบดั้งเดิมมาใช้	3.60	72.0	0.872

ข้อความ	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ	S.D
<b>2.สิ่งอำนวยความสะดวก (Facilities)</b>			
2.1 บริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยมีโครงสร้างสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐาน	3.42	68.4	0.908
2.2 ความสะดวกในการเดินทางไปยังที่ต่าง ๆ รอบบริเวณอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย	3.54	70.8	0.899
2.3 เจ้าหน้าที่อุทยานสามารถให้ข้อมูลแก่นักท่องเที่ยวได้อย่างครบถ้วน	3.70	74.0	0.933
2.4 ที่พักเพียงพอต่อความต้องการของนักท่องเที่ยว	3.56	71.2	1.023
2.5 ร้านอาหาร/เครื่องดื่ม มีราคาเหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการนักท่องเที่ยว	3.32	66.4	0.882
<b>3.ความปลอดภัย (Safety)</b>			
3.1 มีเจ้าหน้าที่ดูแลความปลอดภัยบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย	3.46	69.2	0.842
3.2 มีการให้ข้อมูลแก่นักท่องเที่ยวเมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน	3.41	68.2	0.763
3.3 มีการบริการทางสาธารณสุข หรือสถานพยาบาลบริเวณใกล้เคียง เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน	3.40	68.0	0.883
<b>ระหว่างเดินทาง: ด้านการไหลเวียนข้อมูลข่าวสาร (Information Flows)</b>			
<b>1.ข้อมูลข่าวสาร (Information)</b>			
1.1 สามารถรับรู้ข้อมูลข่าวสารและสื่อโฆษณาประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวได้จากหลายแหล่งที่มา	3.35	67.0	0.766
1.2 มีการนำเสนอข้อมูลข่าวสารและสื่อโฆษณาประชาสัมพันธ์ สิ่งอำนวยความสะดวก	3.47	69.4	0.818
1.3 เจ้าหน้าที่มีความรู้ และสามารถให้ข้อมูลแก่นักท่องเที่ยวได้เป็นอย่างดี	3.43	68.6	0.803
1.4 มีการนำแอปพลิเคชัน มาใช้เพื่อการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ	3.47	69.4	0.899
<b>ระหว่างเดินทาง: ด้านการไหลเวียนทางการเงิน (Financial Flows)</b>			
<b>1.จุดชำระเงิน (Payment)</b>			
1. มีการบริการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์	3.43	68.6	1.070
2. มีการบริการรองรับการชำระผ่านบัตร Credit Card	3.21	64.2	0.864
3. มีจุดการให้บริการ การกวดเงินสดในบริเวณมีความสะดวก และเพียงพอ	3.34	66.8	0.919
4. ค่าธรรมเนียมในการใช้บริการเกี่ยวกับสถาบันการเงิน มีความเหมาะสม	3.40	68.0	0.959

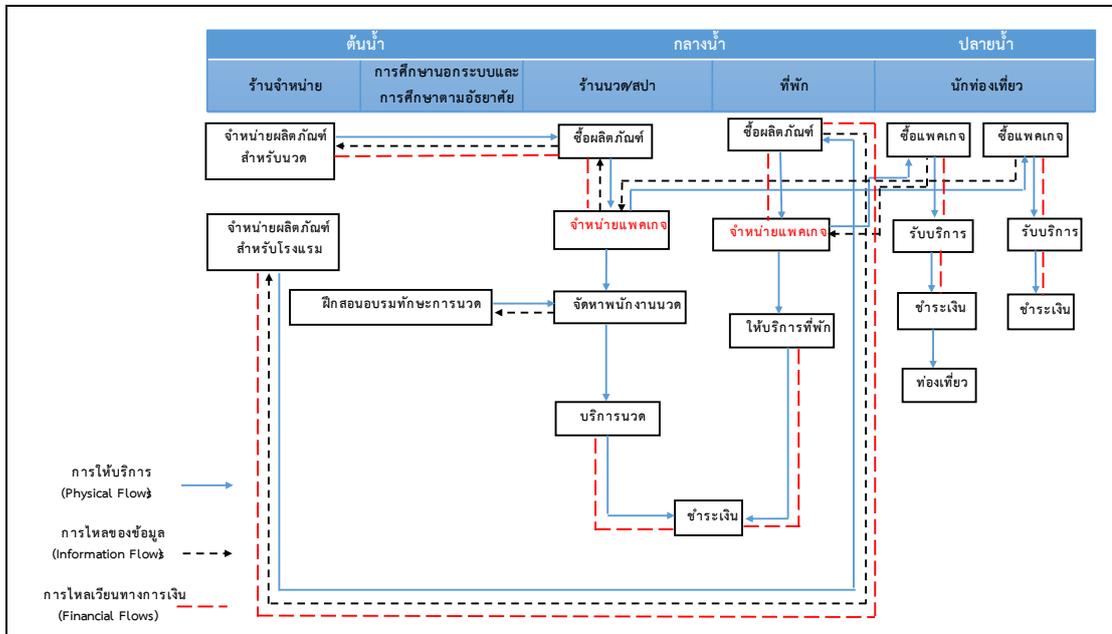


ข้อความ	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ	S.D
<b>หลังการเดินทางท่องเที่ยว</b>			
1. ท่านได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวมากน้อยเพียงใด	3.58	71.6	0.764
2. ท่านได้รับความพึงพอใจการท่องเที่ยวมากน้อยเพียงใด	3.55	71.0	0.753
3. ภาพรวมของการท่องเที่ยว	3.73	74.6	0.904

#### 4.2 ไข่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ บริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย

จากการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องในไข่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยดังที่ได้กล่าวไปแล้วในวิธีการดำเนินงานวิจัย ทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในไข่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ โดยในระดับต้นน้ำมีผู้ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย ร้านจำหน่ายผลิตภัณฑ์และสำนักงานส่งเสริมการศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัย ตำบลเมืองเก่า อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย พบว่าร้านนวด/สปา และที่พัก ชื่อผลิตภัณฑ์สำหรับการนวดและที่พัก จากร้านจำหน่ายผลิตภัณฑ์ร้านปลีก/ส่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนที่ทางร้านนวด/สปาและที่พักต้องการใช้ โดยผลิตภัณฑ์ที่ส่งขายให้กับร้านนวด/สปาและที่พัก เป็นผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาดที่ได้รับการรับรองอย่างถูกต้อง ซึ่งไม่ส่งผลต่อปัญหาความล่าช้าในการจำหน่าย และในส่วนของสำนักงานส่งเสริมการศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัย จะจัดอบรมเพื่อฝึกอบรมผู้ที่มีความสนใจเรื่อง การนวด โดยการประชาสัมพันธ์แก่ผู้มีความสนใจ เพื่อให้หมอนวดได้ทำงานในร้านนวด/สปา ทั้งร้านในท้องถิ่นและในพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อเป็นการส่งต่อแรงงานหมอนวดผู้มีฝีมือไปให้บริการร้านนวด/สปา ต่อไป โดยจากการสัมภาษณ์เชิงลึก ยังไม่เจอปัญหาที่จะส่งผลไปยังกลางน้ำได้ ส่วนในระดับกลางน้ำมีผู้ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย ร้านนวด/สปาและที่พัก พบว่า ได้ทำการดำเนินการแยกส่วนกันอย่างชัดเจน โดยที่ร้านนวด/สปา จะทำการจำหน่ายแพคเกจและให้บริการโดยหน้าร้านเพียงอย่างเดียวเท่านั้น และเช่นเดียวกันที่ในการให้บริการด้านที่พักจะจำหน่ายแพคเกจการให้บริการเกี่ยวกับที่พักเพียงอย่างเดียว ทำให้เกิดความซับซ้อนในการเข้ารับบริการแก่นักท่องเที่ยว และอาจจะไม่ตอบโจทย์เกี่ยวกับการเข้ารับบริการในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพได้ และสุดท้ายในระดับปลายน้ำมีผู้ที่เกี่ยวข้องคือนักท่องเที่ยว โดยผลการวิเคราะห์จากการรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามด้านความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวต่อการจัดการไข่อุปทานท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ หากนักท่องเที่ยวมีความสนใจที่จะท่องเที่ยว จะต้องดำเนินการจองแพคเกจแยกกันในส่วนของทั้งร้านนวด/สปา และที่พัก ซึ่งเป็นขั้นตอนการดำเนินงานที่ซ้ำซ้อน และเพิ่มภาระขั้นตอนให้กับนักท่องเที่ยว ทำให้เกิดความไม่สะดวก และทำให้ความน่าสนใจลดลง นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ที่ใช้สำหรับในร้าน

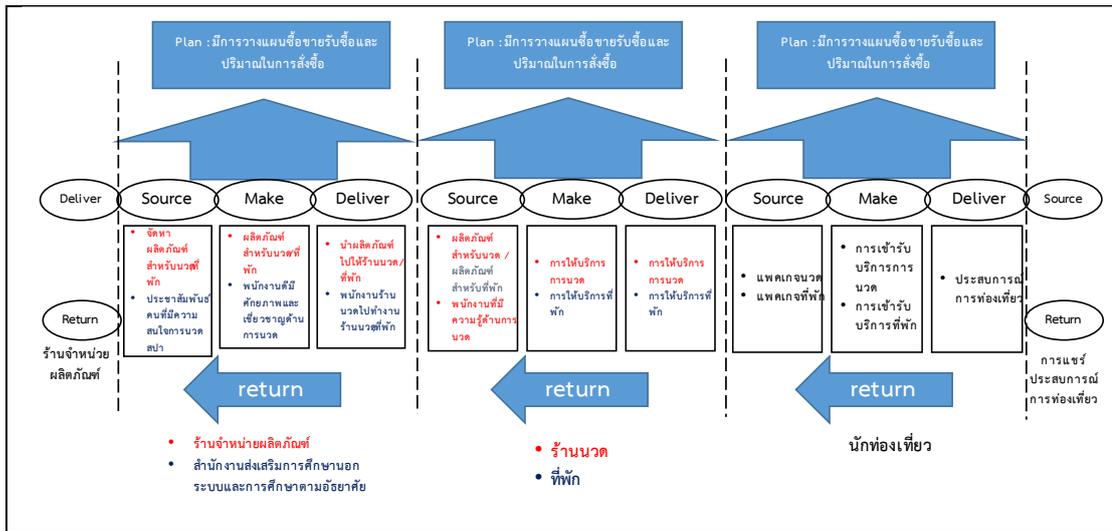
หมวด/สปลา ที่พัก รวมทั้งการบริการอยู่ในระดับที่ดี ซึ่งใช้อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ใช้อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย

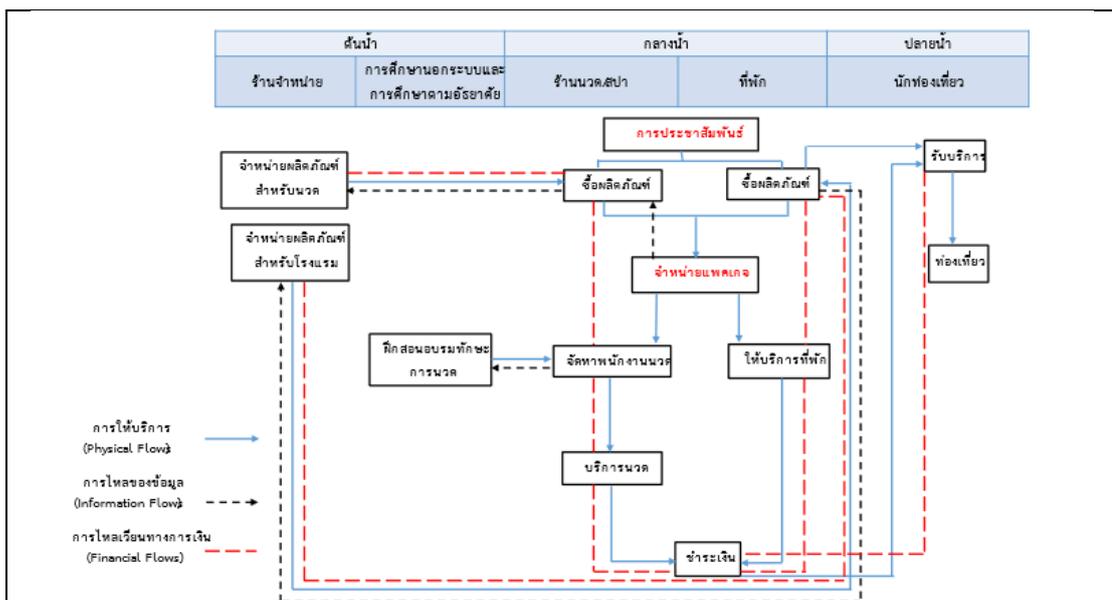
#### 4.3รูปแบบการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย

การวิเคราะห์รูปแบบการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยในการศึกษารั้งนี้เป็นการประยุกต์ใช้ตัวแบบเชิงปฏิบัติการโซ่อุปทาน (Supply chain operations : SCOR model) (Nanthapodej *et al.*, 2006) เพื่อหาหาแนวทางการจัดการโซ่อุปทานท่องเที่ยวเชิงสุขภาพที่เหมาะสมและเชื่อมโยงกับผู้ประกอบการ สถานที่ท่องเที่ยว และนักท่องเที่ยว ซึ่งนำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในโซ่อุปทานตั้งแต่ต้นน้ำและกลางน้ำ โดยในส่วนของปลายน้ำ ได้แก่ นักท่องเที่ยว ทำการรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม โดยตัวแบบ SCOR model ประกอบไปด้วยวางแผน (Plan) จัดหาทรัพยากร (Source) สร้างการบริการท่องเที่ยวที่มีคุณภาพ (Make) ส่งมอบการบริการท่องเที่ยว (Deliver) และประเมินผลการบริการ (Return) ตัวแบบเชิงปฏิบัติการโซ่อุปทานท่องเที่ยวเพื่อสุขภาพ (Lean supplychain by TMB, 2020) แสดงดังภาพที่ 3 โดยเป็นการจัดการโซ่อุปทานท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยตามหลัก SCOR model



ภาพที่ 3 การจัดการโซ่อุปทานท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ตามหลัก SCOR model

จากการวิเคราะห์การจัดการโซ่อุปทานท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ด้วยการประยุกต์ใช้ตัวแบบเชิงปฏิบัติการโซ่อุปทาน (Supply chain operations: SCOR model) ทำให้ได้แนวทางการส่งเสริมการจัดการโซ่อุปทานท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ซึ่งรูปแบบการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยได้ถูกปรับปรุงดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การปรับปรุงการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย



## 5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การศึกษาค้นคว้านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ (Wellness tourism) บริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย และ (2) เสนอรูปแบบการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ (Wellness tourism) บริเวณอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย โดยได้มีการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ตั้งแต่ศึกษาทบทวนและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ทบทวนเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สัมภาษณ์เชิงลึกผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ร้านนวด/สปา ที่พักที่มีบริการเชิงสุขภาพ และสำนักงานส่งเสริมการศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัย ตำบลเมืองเก่า อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย และจัดทำแบบสอบถามเพื่อสำรวจความพึงพอใจแก่นักท่องเที่ยว กระบวนการดังกล่าวทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลภาพรวมของการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพบริเวณอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ตั้งต้นนำไปจนถึงปลายน้ำ และจากการวิเคราะห์โซ่อุปทานการท่องเที่ยวในปัจจุบันทำให้เห็นถึงปัญหาหลัก คือ การดำเนินการในการจองแพคเกจการท่องเที่ยวจะแยกแยกกันในส่วนของทั้งร้านนวด/สปา และที่พัก ซึ่งเป็นขั้นตอนการดำเนินงานที่ซ้ำซ้อน และเพิ่มภาระขั้นตอนให้กับนักท่องเที่ยว ทำให้เกิดความไม่สะดวก และทำให้ความน่าสนใจลดลง เนื่องจากยังมีการจัดการการไหลของข้อมูล (Information flow) การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในบริเวณรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ยังขาดการประชาสัมพันธ์ ทำให้ไม่เป็นที่รู้จักแก่นักท่องเที่ยว ดังนั้น รูปแบบการจัดการโซ่อุปทานการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพจึงถูกนำเสนอ โดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแบบเชิงปฏิบัติการโซ่อุปทาน (Supply chain operations : SCOR model) ทั้งนี้การศึกษาค้นคว้านี้ยังไม่ได้ครอบคลุมสถานที่ท่องเที่ยวทั้งหมดของจังหวัดสุโขทัยจึงอาจส่งผลให้ผลการวิจัยไม่ได้ครอบคลุมการจัดการโซ่อุปทานและตัวแบบข้อมูลในอุตสาหกรรมท่องเที่ยวของจังหวัดสุโขทัย และการท่องเที่ยวในรูปแบบอื่นภายในจังหวัดสุโขทัย

## 6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี เนื่องจากผู้ให้ข้อมูลในการสัมภาษณ์ และนักท่องเที่ยวผู้ที่ตอบแบบสอบถาม ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- กรแก้ว จันทภาษา. (2007). การสัมภาษณ์แบบเจาะลึกรายบุคคล (In-depth interview) ค้นจาก <https://home.kku.ac.th/korcha/int3.html>
- กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม. (2564). ยกระดับโรงแรมไทยด้วยมาตรฐาน WellHotel ส่งเสริมภาคการท่องเที่ยวตอบโจทย์แนวโน้มการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ. *Policy Brief Tourism*, 6(1), 1-12.



- การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2565). **ภูมิปัญญาพื้นบ้าน ต้นทุนของไทยสู่การเป็น Wellness Tourism**. ค้น จาก <https://tatacademy.com/th/articles/article/fb75df03-f23b-463985ff722932a75d41?fbclid=IwAR2wA4CTbHdtT3XL61ztwLAI27hTQGnrYJRCFKhTQGnr2fLURtdVu3ZzVu0>
- เกียรติสุดา ศรีสุข. (2552). **ระเบียบวิธีวิจัย** (พิมพ์ครั้งที่ 3). เชียงใหม่: โรงพิมพ์ครองช่างพริ้นติ้ง.
- นันทพรธณ พูลอ่ำ. (2560). การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ (wellness Tourism). ค้นจาก <https://sites.google.com/>
- แผนพัฒนาการท่องเที่ยวจังหวัดสุโขทัย. (2560). **แผนพัฒนาการท่องเที่ยวจังหวัดสุโขทัย พ.ศ. 2560 - 2564**. ค้น จาก [https://sukhothai.mots.go.th/download/article/article\\_20200414104709.pdf](https://sukhothai.mots.go.th/download/article/article_20200414104709.pdf)
- สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดสุโขทัย. (2563). **สถานที่ท่องเที่ยวจังหวัดสุโขทัย**. ค้นจาก [https://sukhothai.mots.go.th/ewtadmin/ewt/sukhothai/more\\_news.php?page=1&cid=7](https://sukhothai.mots.go.th/ewtadmin/ewt/sukhothai/more_news.php?page=1&cid=7)
- อรนรินทร์ ขจรวงศ์วัฒนา. (2552). **การสัมภาษณ์เชิงลึก (Indepth Interview)**. ค้นจาก <https://www.gotoknow.org/posts/285191>
- Lean Supply Chain by TMB. (2020). **ทำความรู้จัก SCOR Model**. Retrieved from <https://tmbleansupplychain/posts/4107926662566487>
- Nanthapodej, R., Phutthala, S., & Pattanapiroj, S. (2006). Principle of supply chain operations reference (SCOR) model. **Engineering and Applied Science Research**, 33(4), 325-335.