

JOURNAL OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND

**ENGINEERING**

PIBULSONGKRAM RAJABHAT UNIVERSITY



วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม  
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม



ปีที่ 5 ฉบับที่ 2

พฤษภาคม-สิงหาคม ปี2566

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 และดำเนินการส่งไฟล์บทความเข้าสู่ขั้นตอนการปรับแก้ต้นฉบับ 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 2 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
เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะสำหรับการติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ .....จักรพงษ์ โนนอวบ, รัฐกาญจน์ แก้วเปียง, นภาพร ตุ่มทองคำ, นฤมล วันน้อย, วรชัย ศรีเมือง, ชัยสิทธิ์ วันน้อย	115-130
การพัฒนาระบบคัดกรองโควิด-19 ก่อนเข้าสถานที่ทำงานด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก .....พิสุทธิ นุ่มเกลี้ยง, กัลยา คำหล้า, เอกลักษณ์ สุมณพันธ์	131-146
ปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์สำหรับผู้รับจ้างผลิตอาหารเสริมของประเทศไทย .....ศุภาคนางค์ ยอดคำ, ณัฐพล ไพศาลวิโรจน์รักษ์, เจษฎา โพธิ์จันทร์	147-158
แบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก .....นิวัติ คลังสีดา, บุญวัฒน์ วิจารณ์พล, วชระ วงศ์ปัญญา	159-177
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบไม้กวาดดอกหญ้า บ้านร่องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก .....ปรารถนา ศิริสานต์, ฐิติมา ชุนอินทร์, ประกฤษฏี นวลเป่า	178-191
การออกแบบระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบแยกข้างด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม .....ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง, อติเรก ชัยนวกุล, ธีรวัฒน์ แสงภาค	192-206
การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งป้อนความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R32 .....ประพันธ์พงษ์ สมศิลา, ทรงสุภา พุ่มชุมพล, อำไพศักดิ์ ทีบุญมา, อภินันต์ นามเขต	207-222
การศึกษาการควบคุมความดันเกจที่ส่งผลต่อการสูบน้ำของระบบสูบน้ำด้วยไอน้ำแบบอัตโนมัติ	223-238



....พยัพ สลับศรี, จิรวัดน์ สิตรานนท์, กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์, กรณัญญ์ นาคภิบาล,  
ภาณุศักดิ์ มูลศรี



## เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะสำหรับการติดตามสมรรถนะ แผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

### A SMART POWER METER FOR PHOTOVOLTAIC PERFORMANCE

จักรพงษ์ โนอุบ, รัฐกาญจน์ แก้วเปียง, นภาพร ตุ่มทองคำ, นฤมล วันน้อย  
วรชัย ศรีเมือง, ชัยสิทธิ์ วันน้อย\*

Jakkapong No-Uab, Rattakan Keawbiang, Napaporn Toomthongkum  
Narumon Wannoi, Worachai Srimuang, Chaisit Wannoi\*

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ ประเทศไทย 67000  
Faculty of Agricultural and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University,  
Muang, Phetchabun, Thailand, 67000

\*Corresponding author e-mail: chaisit.w@pcru.ac.th

วันที่เข้ารับ 10 กุมภาพันธ์ 2566

วันที่แก้ไขบทความ 30 เมษายน 2566

วันที่ตอบรับบทความ 7 พฤษภาคม 2566

#### บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะสำหรับการติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (PV) โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ทำงานบนแอปพลิเคชันบลูทูธในการแสดงผลบนสมาร์ตโฟนแบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ยังสามารถแจ้งเตือนผู้ดูแลระบบผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าของแผงต่ำกว่าค่าควบคุมหรือกระแสไฟฟ้าของแผงสูงถึงขีดจำกัดของแผง โดยการติดตามสมรรถนะของแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) ค่ากระแสไฟฟ้า (A) ค่ากำลังไฟฟ้า (W) ค่ากำลังไฟฟ้าสะสม (Wh) และเปอร์เซ็นต์การผลิตไฟฟ้าของแผง (%) โดยผลการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องพบว่าค่าความผิดพลาดของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.45% และค่าความผิดพลาดของกระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.19% สำหรับผลการศึกษางานของเครื่องซึ่งได้ทำการติดตั้งร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าสามารถติดตามสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นได้ นอกจากนี้ข้อมูลกำลังไฟฟ้าสะสมสามารถใช้เป็นข้อมูลในการพยากรณ์กำลังผลิตเพื่อวางแผนรองรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโหลด อีกทั้งยังสามารถช่วยให้ผู้ดูแลวางแผนในการเข้าตรวจและซ่อมบำรุงได้ถูกจุด รวดเร็วขึ้น พร้อมช่วยลดความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุได้

**คำสำคัญ:** เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า, การติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, ระบบเรียลไทม์

## Abstract

This article presents a smart power meter for monitoring photovoltaic performance using internet of things technology (IoT). This research was designed to work on the Blynk application for real time monitoring on mobile phones. In addition, administrators could be alerted via LINE application in the event when the panel voltage was lower than the control value or the panel's current was higher than the panel's limit. The performance monitoring of PV panel included voltage (V), current (A), power (W), power consumption (Wh), and the PV panel's electricity generation percentage (%). The efficiency assessment results of the device showed that the average voltage measurement error was 0.45% and the average current error was 1.19%. The operation study results of the device installed with the photovoltaic power generation system indicated that the performance could be tracked. In addition, the cumulative power data could be used as power forecasting data to plan for changes in load. It could also help caregivers plan for inspections and maintenance at the right spot faster while reducing the risk of accidents.

**Keywords:** Power meter, Photovoltaic performance monitoring, Internet of thing, Real-time system

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยและเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ทั้งภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ภาคการเกษตร หรือแม้กระทั่งภาคครัวเรือนขนาดเล็กๆ การใช้พลังงานที่นำมาผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยในปัจจุบันโดยส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานประเภทแบบสิ้นเปลือง อย่างเช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันเตา และถ่านหิน ในขณะที่ประเทศนั้นมีแหล่งผลิตก๊าซธรรมชาติ น้ำมันเตา และถ่านหินที่จำกัด ต้องอาศัยการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเพื่อให้เพียงพอในการผลิตไฟฟ้ากับปริมาณความต้องการในประเทศ ซึ่งภาครัฐต้องสูญเสียงบประมาณในการนำเข้าเชื้อเพลิงเหล่านี้ค่อนข้างมาก ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานสิ้นเปลืองเหล่านี้คือการใช้พลังงานทดแทน หากพิจารณาตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 – 2580 จะพบว่าภาครัฐนั้นให้ความสำคัญและให้การสนับสนุนในการใช้พลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้ามากขึ้น และที่สำคัญสภาพภูมิศาสตร์และตำแหน่งที่ตั้งของประเทศไทย ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นเป็นพลังงานทดแทนที่มีความเหมาะสมเป็นอย่างมาก โดยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic) ซึ่ง

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยระบบการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้สิ่งที่สำคัญในขบวนการผลิตก็คือประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจำเป็นต้องมีตรวจสอบอยู่เป็นประจำ นอกเหนือจากการตรวจสอบสภาพภายนอกหรือสภาพทางกายภาพทั่วไปแล้ว ผู้ดูแลจำเป็นต้องยังต้องทำการตรวจสอบสมรรถนะของแผงว่ายังคงทำงานดีอยู่หรือไม่ และประสิทธิภาพการทำงานของแผงลดลงหรือไม่ ซึ่งแนวทางการพัฒนาระบบตรวจสอบและการปรับปรุงประสิทธิภาพเช่น Benjamin *et al.*, (2022) ได้ทำการศึกษาการตรวจสอบสิ่งสกปรกของแผงโซลาร์เซลล์และการทำความสะอาดเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ และยังมีการศึกษาของ Opeyeolu & Moyahabo (2021) ได้นำเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์โดยใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำเพื่อควบคุมความร้อน โดยทั่วไปในการตรวจสอบสมรรถนะของแผงก็จะทำการตรวจวัดระดับแรงดันไฟฟ้า ปริมาณกระแส ความเข้มแสง และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการตรวจสอบค่าเหล่านี้ก็จะใช้คนในการตรวจสอบเป็นหลัก ถ้าเป็นระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก เช่น การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้งานเอง โดยเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar roof) สำหรับรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคานั้นได้มี Yuvaraja *et al.* (2017) ได้นำเสนอการออกแบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาพร้อมด้วยระบบตรวจสอบและติดตาม นอกจากนี้ยังมี Aparupa *et al.* (2018) ได้นำเสนอการออกแบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาสำหรับ JSSATEN ซึ่งการตรวจสอบสมรรถนะแผงของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคานั้นจะทำได้ลำบากเนื่องจากอยู่บนที่สูงและเป็นอันตรายอีกทั้งยังต้องใช้เวลาในการตรวจวัดนาน

ดังนั้นด้วยปัญหาดังกล่าวและประกอบกับเทคโนโลยีด้านการสื่อสารที่มีการพัฒนาค่อนข้างมาก โดยเฉพาะระบบควบคุมติดตาม ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตบนสมาร์ตโฟน จึงได้มีแนวคิดเพื่อสร้างความสะดวกในการตรวจสอบและติดตามสมรรถนะของแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยได้ออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะสำหรับการติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีไอโอที (IoT) โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไอโอทีนี้ได้มี Fatmah *et al.* (2022) ได้ทำการศึกษาเชื่อมต่อการจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์บนแผงจ่ายไฟอัจฉริยะ (Smart distribution board) ด้วยระบบ IoT ซึ่งใช้ Arduino Mega2560 เป็นตัวประมวลผล และยังมี Monika & Nilesh (2019) ได้ทำการศึกษาระบบตรวจสอบเซลล์แสงอาทิตย์ระยะไกลอัจฉริยะที่ใช้ IOT โดยใช้ ESP32 ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลซึ่งในการติดตามจะแสดงผลบน Blynk Webpage และยังมี Lavanya *et al.* (2019) ได้ทำการศึกษาระบบตรวจสอบแผงโซลาร์เซลล์โดยใช้เทคโนโลยีสมาร์ตโฟนโดยใช้ ATmega 2560 Arduino เป็นตัวประมวลผล และ Albert *et al.* (2020) ได้ทำการศึกษาระบบตรวจสอบแรงดัน กระแสไฟฟ้า พลังงาน และประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยส่งค่าไปยังสมาร์ตโฟน เว็บ และอีเมลแบบออนไลน์ตามเวลาจริง (Real



time) โดยใช้ Raspberry Pi 3 เป็นตัวประมวลผล รวมถึง Waheb *et al.* (2020) ได้ทำการศึกษาเครื่องวัดพลังงานอัจฉริยะที่ใช้เครือข่ายบริเวณกว้างระยะไกลสำหรับระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์แบบสแตนด์อโลนโดยแสดงผลบนสมาร์ตโฟนโดยใช้โปรแกรม AllThingsTalk แต่เครื่องต้นแบบในงานวิจัยนี้ได้ใช้บอร์ด WeMos D1 mini ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและกระแสไฟฟ้า PZEM 017 และสามารถแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และสมรรถนะหรือความสามารถผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการรายงานผลบนสมาร์ตโฟนนั้นได้ประยุกต์ใช้งานบนแอปพลิเคชันบลิงค์ และนอกจากนี้ยังสามารถแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ (LINE Application) หากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเกินค่าควบคุม ซึ่งการประยุกต์ใช้การแจ้งเตือนผ่านระบบไลน์นั้นได้มี Narumon & Chaisit (2022) ได้ประยุกต์การแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ในการออกแบบระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วม ซึ่งการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์นั้นสามารถระบุเฉพาะเจาะจงกลุ่มที่ต้องการแจ้งเตือนภัยได้โดยตรงผ่านสมาร์ตโฟนของผู้ดูแลระบบได้โดยตรง นอกจากนี้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะนี้ยังสามารถช่วยลดภาระในการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้และยังสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุในการตรวจวัด กรณีที่ระบบติดตั้งแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาหรือที่สูงยากต่อการวัดค่า และที่สำคัญค่าที่แสดงผลบนแอปพลิเคชันบลิงค์ของงานวิจัยนี้จะแสดงผลแบบเรียลไทม์ซึ่งทำให้ผู้ดูแลสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงได้เสมือนจริงตามเวลาจริง โดยการแสดงผลแบบเรียลไทม์นี้ก็ได้มี Ghedhan *et al.* (2022) ได้ทำการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบระบบพลังงานไฟฟ้าโซลาร์เซลล์แบบเรียลไทม์โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งโดยใช้ ESP32 ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผล และยังมี Sheikh *et al.* (2021) ได้ทำการศึกษา ระบบตรวจสอบพลังงานแสงอาทิตย์ระยะไกลแบบเรียลไทม์บนพื้นฐาน IOT โดยใช้ ESP8266 ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผล ซึ่งการแสดงผลแบบเรียลไทม์นี้เป็นประโยชน์ต่อการผลิตและติดตามสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างมากซึ่งสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนบำรุงรักษาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ อีกทั้งยังสามารถพยากรณ์กำลังไฟฟ้าสะสมล่วงหน้าเพื่อวางแผนการเปลี่ยนแปลงโหลดในอนาคตได้

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อสร้างต้นแบบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะสำหรับการติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรียลไทม์

2.2 เพื่อใช้ในการตรวจสอบ ติดตาม วางแผนการซ่อมบำรุงแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และลดความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุจากการเข้าตรวจสอบ



2.3 เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะสำหรับการติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

### 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

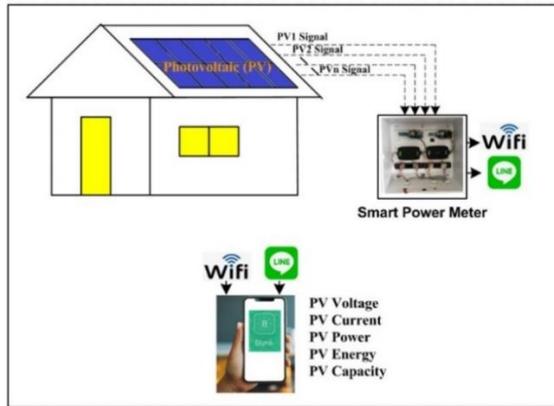
ในการศึกษาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะสำหรับติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นได้กำหนดวิธีดำเนินงานวิจัยได้ดังนี้

#### 3.1 การออกแบบและกำหนดฟังก์ชันการทำงานของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะ

ในการออกแบบระบบติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะนี้ได้ออกแบบให้สามารถติดตาม ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) ค่ากระแสไฟฟ้า (A) ค่ากำลังไฟฟ้า (W) ค่ากำลังไฟฟ้าสะสม (Wh) และเปอร์เซ็นต์การผลิตไฟฟ้าของแผง ซึ่งค่าต่างๆ ได้ออกแบบให้สามารถแสดงผลบนหน้าจอสมาร์ตโฟนทั้งในรูปแบบตัวเลขและกราฟเพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนค่าแบบเรียลไทม์ (real time) ซึ่งในงานวิจัยได้ประยุกต์ใช้ร่วมกับแอปพลิเคชันบลิงค์ (Blynk application) ในการรับค่าและแสดงผลบนสมาร์ตโฟนซึ่งแอปพลิเคชันบลิงค์นั้นได้มี Weerathum & Somchat (2022) ได้ทำการประยุกต์ใช้แอปพลิเคชันบลิงค์ในการแสดงผลการตรวจสอบพลังงานโดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีไอโอที อีกทั้ง Muhammad & Mohd (2022) ได้มีการประยุกต์ใช้แอปพลิเคชันบลิงค์ในการพัฒนาเครื่องติดตามแสงอาทิตย์แบบแกนคู่พร้อมระบบตรวจสอบ IoT เป็นต้น ในงานวิจัยฉบับนี้ยังมีฟังก์ชันในการแจ้งเตือนหากแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าค่าที่กำหนดหรือกระแสไฟฟ้าสูงกว่าค่าที่กำหนดผ่านแอปพลิเคชันไลน์ (Line application) ในส่วนของค่าเปอร์เซ็นต์การผลิตไฟฟ้าของแผงนั้นจะพิจารณาจากกำลังผลิต ณ ขณะนั้นเทียบกับกำลังผลิตสูงสุดของแผงที่สามารถผลิตได้ โดยค่าเปอร์เซ็นต์การผลิตไฟฟ้าของแผงสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1) และรูปแบบการทำงานโดยรวมของระบบสามารถแสดงได้ในภาพที่ 1

$$PG_{(PV)} = \frac{P_{(Real)} \times 100}{P_{(PV Max)}} \% \quad (1)$$

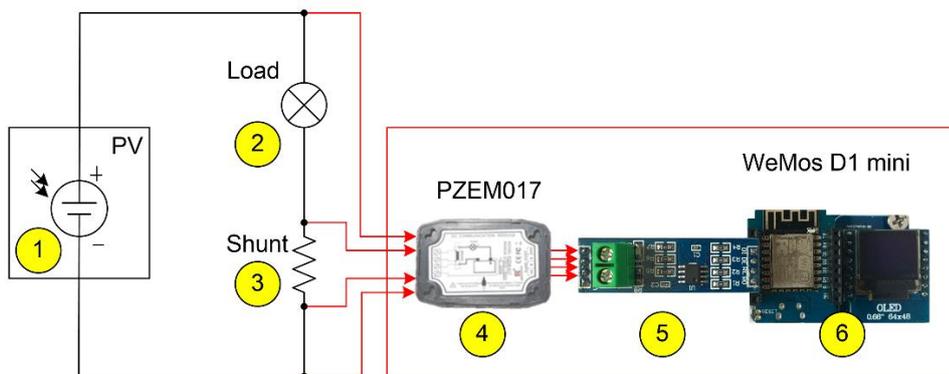
โดยที่  $PG_{(PV)}$  คือ เปอร์เซ็นต์การผลิตไฟฟ้าของแผง (%),  $P_{(Real)}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงของแผงที่จ่าย ณ ขณะนั้น (W),  $P_{(PV Max)}$  คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงที่จ่ายได้ (W)



ภาพที่ 1 รูปแบบการทำงานเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะสำหรับการติดตามสมรรถนะ  
แผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

### 3.2 การกำหนดวัสดุอุปกรณ์ในงานวิจัย

วัสดุอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะของแผงผลิต  
ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และลักษณะการต่อวงจรนั้นสามารถแสดงได้ในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 อุปกรณ์หลักและการเชื่อมต่ออุปกรณ์เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

ซึ่งจากภาพที่ 2 กำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกจากแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ หมายเลข 1 ไป  
ยังโหลดหลอดไฟฟ้า หมายเลข 2 จะถูกต่ออนุกรมกับ Shunt (3) โดยจะมีเซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแส  
และแรงดันไฟฟ้าหมายเลข 4 ซึ่งค่าที่วัดได้จะถูกแปลงสัญญาณด้วยชุดแปลงสัญญาณหมายเลข 5  
และส่งสัญญาณไปยังชุดประมวลผลหมายเลข 6 เพื่อเชื่อมต่อ WIFI และส่งสัญญาณไปยังสมาร์ทโฟน

### 3.3 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะ

ในการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องจะพิจารณาจากค่าความผิดพลาดในการอ่านค่าข้อมูลและความแม่นยำในการส่งค่าแจ้งเตือน โดยการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจะทำการสอบเทียบกับเครื่องวัดไฟฟ้ามัลติมิเตอร์ที่ได้มาตรฐาน รุ่น UNI-T UT33C+ สำหรับค่ากระแสจะทำการสอบเทียบกับเครื่องวัดมัลติมิเตอร์ LuZino รุ่น 7000728 โดยค่าความผิดพลาดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$\% Error = \left| \frac{Value_{(Pototype)} - Value_{(Standard)}}{Value_{(Standard)}} \right| \times 100\% \quad (2)$$

โดยที่ % Error คือ ค่าความผิดพลาด,  $Value_{(Pototype)}$  คือ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดต้นแบบ,  $Value_{(Standard)}$  คือ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน

สำหรับการทดสอบการแจ้งเตือนจะพิจารณาจากค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่ตั้งไว้เทียบกับผลการแสดงข้อความการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน โดยค่าที่ใช้ในการทดสอบการแจ้งเตือนนั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งค่าควบคุมที่ตั้งไว้ใช้ในการทดสอบเท่านั้นโดยในการนำไปใช้งานจริงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสมของข้อจำกัดของแผงและระบบการผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 1 ค่าควบคุมสำหรับการแจ้งเตือน

ชนิดค่าควบคุม	แรงดันไฟฟ้าต่ำ	กระแสไฟฟ้าเกินพิกัด
ค่าควบคุม	11 V	0.8 A

### 3.4 การพยากรณ์กำลังผลิตเพื่อวางแผนรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลด

ในการพยากรณ์กำลังผลิตสะสมนั้นมีความสำคัญในการจัดการบริหารของระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งได้มี Isha & Sunita (2019) ได้ทำการศึกษาการตรวจสอบแผงโซลาร์เซลล์และการทำนายพลังงานสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ สำหรับการพยากรณ์กำลังผลิตสะสมในงานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้วิธีการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายภายใต้การวิเคราะห์หอนุกรมเวลา โดยสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายนั้นสามารถแสดงได้ในสมการที่ (3) และจากสมการที่ (3) ค่าตัวแปร  $A$  และ  $B$  สามารถหาได้จากสมการที่ (4) และ (5)

$$Y_i = A + BX_i \quad (3)$$

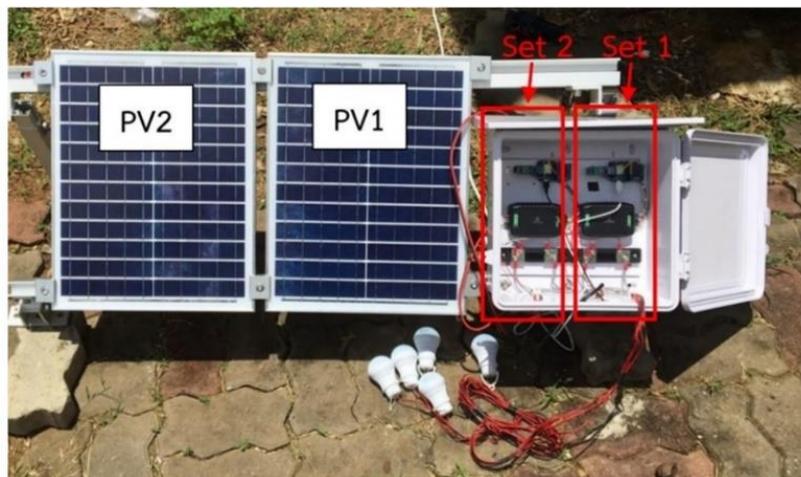
$$A = \bar{Y} - B\bar{X} \quad (4)$$

$$B = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n(\bar{X})^2} \quad (5)$$

โดยที่  $Y_i$  คือ ตัวแปรตาม,  $X_i$  คือ ตัวแปรอิสระ,  $A$  คือ ค่าคงที่หรือจุดตัดบนแกน  $y$ ,  $B$  คือ ค่าความชัน (slope),  $X$  คือ ชุดข้อมูลของ  $X$ ,  $Y$  คือ ชุดข้อมูลของ  $Y$ ,  $n$  คือ จำนวนของชุดข้อมูล,  $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ยชุดข้อมูลของ  $X$ ,  $\bar{Y}$  คือ ค่าเฉลี่ยชุดข้อมูลของ  $Y$

#### 4. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาวิจัยนั้นได้กำหนดการทดสอบในการทำงานของเครื่องโดยได้ออกแบบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะขึ้นมา 2 ชุดในการติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละแผง ซึ่งขนาดของแผงนั้นมีขนาด 20 W และแรงดันแผงนั้นอยู่ที่ 12Vdc และกระแสสูงสุดอยู่ที่ 1.66 A โดยทั้งสองแผงต่อกันแบบขนานและจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดซึ่งในการทดสอบได้ใช้โหลดหลอดไฟฟ้าขนาด 3 W จำนวน 5 หลอดเพื่อศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงและผลการติดตามสมรรถนะของแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากเครื่องวัดทั้ง 2 นี้ ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยผลการทดสอบนั้นสามารถแบ่งหัวข้อออกเป็นดังนี้



ภาพที่ 3 การติดตั้งเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากับชุด PV

##### 4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพความเที่ยงตรงในการอ่านค่า

ในการทดสอบประสิทธิภาพความเที่ยงตรงในการอ่านค่านี้จะทำการสอบเทียบกับเครื่องวัดไฟฟ้ามัลติมิเตอร์ ซึ่งค่าที่จะทำการสอบเทียบประกอบด้วย ค่าความผิดพลาดในการอ่าน ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และค่ากระแสไฟฟ้า (I) โดยผลการศึกษาได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 และในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาค่าความผิดพลาดการอ่านค่าเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชุดที่ 1 บนสมาร์ตโฟน

โหลด (W)	เครื่องวัดมัลติมิเตอร์		เครื่องต้นแบบ		%ค่าความผิดพลาด	
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
3	9.71	0.06	9.63	0.06	0.82	0.00
6	9.25	0.06	9.19	0.06	0.65	0.00
9	11.57	0.16	11.61	0.16	0.35	0.00
12	11.65	0.54	11.55	0.56	0.86	3.70
15	11.96	0.89	11.93	0.91	0.25	2.25
ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ )					0.45	1.19
ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $S.D.$ )					0.51	1.71

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาค่าความผิดพลาดการอ่านค่าเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชุดที่ 2 บนสมาร์ตโฟน

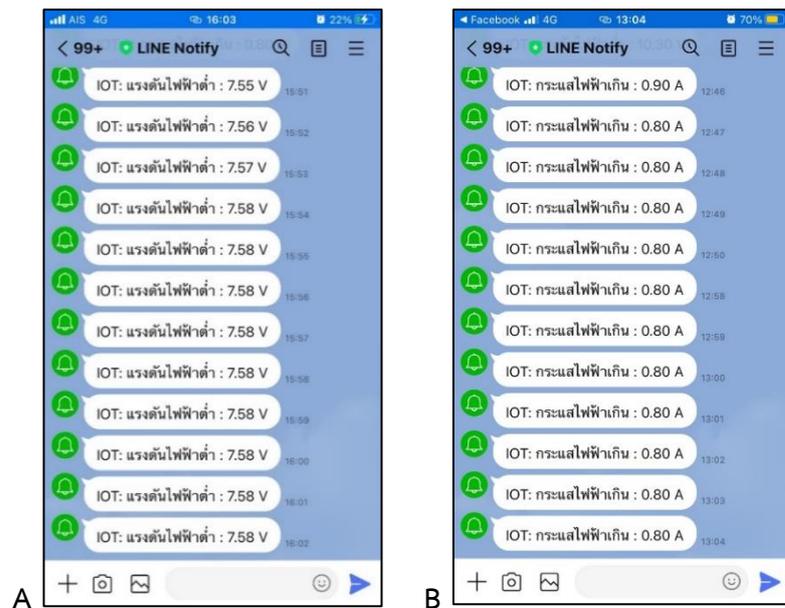
โหลด (W)	เครื่องวัดมัลติมิเตอร์		เครื่องต้นแบบ		%ค่าความผิดพลาด	
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
3	13.15	0.23	13.05	0.24	0.76	4.35
6	12.71	0.40	12.67	0.41	0.31	2.50
9	12.49	0.40	12.41	0.41	0.64	2.50
12	11.98	0.52	11.9	0.53	0.67	1.92
15	11.78	0.83	11.73	0.84	0.42	1.20
ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ )					0.56	2.50
ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $S.D.$ )					0.19	1.17

โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของเครื่องนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ (2) ในการทดสอบนั้นจะทำการอ่านค่าที่แสดงผลบนหน้าจอสมาร์ตโฟนซึ่งในการทดสอบนั้นได้ทำการทดสอบกับโหลด 5 ระดับที่แตกต่างกัน โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดตรวจวัดกำลังไฟฟ้าสำหรับแผงที่ 1 นั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 0.45 % ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.51 และ ค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยในการอ่านค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 1.19 % ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.71 และสำหรับผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุด

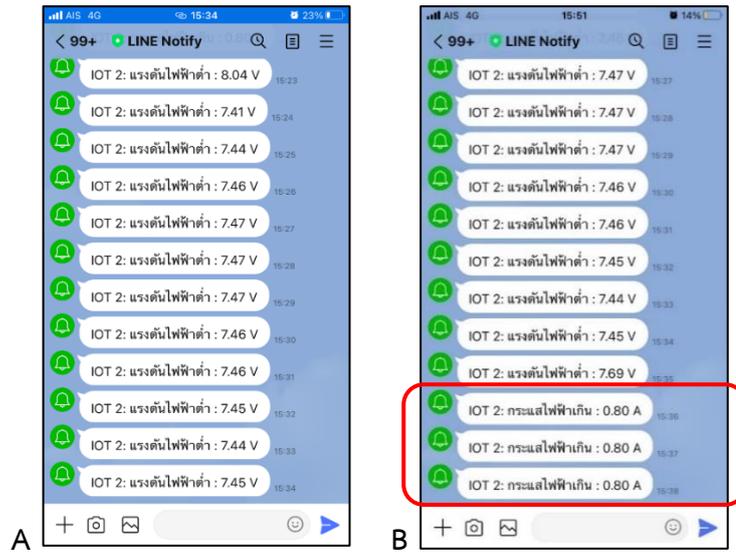
ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าสำหรับแผงที่ 2 นั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 โดยพบว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 0.56 % ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.19 และค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยในการอ่านค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 2.50 % ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.17

#### 4.2 ผลการทดสอบการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ของเครื่องวัด

ผลการทดสอบการแจ้งเตือนของเครื่องวัดทั้งสองกับระบบในกรณีแผงผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงนั้นมีแรงดันต่ำกว่าค่าที่กำหนดและกระแสไฟฟ้าสูงกว่าค่าที่กำหนดโดยค่าที่ใช้ควบคุมนั้นได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยทำการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง และผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของฟังก์ชันการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ พบว่าสามารถทำงานได้ทั้ง 30 ครั้ง ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานในการแจ้งเตือนนั้นคิดเป็น 100 % โดยตัวอย่างข้อความการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ของเครื่องวัดทั้ง 2 ชุด สามารถแสดงได้ใน ภาพที่ 4 และภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ข้อความการแจ้งเตือน (A) แรงดันไฟฟ้าต่ำ และ (B) กระแสไฟฟ้าสูง ของเครื่องวัดชุดที่ 1



ภาพที่ 5 ข้อความการแจ้งเตือน (A) แรงดันไฟฟ้าต่ำ และ (B) กระแสไฟฟ้าสูง ของเครื่องวัดชุดที่ 2

### 4.3 ผลการทดสอบการติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์

การทดสอบการติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะทำการติดตั้งเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และทำการบดบังแสงที่ละ 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่แผงในขณะที่จ่ายโหลดคงที่ 15 W โดยผลการศึกษาได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาการติดตามสมรรถนะของแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของชุดวัดที่ 1

เปอร์เซ็นต์พื้นที่แผง ที่ถูกบดบัง	ข้อมูลการตรวจวัดสมรรถนะที่แสดงผลบนสมาร์ตโฟน			
	V	I	W	เปอร์เซ็นต์การผลิตไฟฟ้าของแผง PV1
0	11.94	0.91	10.80	54%
25	11.24	0.66	7.40	37%
50	11.55	0.59	6.80	34%
75	10.89	0.56	6	30%
100	9.63	0.06	0.50	2.50%

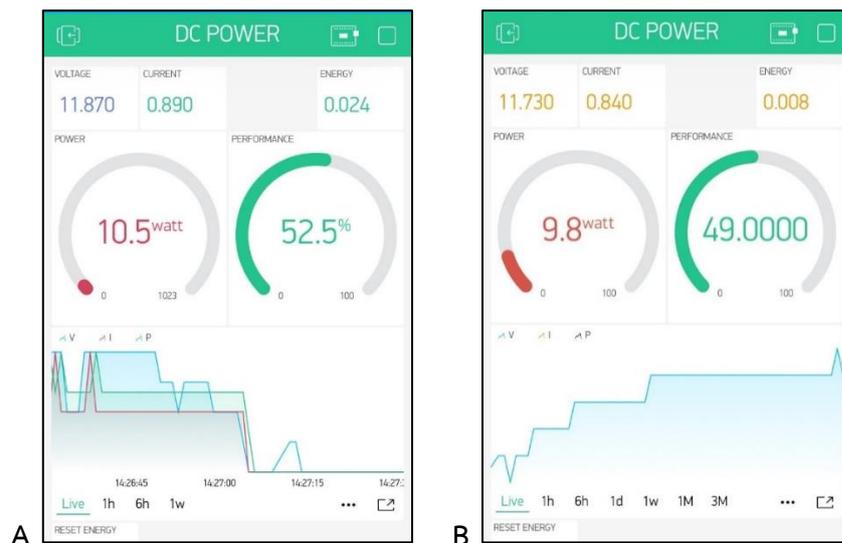
ซึ่งในตารางที่ 4 ได้แสดงผลการติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ PV1 ของชุดวัดที่ 1 พบว่าขณะที่ยังไม่มีสิ่งของบดบังแผง ระดับแรงดันอยู่ที่ 11.94 V กระแสไหลอยู่ที่ 0.91 A กำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 10.80 W โดยเปอร์เซ็นต์การผลิตไฟฟ้าของแผง PV1 อยู่ที่ 54% แต่เมื่อมี

สิ่งของบดบังตามสัดส่วน พบว่าระดับความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟาลดลงอย่างต่อเนื่องตามเปอร์เซ็นต์พื้นที่แผงที่ถูกบดบัง

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาการติดตามสมรรถนะของแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของชุดวัดที่ 2

เปอร์เซ็นต์พื้นที่แผง ที่ถูกบดบัง	ข้อมูลการตรวจวัดสมรรถนะที่แสดงผลบนสมาร์ทโฟน			
	V	I	W	เปอร์เซ็นต์การผลิตไฟฟ้าของแผง PV2
0	11.73	0.84	9.80	49%
25	11.71	0.66	7.70	37%
50	11.55	0.59	6.80	34%
75	10.86	0.56	6.08	30%
100	9.64	0.06	0.50	2.50%

สำหรับตารางที่ 5 ได้แสดงผลการติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ PV2 ของชุดวัดที่ 2 พบว่าขณะที่ยังไม่มีสิ่งของบดบังแผงระดับแรงดันอยู่ที่ 11.73 V กระแสไหลอยู่ที่ 0.84 A กำลังไฟฟ้ายูอยู่ที่ 9.80 W โดยเปอร์เซ็นต์การผลิตไฟฟ้าของแผง PV2 อยู่ที่ 54% แต่เมื่อมีสิ่งของบดบังพบว่าระดับความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟาลดลงอย่างต่อเนื่องตามเปอร์เซ็นต์พื้นที่แผงที่ถูกบดบัง โดยตัวอย่างการแสดงผลบนหน้าจอสมาร์ทโฟนนั้นได้แสดงไว้ในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 หน้าจอการแสดงผลบนสมาร์ทโฟนด้วยแอปพลิเคชันบลิงค์ (A) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชุดที่ 1 และ (B) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชุดที่ 2

#### 4.4 ผลการการตรวจวัดปริมาณกำลังไฟฟ้าสะสม (Wh) ที่โหลด 15 W และการพยากรณ์

ผลการทดสอบการตรวจวัดปริมาณกำลังไฟฟ้าสะสม (Wh) นั้นได้ทำการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนานเพื่อจ่ายไฟให้กับโหลดขนาด 15 W โดยผลการทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการตรวจวัดปริมาณกำลังไฟฟ้าสะสม (Wh) รายชั่วโมงของแต่ละแผง

Hrs. (X)	1	2	3	4	5	Unit
PV 1 (Y1)	6.30	6.50	7.10	6.70	6.40	Wh
PV 2 (Y2)	6.20	6.70	7.20	6.80	6.50	Wh

จากผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าสะสมของแต่ละแผงในตารางที่ 6 สามารถนำมาสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นได้ดังได้แสดงในสมการที่ (3) เพื่อพยากรณ์ความสามารถกำลังผลิตของแผง โดยสมการถดถอยเชิงเส้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 1 และ 2 นั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (6) และ (7) ตามลำดับ โดยค่าการพยากรณ์ในชั่วโมงที่ 6, 7 และ 8 สามารถแสดงผลการพยากรณ์ได้ดังตารางที่ 7

$$Y_1 = 6.48 + 0.04X_1 \quad (6)$$

$$Y_2 = 6.47 + 0.07X_2 \quad (7)$$

ตารางที่ 7 ผลการพยากรณ์กำลังไฟฟ้ายรายชั่วโมงของแต่ละแผงที่สามารถผลิตได้ล่วงหน้า 3 ชั่วโมง

Hrs. (X)	6	7	8	Unit
PV 1 (Y1)	6.72	6.76	6.80	Wh
PV 2 (Y2)	6.94	6.94	6.95	Wh
Total	13.66	13.70	13.75	Wh

จากตารางที่ 7 จะทำให้ทราบถึงกำลังผลิตที่จะผลิตได้ของแต่ละแผงและกำลังผลิตโดยรวมของระบบในชั่วโมงถัดไปว่าเป็นเท่าไร เช่น ชั่วโมงที่ 6 ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 1 กำลังผลิตโดยรวมอยู่ที่ 6.72 Wh สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 2 กำลังผลิตโดยรวมอยู่ที่ 6.94 Wh และระบบผลิตไฟฟ้ามีกำลังไฟฟ้าผลิตโดยรวมทั้งหมดอยู่ที่ 13.66 Wh เป็นต้น

ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการจัดโหลดในระบบให้เหมาะสมกับกำลังผลิตโดยเฉพาะหากเป็นโรงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลังจะทำให้ระบบสามารถประเมินได้ว่าขีดความสามารถของโรงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่นั้นมีความสามารถในการ



รองรับโหลดเท่าใด เพื่อใช้เป็นข้อมูลการจัดการและควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงของโหลดในพื้นที่ต่อไป

## 5. สรุปผลและการอภิปรายผล

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะสำหรับติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นี้ ได้ถูกออกแบบให้สามารถแสดงผลผ่านสมาร์ตโฟนบนแอปพลิเคชันบลิงค์แบบเรียลไทม์ ซึ่งในการแสดงผลบนหน้าจอสมาร์ตโฟนนั้นจะประกอบไปด้วย ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าสะสม และค่าเปอร์เซ็นต์การผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้หากแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำกว่าค่าที่กำหนดหรือค่ากระแสของแผงสูงกว่าค่าที่กำหนดเครื่องวัดนี้สามารถส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลระบบได้โดยตรงผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพนั้นได้ทำการสร้างเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะต้นแบบขึ้นมา 2 เครื่องเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานของเครื่องโดยผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้ เครื่องวัดชุดที่ 1 สำหรับตรวจวัดแผงที่ 1 โดยค่าความผิดพลาดของแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 0.45% และค่าความผิดพลาดของกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 1.19% และเครื่องวัดชุดที่ 2 สำหรับตรวจวัดแผงที่ 2 โดยค่าความผิดพลาดของแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 0.56% และค่าความผิดพลาดของกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 2.50% ซึ่งค่าความผิดพลาดของทั้งสองเครื่องนั้นอาจเกิดขึ้นจากค่าความต้านทานแฝงที่เกิดจากการใช้ขนาดสายไฟและอุปกรณ์เชื่อมต่อสำหรับการตรวจวัดค่าต่างๆ ในระบบที่ไม่เหมาะสมซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดค่าผิดพลาดในการวัดได้ และสำหรับการแก้ไขควรมีการเลือกขนาดของสายไฟที่เหมาะสมและอุปกรณ์เชื่อมต่อที่มีคุณภาพ และสำหรับฟังก์ชันการแจ้งเตือนของทั้งสองเครื่องนั้นอยู่ที่ 100 % นอกจากนี้ในการศึกษาายังได้ทดสอบการติดตามสมรรถนะการจ่ายพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทดสอบกรณีเซลล์แสงอาทิตย์นั้นถูกบังแสงพบว่าเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะนี้สามารถติดตามสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นด้วยคุณสมบัติในการติดตามสมรรถนะการจ่ายพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะนี้จะสามารถช่วยให้ผู้ดูแลระบบทราบข้อมูลและการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาแบบเรียลไทม์และสามารถนำไปวางแผนในการเข้าตรวจสอบ ซ่อมบำรุงได้ถูกจุดและรวดเร็วขึ้น รวมถึงยังสามารถนำข้อมูลกำลังผลิตมาใช้เป็นข้อมูลในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าสะสมล่วงหน้าได้เพื่อใช้วางแผนในการจัดโหลดในระบบให้เหมาะกับกำลังผลิต และยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุในการเข้าตรวจสอบบำรุงรักษาสำหรับผู้ดูแลได้อีกทาง และสำหรับข้อเสนอแนะในการปรับปรุงระบบนั้นควรมีการประเมินระบบโครงข่ายในการรับส่งข้อมูลและควรมีการเก็บข้อมูลแสงแดดรวมถึงเพิ่มเวลาในการทดสอบเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของแผงได้ดียิ่งขึ้น

## 6. กิตติกรรมประกาศ

กลุ่มผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทดสอบและขอขอบคุณคณาจารย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำต่างๆ จนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี

## 7. เอกสารอ้างอิง

- Albert, G., Diana, L., & David, L. B. T. (2020). Real time online monitoring of solar power plants voltage, current, power, and efficiency to Smartphone, Web, and Email. **International Journal of Scientific & Technology Research**, 9(10), 80-86.
- Aparupa, S., Vishal, B., Sujay, S., Rohit, K., & Rajendra, G. (2018). Design of solar rooftop plant for JSSATEN. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, 5(6), 1186-1192.
- Benjamin, O. O., Omolola, A. O., & Nnamdi, N. (2022). Solar panels dirt monitoring and cleaning for performance improvement: A systematic review on smart systems. **Sustainability**, 14, 1-27.
- Lavanya, D., Abarna, M., Janani, M., & Preethika, K. (2019). Solar panel monitoring system using smart phone technology. **International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering**, 8(3), 560-566.
- Fatmah, A. M., Mariam, M., & Yomna, O. S. (2022). Integration of solar energy supply on smart distribution board based on IoT system. **Designs**, 6, 1-9.
- Ghedhan, B., Fengshou, G., Laith, F., & Andrew, B. (2022). Enhancing virtual real-time monitoring of photovoltaic power systems based on the internet of things. **Electronics**, 11, 1-16.
- Isha, M. S., & Sunita, S. B. (2019). Solar panel monitoring and energy prediction for smart solar system. **International Journal of Advances in Applied Sciences**, 8(2), 136-142.
- Monika, P. T. & Nilesh, C. (2019). An IOT based smart solar photovoltaic remote monitoring system. **International Journal of Engineering Research & Technology**, 8(9), 235-240.



- Muhammad, S. M. N., & Mohd, H. H. M. R. (2022). Development of dual axis solar tracker with IoT monitoring system. **Journal of Engineering Technology**, 10, 156-162.
- Narumon, W., & Chaisit, W. (2022). A real-time prototype of a water level monitor and wide area early flood warning. **SNRU Journal of Science and Technology**, 14(1), 19-24.
- Opeyeolu, T. L., & Moyahabo, D. R. (2021). Efficiency Improvement in polycrystalline solar panel using thermal control water spraying cooling. **Procedia Computer Science**, 180, 239–248.
- Sheikh, H. C., Nazmul, H., Sakil, A., & Abu, Z. Md. T. I. (2021). A study of IOT based real-time solar power remote monitoring system. **International Journal of Ambient Systems and Applications**, 9, 27-36.
- Waheb, A. J., Sanmathy, A., Tajul, A. A. R., & Muhd, F. M. F. (2022). Smart energy meter based on a long-range wide-area network for a stand-alone photovoltaic system. **Expert Systems with Applications**, 197, 1-18.
- Weerathum, C., & Somchat, S. (2022). Applications of energy monitoring using the IoT. **SNRU Journal of Science and Technology**, 14(2), 1-9.
- Yuvaraja, M. M., Nagaraj, M. J., Manigandan, T., & Srinath, T. (2017). Design, validation and monitoring of 1MW solar rooftop on-grid PV system. **International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering**, 6(6), 4569-4575.



การพัฒนาระบบคัดกรองโควิด-19 ก่อนเข้าสถานที่ทำงาน  
ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก

DEVELOPMENT OF COVID-19 SCREENING SYSTEM FOR ENTERING  
THE WORKPLACE USING DEEP NEURAL NETWORK

พิสุทธิ์ นุ่มเกลี้ยง, กัลยา คำหาล้า, เอกลักษณ์ สุมณพันธ์\*

Pisut Numkleung, Kalya Kamlao, Ekkalak Sumonphan\*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก อ.เมือง จ.ตาก ประเทศไทย 63000

Engineering Faculty, Rajamangala University of Technology Lanna Tak Campus, Muang, Tak, Thailand, 63000

\*Corresponding author e-mail: ekkalak@rmutl.ac.th

วันที่รับระบบ 9 มีนาคม 2566

วันที่แก้ไขบทความ 23 เมษายน 2566

วันที่ตอบรับบทความ 29 เมษายน 2566

บทคัดย่อ

การคัดกรองบุคคลเข้าสถานที่ทำงานเพื่อยับยั้งการแพร่กระจายเชื้อโควิด-19 สิ่งสำคัญคือ การตรวจสอบการสวมหน้ากากอนามัย ระดับอุณหภูมิในร่างกายปกติ และต้องล้างมือด้วยเจลแอลกอฮอล์ ก่อนเข้าพื้นที่ทำงาน งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการตรวจสอบเบื้องต้น ด้วยการตรวจเช็คการสวมหน้ากากอนามัยด้วยการประมวลผลภาพ โดยใช้หลักการโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก แล้วประมวลผลด้วยบอร์ตราสเบอร์รี่พาย แจ็งเต็อนด้วยเสียงพูด และมีการตรวจเช็คอุณหภูมิผ่านเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สาย โดยมีการแสดงผลผ่านจอแอลซีดี เมื่อผ่านการตรวจสอบการสวมหน้ากากอนามัยแล้ว ระบบจะแจ้งให้ผู้รับบริการทำการรับเจลแอลกอฮอล์ที่มีอัลตราโซนิคเซนเซอร์ตรวจจับฝ่ามือ เพื่อสั่งการเซอร์โวมอเตอร์ทำการจ่ายเจลแอลกอฮอล์ เมื่อผู้ใช้บริการผ่านการคัดกรอง จากนั้นแขนกลจะทำการเปิดทางให้เข้าใช้บริการ ผลการทดสอบอัลกอริทึมบนคอมพิวเตอร์ในการตรวจพบหน้ากากอนามัย ค่าความถูกต้องสูงสุดอยู่ที่ 97.2% สำหรับการวัดประสิทธิภาพของระบบคัดกรองบุคคลเข้าสถานที่ทำงานอยู่ที่ 21.54 วินาทีต่อบุคคล พบว่าระบบสามารถนำไปใช้งานคัดกรองบุคคลเข้าสถานที่ทำงานได้จริง

**คำสำคัญ:** โควิด-19, การตรวจจับหน้ากากอนามัย, โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก

## Abstract

People entering the workplace should be screened for COVID-19 by having their masks checked, their body temperatures taken, and their hand hygiene kept with alcohol gel. In order to detect mask wearing, this study applied image processing and a deep learning neural network using a Raspberry Pi board as a technology for preliminary assessments. A wireless temperature sensor and spoken instructions were also used to display the body temperature on an LCD panel. When someone passed the mask-wearing inspection, the system alerted them to use the gel dispenser, which was turned on by a servo motor instruction and a palm detecting ultrasonic sensor. The gate barrier would open to provide entrance to the service once the screening was complete. The computer algorithm used in this study achieved a 97.2% accuracy rate in detecting masks. The effectiveness of the workplace screening system was 21.54 seconds per person. It was found that the system could be used to screen people entering the workplace.

**Keywords:** Covid-19, Face mask detection, Deep neural network

## 1. บทนำ

สถานการณ์โรคระบาดโควิด-19 เป็นภัยคุกคามส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตความเป็นอยู่ของทุกคนในประเทศไทยและทั่วโลก การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 (สยามพร และคณะ, 2563) โดยนักวิจัยได้ประเมินความรุนแรงมากขึ้นอย่างต่อเนื่องเพราะการแพร่กระจายของโรคเกิดขึ้นได้ง่ายจากคนสู่คน มีประชากรอีกหลายคนที่ยังไม่ได้เข้ารับการตรวจหาเชื้อ นั่นหมายถึงว่าอาจจะมีผู้ติดเชื้อบางรายอาจไม่แสดงอาการของโรค จึงทำให้ต้องมีการเฝ้าระวังตนเองและผู้คนรอบข้าง วิธีป้องกันการแพร่ระบาดของโควิด-19 คือ ล้างมือบ่อยๆ โดยใช้สบู่ และน้ำ หรือเจลล้างมือที่มีส่วนผสมหลักเป็นแอลกอฮอล์ การรักษาระยะห่างที่ปลอดภัยจากผู้ที่ไม่ไอหรือจาม สวมหน้ากากอนามัยเมื่อเว้นระยะห่างไม่ได้ การไม่สัมผัสตา จมูกหรือปาก ปิดจมูก และปากด้วยข้อพับด้านใน ข้อศอกหรือกระดาดขาขณะไอหรือจาม เก็บตัวอยู่บ้านเมื่อรู้สึกไม่สบาย และหากมีไข้และหายใจลำบากโปรดไปพบแพทย์

ปัจจุบันมีงานวิจัยการประมวลผลภาพโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกหลายด้าน ยกตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ธนบัตรปลอมด้วยภาพถ่ายผ่านสมาร์ทโฟนโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (ณัฐวดี และคณะ, 2563) เป็นการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกคอนโวลูชันที่มีโครงสร้าง MobileNet ผ่านไลบรารี Tensorflow เพื่อทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายธนบัตรปลอม แต่ระบบดังกล่าวจำเป็นต้องถ่ายภาพแล้วนำมาประมวลผล ไม่สามารถประมวลผลได้ในเวลาจริง งานวิจัยการ



ปรับปรุงประสิทธิภาพในการจำแนกภาพด้วยโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน โดยใช้เทคนิคการเพิ่มภาพ (พิมพา, 2562) ทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันด้วยการสร้างภาพเทียมช่วยให้ประสิทธิภาพการจำแนกภาพแม่นยำขึ้น ในการตรวจจับการสวมหน้ากากอนามัยจากภาพเคลื่อนไหวผ่านกล้องวิดีโอในช่วงเวลาจริง (Rizki & Esmeralda, 2021) ได้ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน จำเป็นต้องใช้อัลกอริทึม RetinaFace เพื่อระบุส่วนใบหน้าจากภาพเข้าสู่การคัดแยกการสวมหน้ากากด้วย CNN ต่อไป ในการประมวลผลโครงข่ายประสาทเทียมด้วยโครงสร้างแบบ MobileNet V2 ส่งผลให้สามารถประมวลผลบนอุปกรณ์ขนาดเล็กที่มีหน่วยประมวลผลจำกัดได้ (ราเมศวร์ และคณะ, 2564) ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกแบบคอนโวลูชันที่มีโครงสร้างแบบ MobileNet V2 ตรวจจับภาพการสวมหน้ากากอนามัย โดยออกแบบชุดเรียนรู้ระบบจากภาพจำนวน 3,835 ภาพ ได้ความแม่นยำที่ 96.0% (Shivam *et al.*, 2021) และ (Vatsal & Dhruvi, 2021) ได้พัฒนาระบบการตรวจจับภาพหน้ากากอนามัยในช่วงเวลาจริงด้วย MobileNet V2 โดยแปลงภาพสี RGB เป็นภาพสีระดับเทา (Grayscale) ให้มีขนาด 224x224 พิกเซล จากนั้นเข้าสู่การคอนโวลูชันเพื่อสกัดลักษณะเด่นของภาพด้วย MobileNet V2 จากนั้นทำการวัดความแม่นยำของชุดฝึกสอนระบบอยู่ที่ 98.5% และชุดทดสอบระบบอยู่ที่ 99% (Trvambak *et al.*, 2022) ได้ประยุกต์ใช้โครงสร้าง MobileNet V2 ร่วมกับภาษาไพทอนและไลบรารี TensorFlow เพื่อพัฒนาชุดเรียนรู้ข้อมูลฝึกสอนและตรวจจับผู้สวมใส่หน้ากากอนามัย ผลจากการวัดประสิทธิภาพเทียบกับโมเดล VGG 16 ชุดเรียนรู้ทดสอบจาก MobileNet V2 ให้ความแม่นยำมากกว่า (Albertus & Raymond, 2022) พัฒนาระบบตรวจจับใบหน้าผู้สวมใส่หน้ากากอนามัยแบบอัตโนมัติ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพโครงสร้างประสาทเทียมโมเดล MobileNet V2 กับ Densenet 121 พบว่า MobileNet V2 มีประสิทธิภาพด้านความแม่นยำและเวลาในการประมวลผลที่เร็วกว่า เพื่อให้การประมวลผลตรวจจับใบหน้าที่สวมใส่หน้ากากอนามัย สามารถต่อยอดนำผลการตรวจจับมาใช้เป็นระบบคัดกรองผู้เข้าสถานที่ในอาคาร (Sufia *et al.*, 2022) ทำการตรวจจับหน้ากากอนามัยจากกลุ่มข้อมูลภาพ 2 ชุด 3834 และ 11800 ภาพ พบว่าโมเดล MobileNet V2 ให้ค่าความแม่นยำกว่า VGG-19 ในทุกกลุ่มข้อมูลภาพ (Shabir *et al.*, 2021) ได้ทำการพัฒนาระบบคัดกรองการแพร่กระจายเชื้อไวรัสโควิด ติดตั้งด้านประตูทางเข้าเพื่อคัดกรองผู้สวมหน้ากากอนามัยและวัดอุณหภูมิแบบไร้การสัมผัส ขั้นตอนการตรวจจับหน้ากากอนามัยได้ใช้โมเดล VGG-16 และ MobileNetV2 ซึ่งให้ค่าความแม่นยำสูงสุดของการทดลอง และระบบยังสามารถเชื่อมข้อมูลไร้สายด้วยหลักการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งเพื่อเก็บข้อมูลผู้ที่ไม่ผ่านการคัดกรอง เพื่อใช้วางแผนการคัดกรอง แต่เนื่องจากการแพร่กระจายเชื้อส่วนหนึ่งจะเกิดจากเชื้อที่ติดมากับบริเวณฝ่ามือ งานวิจัยนี้ไม่ได้กล่าวถึงการรับเจลแอลกอฮอล์ที่ฝ่ามือเพื่อฆ่าเชื้อก่อนผ่านจุดคัดกรอง (Pavan *et al.*, 2021) ได้พัฒนาระบบตรวจจับการสวมใส่หน้ากากอนามัยด้วยโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน เพื่อที่จะผ่านประตูอัจฉริยะ

ควบคุมลอจิกการทำงานผ่าน IFTTT และ ThinkSpeak รายงานผลจำนวนผู้สวมใส่หน้ากากบนสมาร์ตโฟนด้วยหลักการของอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง นอกจากการสวมใส่หน้ากากอนามัยแล้ว บริเวณฝ่ามือเป็นส่วนที่สัมผัสเชื้อโรคโดยตรง (อนุชา และ นตาคม, 2564) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องจ่ายเจลแอลกอฮอล์แบบอัตโนมัติไร้การสัมผัส ตัวเครื่องมีความสูง 1 เมตร ตรวจจับฝ่ามือที่ยื่นมาเข้ามาด้วยอินฟราเรดเซนเซอร์ และใช้ดีซีเกียร์บีบขนาดเล็กทำหน้าที่ดูดจ่ายเจลแอลกอฮอล์ แต่การคัดกรองจากอุณหภูมิในร่างกายบุคคลที่ต้องน้อยกว่า 37.5 °C ถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเพื่อคัดกรองผู้ที่ไม่ใช่เข้าไปภายในสถานที่ดังกล่าวได้

จากกรอบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่ทำการศึกษา ได้สังเกตเห็นความสำคัญทางเทคโนโลยีในการตรวจเช็คการสวมหน้ากากอนามัยผ่านกล้องของตัวเครื่อง โดยมีการแสดงการตรวจจับใบหน้าผ่านจอแอลซีดี แจ้งเตือนด้วยเสียงพูดเมื่อพบผู้ที่สวมหน้ากากอนามัย และมีการตรวจเช็คอุณหภูมิผ่านเซนเซอร์ โดยมีการแสดงผลผ่านจอแอลซีดี แล้วให้ผู้ใช้ทำการรับเจลแอลกอฮอล์ ในช่องรับเจลแอลกอฮอล์ที่มีเซนเซอร์ตรวจจับ เมื่อผู้ใช้บริการผ่านการคัดกรอง จากนั้นแขนก็จะทำการเปิดทางให้เข้าใช้บริการแต่ถ้าไม่สวมหน้ากากอนามัย ระบบจะมีการแจ้งเตือนด้วยเสียงพูดเพื่อให้ผู้ใช้บริการสวมหน้ากากอนามัย และระบบจะหยุดส่งเสียงแจ้งเตือนจนกว่าผู้ใช้บริการจะสวมใส่หน้ากากอนามัย หรือออกจากกล้องตรวจจับ ถ้าอุณหภูมิของผู้ใช้มีค่ามากกว่า 37.5 °C ระบบจะส่งเสียงเตือนผู้ใช้บริการที่ไม่ผ่านการคัดกรอง แขนก็จะไม่เปิดทางให้เข้าใช้งานพื้นที่ จึงทำให้การเฝ้าระวังโรคทำได้สะดวกสบายมากยิ่งขึ้น และลดความเสี่ยงของการติดเชื้อจากโรคระบาด

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพของระบบตรวจจับการสวมหน้ากากอนามัยแบบช่วงเวลาจริง (Real time)

2.2 เพื่อสร้างชุดคัดกรองผู้สวมหน้ากากอนามัย ร่วมกับวัดอุณหภูมิร่างกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ และต้องกดเจลล้างมือแอลกอฮอล์ก่อนเข้าพื้นที่ทำงาน

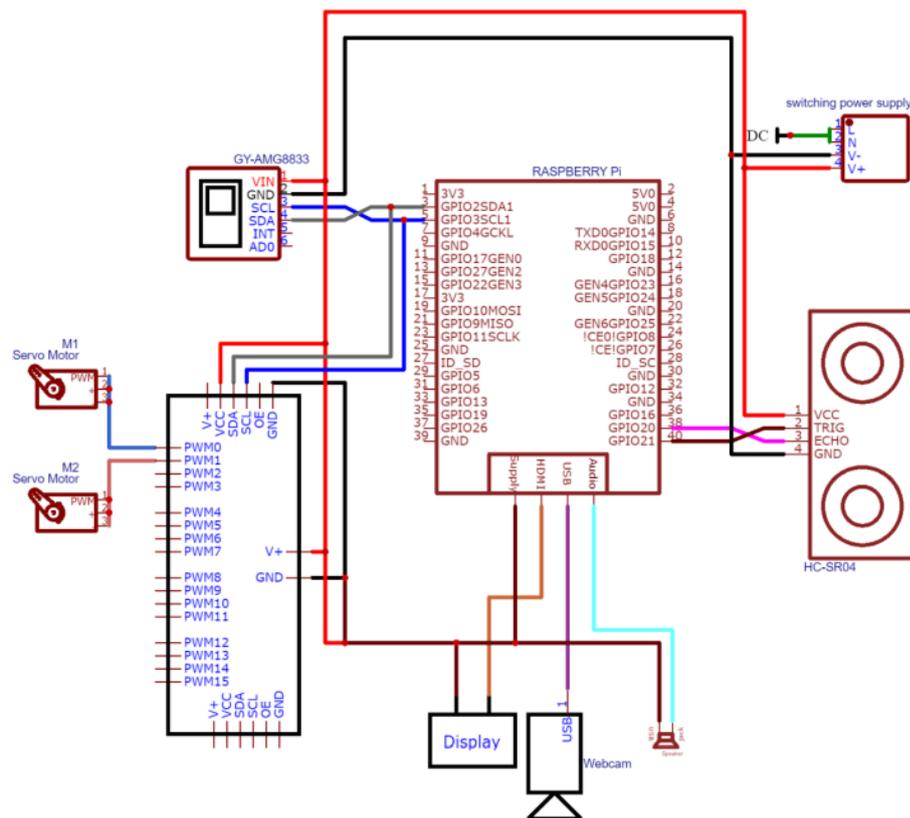
## 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเตรียมข้อมูลภาพและประมวลผลฝึกสอนโมเดล

คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการฝึกสอนโมเดล โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้จะเป็นระบบปฏิบัติการ window 10 64-bit หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Acer NITRO5 AN515-51 Intel(R) Core(TM) i5-7300HQ 2.50 GHz การ์ดจอ (VGA) Intel(R) HD Graphics 630 8261 MB แรม (RAM) 16 GB

### 3.2 การออกแบบวงจรและการเชื่อมต่อชุดฮาร์ดแวร์

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบคัตกรองผู้สวมหน้ากากอนามัย ทำงานร่วมกับชุดคดเจล แอลกอฮอล์ล้างมือที่มีแขนกันทางผ่านเข้าออก หน่วยประมวลผลหลักจะใช้บอร์ดราสเบอร์รี่พาย V4 โมเดล B ต่อร่วมกับอัลตราโซนิกเซนเซอร์ HC-SR04 เพื่อตรวจจับฝ่ามือสำหรับชุดคดเจลล้างมือ ผ่านกลไกการขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์ขับเคลื่อนด้วยสัญญาณ PWM ด้วยบอร์ด PCA9685 ในการอ่านค่าอุณหภูมิร่างกายแบบไร้สัมผัสได้เลือกใช้เซนเซอร์ GY-AMG8833 ที่มีการเชื่อมต่อแบบ I2C การแสดงผลภาพการประมวลผลตรวจจับใบหน้าได้ใช้หน้าจอ LCD เชื่อมต่อผ่านพอร์ต HDMI ส่วนของการส่งเสียงเตือนการสวมใส่หน้ากากอนามัยผ่านลำโพงที่เชื่อมต่อกับพอร์ต Audio และกล้อง Web Camera ความละเอียด 1920x1080 พิกเซล สำหรับวงจรการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์ทั้งหมดแสดงตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์เซนเซอร์และบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ กับบอร์ดราสเบอร์รี่พาย V4 โมเดล B

### 3.3 ซอฟต์แวร์สำหรับการโปรแกรม

เพื่อทำการโปรแกรมการตรวจจับการสวมหน้ากากอนามัย ได้ใช้ภาษาไพทอน (Python) ทำการโปรแกรมบนบอร์ดราสเบอร์รี่พาย ไลบรารีประมวลผลภาพด้วย OpenCV ร่วมกับไลบรารี TensorFlow ที่ใช้ในการเรียนรู้เชิงลึก สำหรับการฝึกสอนชุดภาพผู้สวมใส่หน้ากากอนามัยได้เลือกใช้

โครงสร้าง MobileNet V2 ที่เป็นโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกสำหรับประมวลผลบนอุปกรณ์พกพาที่มีหน่วยประมวลผลขนาดเล็ก

### 3.4 การเตรียมชุดข้อมูลภาพการสวมใส่หน้ากากอนามัย

#### 3.4.1 ขั้นตอนการเตรียมรูปภาพสวมหน้ากากอนามัยกับไม่สวมหน้ากากอนามัย

ขั้นตอนนี้เพื่อใช้ฝึกสอนโมเดลจากข้อมูลรูปภาพ 1) Kaggle dataset (Rizki *et al.*, 2021) จำนวน 2000 ภาพ 2) Social media จำนวน 1000 ภาพ 3) การถ่ายจากโทรศัพท์ (ได้รับอนุญาตจากเจ้าของภาพ) จำนวน 500 ภาพ และ 4) รูปตามสื่อวิดีโอทดสอบ จำนวน 500 ภาพ รวมทั้งหมด จำนวน 4,000 ภาพ แสดงตัวอย่างตามภาพที่ 2 (ก) และ (ข) โดยทำการแบ่งรูปเพื่อฝึกสอนโมเดลและทดสอบ ดังตารางที่ 1 ลักษณะภาพจะเป็นหน้าบุคคลที่ไม่มีการเพิ่มมิติข้อมูลภาพ โดยข้อมูลภาพก่อนนำไปเข้าส่วนประมวลผลการฝึกสอนระบบนั้นประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน (Shivam *et al.*, 2021) 1) จากขนาดภาพที่มีความแตกต่างกันจะมีการปรับขนาดให้เป็น  $224 \times 224$  พิกเซล 2) จากภาพที่ทำการปรับขนาดจะถูกคัดแยกเป็นผลลัพธ์ของการสกัดคุณลักษณะเด่นในรูปตัวเลขเก็บค่าในรูปแบบอาร์เรย์รูปแบบ 2 มิติ 3) นำค่าอาร์เรย์ที่ได้ไปใช้ประมวลผลบนหลักการถ่ายโอนการเรียนรู้ (Transfer learning) ด้วย MobileNet V2 เป็นโมเดลตั้งต้นที่ผ่านการฝึกสอนกับชุดข้อมูลขนาดใหญ่ นำมาใช้ฝึกสอนต่อกับชุดข้อมูลที่มีจำนวน 2 คลาส 4) ขั้นตอนสุดท้ายทำการระบุชื่อคลาสจำนวน 2 คลาสที่แสดงถึงการสวมและไม่สวมหน้ากากอนามัย



(ก) สวมหน้ากากอนามัย

(ข) ไม่สวมหน้ากากอนามัย

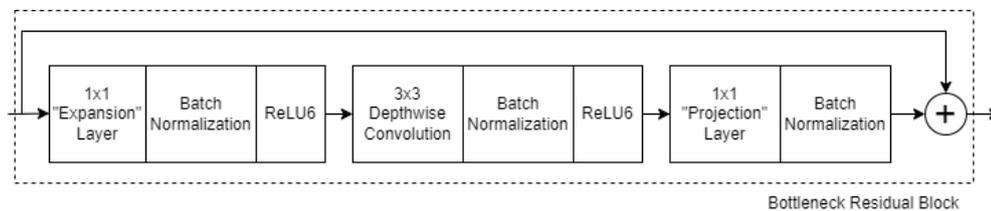
ภาพที่ 2 ตัวอย่างกลุ่มภาพใบหน้าที่สวมและไม่สวมหน้ากากอนามัยที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 1 ชุดข้อมูลรูปภาพสำหรับออกแบบทดสอบระบบฝึกสอน

ประเภท	จำนวนรูป		
	ฝึกสอน	ทดสอบ	รวม
สวมใส่หน้ากากอนามัย	1,500	500	2,000
ไม่สวมใส่หน้ากากอนามัย	1,500	500	2,000
รวม	3,000	1,000	4,000

### 3.4.2 หลักการทำงานแบบจำลองการฝึกสอนและทดสอบโมเดล

หลักการทำงานในส่วนของการฝึกสอนโมเดล (Training data) บนคอมพิวเตอร์ เพื่อหาโมเดลที่ดีที่สุดในการนำไปใช้งานบนระบบ โดยเป็นการฝึกสอนโมเดลเพื่อจำแนกการสวมใส่หน้ากากอนามัย โดยนำรูปไปเข้ากระบวนการของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน และคัดแยกลักษณะเด่นจากใบหน้าที่สวมหน้ากากอนามัย และใบหน้าที่ไม่สวมหน้ากากอนามัยด้วย MobileNet V2 ตามภาพที่ 3 โครงสร้างเลเยอร์ของโมเดล MobileNet V2 ทำให้จำนวนมิติลดลงในเลเยอร์นี้ เรียกว่าเลเยอร์การฉายภาพ (Projection layer) ซึ่งแสดงข้อมูลที่มีจำนวนมิติสูงไปยังเทนเซอร์ที่มีจำนวนมิติต่ำกว่ามาก



ภาพที่ 3 โครงสร้างเลเยอร์โมเดล MobileNet V2

(Matthijs, 2018)

จากชุดข้อมูลภาพสี RGB ที่ได้จากกล้องจะถูกปรับให้เป็นภาพสีระดับเทา (Grayscale) ขนาด 224x224 พิกเซล จากนั้นหาค่าเฉลี่ยแบบ CNN ด้วย Kernel ขนาด 7x7 พิกเซล ผ่านการคอนโวลูชันตามสมการที่ (1)

$$M(i, j) = \sum_m \sum_n I(i + m, n + j)K(m, n) \quad (1)$$

โดยที่  $M(i, j)$  คือ ผลลัพธ์เมทริกซ์ของการทำคอนโวลูชัน  
 $I$  คือ ภาพอินพุต



K คือ เคอร์เนล  
m, n คือ จำนวนแถวและหลักของภาพ

จากสมการที่ (1) ขนาดเมทริกซ์ภาพเมื่อผ่านการคอนโวลูชันแล้วจะมีขนาด 32x32 จากนั้นทำการปรับให้อยู่ในอาร์เรย์ขนาด 1024x1 (ราเม และคณะ, 2564) เมื่อได้ผ่านกระบวนการของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน เพื่อจำแนกการสวมใส่หน้ากากอนามัย จะได้คลาส (Class) 2 คลาส ได้แก่ สวมใส่หน้ากากอนามัย 2,000 รูป ไม่สวมใส่หน้ากากอนามัย 2,000 รูป รวมรูปทั้งหมดที่ใช้ 4,000 รูป โดยรูปที่ใช้ในการทดสอบจะแบ่งรูปแบบ 25% Cross validation แบ่งเป็นรูปที่ใช้ในการฝึกสอนโมเดล (Training) 75% โดยแบ่งชุดข้อมูลรูปแต่ละคลาสเท่าๆ กันเป็นจำนวน 3,000 รูป และแบ่งเป็นรูปที่ใช้ในการทดสอบโมเดล (Validation test) 25% โดยแบ่งชุดข้อมูลรูปแต่ละคลาสเท่าๆ กันเป็นจำนวน 1,000 รูป จากนั้นจะนำรูปไปใช้ในการฝึกสอนโมเดลด้วยกระบวนการโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน ซึ่งแต่ละการทดสอบจะใช้จำนวนข้อมูลรูปเท่ากัน แต่จะมีการปรับเปลี่ยนจำนวนรอบ (Epoch) อ้างอิงจำนวนรอบทดสอบที่มีความแม่นยำจำนวน 20 รอบ (Shivam *et al.*, 2021) เนื่องจากการทดลองรอบที่ 20 จากการอ่านค่า Learning curve อยู่ในเกณฑ์ที่ดีไม่ว่าจะเป็นค่าความผิดพลาดหรือความแม่นยำ นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบจำนวน 50 รอบเพื่อหาผลลัพธ์เพิ่มเติมในด้านความแม่นยำและเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนระบบ

สำหรับการทดสอบโมเดลเพื่อหาค่าความถูกต้องในการสวมหน้ากากอนามัย ใช้หลักการทดสอบแบบ 25% Cross validation โดยแบ่งรูปภาพออกเป็น 4 ชุด ตามตารางที่ 2 ประกอบด้วยรูปชุดฝึกสอน (Training data) จำนวน 3 ชุด และรูปชุดทดสอบ (Testing data) จำนวน 1 ชุด มีโมเดลโครงสร้าง MobileNet V2 เป็นตัวตั้งต้นในการทดสอบ

**ตารางที่ 2** การแบ่งภาพในการทดสอบด้วยหลักการ 25% Cross validation

ครั้งที่	ชุดภาพที่ใช้ฝึกสอน	ชุดภาพที่ใช้ทดสอบ	จำนวนรอบในการฝึกสอน (Epoch)
1	2, 3, 4	1	20 และ 50
2	1, 3, 4	2	20 และ 50
3	1, 2, 4	3	20 และ 50
4	1, 2, 3	4	20 และ 50

การทดสอบโมเดลจำนวน 2 ครั้ง เพื่อหาค่าความถูกต้องของโมเดลในการจำแนกการสวมใส่หน้ากากอนามัยที่นำชุดข้อมูลรูปที่ใช้ฝึกสอนดังตารางที่ 2 มาฝึกสอนโมเดลด้วยกระบวนการโครงข่าย

ประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน ใช้โมเดลตั้งต้น คือ MobileNet V2 มีโครงสร้างของโมเดลตั้งต้นแบบ การเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ (Fully connected layer) จำนวน 3 ชั้น โดยชั้นที่หนึ่ง จะทำการสร้าง โหนดประมวลผลจำนวน 128 โหนด ชั้นที่สองจะทำการสร้างโหนดประมวลผลจำนวน 32 โหนด และ ชั้นที่สามจะทำการสร้างโหนดประมวลผลจำนวน 2 โหนด เป็นชั้นสุดท้ายเพื่อรวมข้อมูลเข้าหากัน แล้วทำการจำแนกชนิดของข้อมูล (Classification) โดยแต่ละรอบการทดสอบจะกำหนดค่า อัตราการ เรียนรู้ (Learning rate) เป็น 0.0001 เนื่องจากชั้นแรกของโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันจะเป็น เรื่องพื้นฐาน เช่น เส้นตั้ง นอน หรือทแยง ส่วนประกอบพื้นฐานเหล่านี้ต้องการค่าอัตราการเรียนรู้ที่ต่ำ สำหรับจำนวนรอบในการฝึกสอนเลือก (Epoch) 20 รอบ และ 50 รอบ เพื่อทำการเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ จากนั้นทำการบันทึกผลค่าความถูกต้องในการฝึกสอน (Train accuracy) และค่าความ ผิดพลาดในการฝึกสอน (Train loss) จากการทดสอบการฝึกสอนโมเดลตั้งต้น แสดงดังตารางที่ 3 จากนั้นจะนำโมเดลไปทดสอบด้วยการจำแนกการสวมใส่หน้ากากอนามัยจากแต่ละชุดข้อมูลรูป เพื่อ หาความถูกต้องในการแยกการสวมหน้ากากอนามัย

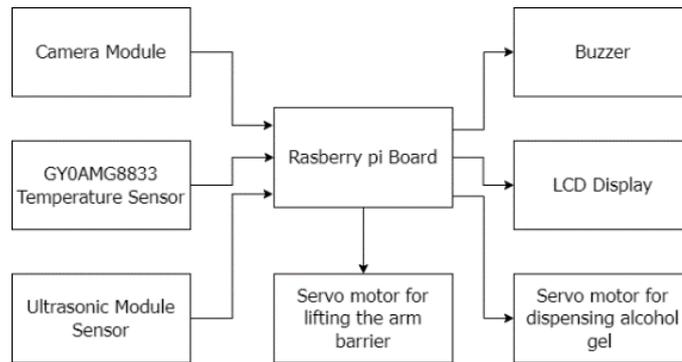
### 3.5 ภาพรวมกระบวนการทำงาน 4 ขั้นตอน

1) การตรวจจับหน้ากากอนามัย จะทำการใช้โมดูลกล้องตรวจจับใบหน้า แล้วทำการส่ง ข้อมูลภาพไปประมวลผลตรวจเช็คการสวมหน้ากากอนามัยที่บอร์ดราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi) โดยใช้หลักการเรียนรู้แบบเชิงลึก (Deep learning) ตรวจจับหน้ากากอนามัย แล้วทำการแสดงผล การตรวจจับใบหน้าผ่านจอแอลซีดี เมื่อพบบุคคลที่สวมหน้ากากอนามัย หรือพบบุคคลที่ไม่สวม หน้ากากอนามัย จะทำการแจ้งเตือนด้วยเสียงผ่านลำโพง ดังภาพที่ 4 (ก)

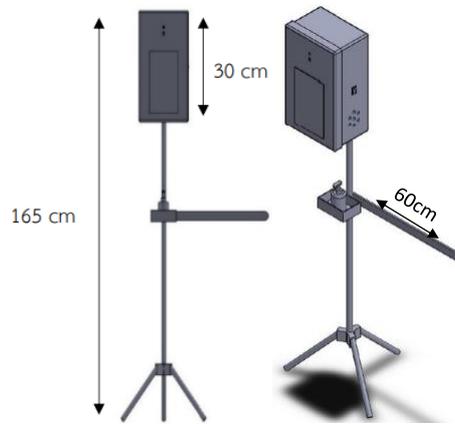
2) การตรวจวัดค่าอุณหภูมิร่างกายจะใช้เซ็นเซอร์ GY- AMG8833 เมื่อระบบรับข้อมูล มาแล้วทำการแสดงผลค่าอุณหภูมิผ่านจอแอลซีดี โดยมีข้อกำหนดถ้าตรวจพบอุณหภูมิเกิน 37.5 องศาเซลเซียส จะทำการแจ้งเตือนด้วยเสียงผ่านทางลำโพง ดังภาพที่ 4 (ก)

3) การจ่ายเจลแอลกอฮอล์ จะใช้เซ็นเซอร์ HC-SR04 ในการตรวจจับฝ่ามือ แล้วส่งข้อมูลไป ที่บอร์ดราสเบอร์รี่พาย เพื่อทำการบังคับให้เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) ทำการจ่ายเจล แอลกอฮอล์ ดังภาพที่ 4 (ก)

4) แขนกั้นที่ใช้ในการคัดกรองบุคคล ยาว 60 cm ตามภาพ 4 (ข) เมื่อทำการจ่ายเจลล้าง มือแล้ว ระบบจะทำการส่งข้อมูลไปที่บอร์ดราสเบอร์รี่พาย เพื่อทำการขับเซอร์โวมอเตอร์ (Motor) ให้ ทำการยกแขนกั้นอนุญาตให้ผ่านเข้าไปได้ ขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปแบบรหัสคำสั่งเทียม (Pseudo code) ตามภาพ 4 (ข)



(ก) ต่อเซ็นเซอร์ร่วมกับหน่วยประมวลผลหลัก



```
if mask_wearing then
  if body_temperature < 37.5 then
    voice alert to get alcohol gel
    if get_alcohol_gel then
      open the door
    end
  end
end
```

(ข) ขนาดชุดแขนกั้นและรหัสเทียบการเปิดแขนกั้น

ภาพที่ 4 ลำดับการเชื่อมต่อข้อมูลและขนาดชุดฮาร์ดแวร์ค้ดกรองผู้สวมหน้ากากอนามัย

#### 4. ผลการวิจัย

ในการทดสอบจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองฝึกสอนโมเดลและการทดสอบความถูกต้องในการจำแนกการสวมใส่หน้ากากอนามัย โดยการทดลองการฝึกสอนโมเดลจะเป็นการเตรียมชุดภาพข้อมูลฝึกสอน จากการค้นหาภาพจาก Kaggle dataset และตามสื่อวิดีโอต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการฝึกสอนโมเดลด้วยกระบวนการโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน ซึ่งแต่ละการทดสอบจะใช้จำนวนข้อมูลรูปเท่ากัน โดยมีโมเดลตั้งต้นคือ MobileNet V2

##### 4.1 ผลการทดสอบฝึกสอนโมเดล

ขั้นตอนนี้เป็นกรนำข้อมูลรูปเข้าสู่กระบวนการโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันเพื่อทดสอบความสามารถในการแยกชนิดรูป เพื่อให้ทราบถึงปัญหาต่างๆ และเพื่อหาโมเดลที่ดีที่สุดในการใช้งาน โดยแต่ละการทดสอบจะใช้การทดสอบแบบ 25% Cross Validation แบ่งรูปออกเป็น 4 ชุด โดยแบ่งเป็นรูปที่ใช้ในการฝึกสอน (Training data) จำนวน 3 ชุด และรูปที่ใช้ในการทดสอบ (Testing data) จำนวน 1 ชุด ซึ่งแต่ละการทดสอบจะมีการสลับข้อมูลรูปที่ใช้ในการฝึกสอน และ

ทดสอบที่ละเอียดในการฝึกสอนโมเดล โดยแสดงผลการฝึกสอนโมเดลเป็นเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำดังตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 จะสังเกตได้ว่าโมเดลที่ให้ค่าความถูกต้องในการระบุการสวมใส่หน้ากากอนามัย โดยโมเดลที่ใช้คือ MobileNet V2 ค่า Epoch 50 รอบ เนื่องจากการทดลองที่ 20 รอบ (Shivam *et al.*, 2021) พบว่าค่า Learning curve อยู่ในเกณฑ์ที่ Loss error มีค่าต่ำและ Accuracy มีค่าสูง เพื่อให้เห็นถึงขีดจำกัดของระบบจึงออกแบบการทดลองที่ 50 รอบเพิ่มเติม เพื่อประเมินเวลาที่ใช้ฝึกสอนและประสิทธิภาพการเรียนรู้ของระบบ สำหรับการทดสอบที่ได้ค่าแม่นยำในการคัดแยกภาพสูงสุดคือข้อมูลภาพ ชุดที่ 3 ในการทดสอบ (ใช้ข้อมูลชุดที่ 1, 2 และ 4 ในการฝึกสอน) ซึ่งให้ค่าความถูกต้องในการฝึกสอน 97.2% สาเหตุที่การทดลองในชุดที่ 3 มีค่าแม่นยำมากกว่า เนื่องจากชุดข้อมูลภาพฝึกสอน 1, 2 และ 4 มีส่วนของรูปภาพที่ใบหน้าไม่ชัดเจน การสวมใส่หมวกหรือผ้าพันปิดหน้าในระดับต่ำ นอกจากนี้ยังพบภาพฝึกสอนที่มีโพกัสภาพเบลอและมีฉากหลังลวดลายที่ซับซ้อนประกอบรวมอยู่ ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพของระบบคัดกรองผู้เข้าสถานที่ทำงานจะใช้ชุดฝึกสอนโมเดลที่ 1, 2 และ 4 ในการทดสอบระบบต่อไป

ตารางที่ 3 ค่าความถูกต้องของชุดข้อมูลภาพที่ใช้ในการฝึกสอนระบบ

ค่า Epoch (รอบ)	ค่าความถูกต้องของข้อมูลภาพที่ใช้ทดสอบ (%)				เวลาในการฝึกสอนโมเดล (ชั่วโมง)
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 4	
20	91.3	89.1	93.1	92.5	10
50	96.4	94.4	97.2	95.8	16

#### 4.2 การทดสอบระยะในการตรวจจับที่ดีที่สุด

การทดสอบความถูกต้องการตรวจจับใบหน้าผู้ใช้งาน 1 คน ทดลองหาค่าเฉลี่ย 10 ครั้งต่อการทดลองในแต่ละระยะการตรวจจับ แปลค่าเป็นอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ แสดงตามภาพที่ 5 (ก) ถึง (ค) ในระยะการตรวจจับที่ดีที่สุด และหาค่าความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิที่น้อยที่สุด แสดงผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4 โดยผลการทดลองในตารางที่ 4 ทำการวัดอุณหภูมิในร่างกายจากเซนเซอร์เทียบกับการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องมือมาตรฐาน งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ Infrared แบบดิจิตอลรุ่น GP-200plus ค่าความถูกต้อง  $\pm 0.2$  °C มาเป็นตัวเปรียบเทียบค่า ผลการทดลองพบว่าเมื่อผู้ตรวจวัดยืนอยู่หน้ากล้องห่างที่ระยะ 0.5 m ตามภาพที่ 5 (ก) ให้ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมिन้อยที่สุด เนื่องจากตัวเซนเซอร์ GY-AMG8833 ที่เลือกใช้ในงานวิจัยสามารถวัดอุณหภูมิร่างกายได้ภายในระยะ 0.7 m และค่าความแม่นยำในระยะ 0.5 m จากผลการทดลองเมื่อยืนระยะห่างจากหน้า

อุปกรณ์ตรวจวัดมากขึ้นจะพบค่าคลาดเคลื่อนอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง และในระยะที่มากกว่า 1.4 m จะไม่สามารถอ่านค่าอุณหภูมิในร่างกายได้ กรณีที่ไม่สวมหน้ากากอนามัยแม้ผู้ตรวจวัดอุณหภูมิร่างกายปกติระบบจะแปลผลเป็นไม่อนุญาตเข้าพื้นที่ ตามภาพที่ 5 (ข) และกรณีที่ผู้ตรวจวัดอยู่หน้ากล้องมากกว่า 1 คนระบบจะไม่สามารถประมวลผลได้ ตามภาพที่ 5 (ค) เนื่องจากการออกแบบตรวจสอบผู้ใช้บริการที่มีช่องรับเจลแอลกอฮอล์ และทางเข้าแคบเกินไป 1 คนเท่านั้น

**ตารางที่ 4** ทดสอบระยะเวลาการตรวจวัดอุณหภูมิที่ดีที่สุดเพื่อกำหนดจุดมาร์คเกอร์ที่เหมาะสมในการยืน

ครั้งที่	ระยะในการตรวจจับใบหน้า (m)	อุณหภูมิมาตรฐาน (°C)	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัดได้ (°C)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
1	0.5	36.4	36.1	0.82
2	0.6	36.5	35.8	1.92
3	0.7	35.9	34.7	3.34
4	0.8	35.7	33.3	6.72
5	0.9	36.4	33.15	8.93
6	1.0	36.5	33.1	9.31
7	1.1	35.8	32.7	8.66
8	1.2	36.5	32.6	10.68
9	1.3	36.6	30.75	15.98
10	1.4	35.9	-	-



(ก) อุณหภูมิ <math>< 37.5\text{ }^{\circ}\text{C}</math> (ข) ผู้ใช้บริการไม่สวมใส่หน้ากาก (ค) ตรวจพบบุคคลเกิน 1 บุคคล  
ภาพที่ 5 ตรวจจับใบหน้าในระยะห่าง 0.5 m เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิในร่างกายแสดงผลบนจอแอลซีดี

#### 4.3 การทดลองประสิทธิภาพด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผลการคัดกรองเข้าสถานที่ทำงาน

ในการวัดประสิทธิภาพด้านการใช้งานจริง ได้รับความอนุเคราะห์จาก หจก.พีบีเอ็นไอโอโตเมชัน แอนด์ เซอร์วิส เพื่อทดลองติดตั้งชุดอุปกรณ์บริเวณหน้าประตูทางเข้าพื้นที่การทำงาน โดยมีพนักงานจำนวน 5 คน ยืนเรียงแถวต่อกันทำการสวมหน้ากากอนามัยสีพื้น ขาว ดำ เขียว และฟ้า เพื่อทดสอบการทำงานของระบบได้ผลการทดลองตามตารางที่ 5 การทดลองจับเวลาได้ใช้แอปพลิเคชันจับเวลาบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ทำการจับเวลาที่ละคนเริ่มจับเวลาตั้งแต่ยืนอยู่จุดมาร์คเกอร์ที่ระยะ 0.5 m ห่างจากหน้าตัวกล้อง ผลการตรวจจับแจ้งว่าสวมหน้ากากอนามัย และแจ้งให้ยืนมารับเจลแอลกอฮอล์ที่จุดติดตั้งเซนเซอร์ที่ออกแบบไว้ แขนก้นยกขึ้น แล้วเดินผ่านจึงกดหยุดเวลาแล้วทำการบันทึกผล จากผลการทดลองพบว่าเกิดช่วงเวลาระบบประมวลผลเวลาต่อคนแบบสะสมช่วงเวลา สังเกตจากคนที่ 1 ใช้เวลาน้อยที่สุด และคนที่ 5 ใช้เวลาประมวลผลมากที่สุด เนื่องจากช่วงรอยต่อของการประมวลผลคนต่อคนต้องรอระบบหน่วงเวลาแขนก้นและรีเซตระบบกลับมาทำงานยังโปรเซสเริ่มต้นของการตรวจจับหน้ากากอนามัย และอาจเกิดค่าการหน่วงเวลาจากผู้ใช้งานที่ยืนมือไปรับค่าเจลแอลกอฮอล์ ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งเซนเซอร์ที่ซ้ำ โดยรวมถ้านำไปใช้งานในระบบอุตสาหกรรมที่มีจำนวนพนักงานมากอาจเกิดปัญหาเรื่องเวลาเข้าใช้งานแบบสะสมติดปัญหาในรูปแบบคอขวดได้ จึงอาจจะเหมาะกับองค์กรขนาดเล็กที่มีพนักงาน 5-10 คนเท่านั้น

**ตารางที่ 5** ทดลองระบบคัดกรองสวมหน้ากากอนามัยเข้าพื้นที่ทำงานภายใน หจก.พีบีเอ็นไอโอโตเมชัน

คนที่ทำการทดลอง	ผลการอนุมัติเข้าพื้นที่	เวลาในการประมวลผล (วินาที)
คนที่ 1 หน้ากากอนามัยสีพื้นขาว	อนุมัติ (✓)	18.27
คนที่ 2 หน้ากากอนามัยสีพื้นดำ	อนุมัติ (✓)	20.32
คนที่ 3 หน้ากากอนามัยสีพื้นเขียว	อนุมัติ (✓)	21.18
คนที่ 4 หน้ากากอนามัยสีพื้นดำ	อนุมัติ (✓)	22.41
คนที่ 5 หน้ากากอนามัยสีพื้นฟ้า	อนุมัติ (✓)	25.39
ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการคัดกรองเข้าพื้นที่ทำงาน		21.51

#### 4.4 การทดสอบตรวจจับฝ่ามือเพื่อทำการจ่ายเจลแอลกอฮอล์ล้างมือ และทดสอบแขนก้นยกเปิดทางเข้าพื้นที่

การทดสอบความถูกต้องของตรวจจับฝ่ามือเพื่อทำการจ่ายเจลล้างมือแบบไร้สัมผัส เมื่อตรวจจับฝ่ามือด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ ตามภาพที่ 6 (ก) และ (ข) แล้วจึงสามารถจ่ายเจลล้างมือได้ นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบแขนก้น ภาพที่ 6 (ค) เพื่อหาค่าความถูกต้องของแขนก้นเมื่อตรวจจับ

การสวมหน้ากากอนามัย อุณหภูมิร่างกายไม่เกิน 37.5 องศาเซลเซียส ตรวจจับฝ่ามือเพื่อจ่ายเจลล้างมือแล้วแขนกั้นยกขึ้นได้อย่างถูกต้อง ได้ทำการทดสอบ 10 ครั้ง โดยสรุปมีค่าความถูกต้อง 100% ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการทำงานของอัลตราโซนิกเซนเซอร์มีหลักการทำงานตรวจจับ ระยะที่แน่นอน และแขนกั้นควบคุมด้วยเซอร์โวมอเตอร์จะยกขึ้นหลักจากที่ชุดจ่ายเจลแอลกอฮอล์ทำงานแล้ว ขั้นตอนตรงนี้ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องทุกครั้ง



(ก) ยืนทดสอบหน้าชุดคัดกรอง (ข) จุดติดตั้งอัลตราโซนิกจ่ายเจลล้างมือ (ค) แขนกั้นยกเข้าพื้นที่  
ภาพที่ 6 การติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับฝ่ามือและแขนกั้นยก

## 5. อภิปรายผล

จากระบบคัดกรองผู้สวมหน้ากากอนามัยที่ทำการออกแบบสามารถนำผลการวิเคราะห์ จากโครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้เชิงลึก ที่มีโครงสร้างโมเดลแบบ MobileNet V2 มาทำการทดสอบ ภาพผู้สวมหรือไม่สวมหน้ากาก ทำงานบนบอร์ดราสเบอรี่พาย V.4 B มาตัดสินใจร่วมกับการวัดอุณหภูมิในร่างกายด้วย GY-AMG8833 ผู้ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 37.5 °C ร่วมกับการสวมหน้ากาก ระบบจะแจ้งให้ยื่นฝ่ามือรับเจลแอลกอฮอล์ล้างมือในจุดที่กำหนด ซึ่งในทุกขั้นตอนจะมีเสียงพูดผ่านลำโพงจากระบบที่ออกแบบประกอบการทำงาน จากผลการทดสอบชุดเรียนรู้จากคลังข้อมูลภาพจากสื่ออินเทอร์เน็ตต่างๆ จำนวน 4,000 ภาพ พบว่าให้ค่าความแม่นยำที่ 97.2% ระบบสามารถนำไปใช้งานคัดกรองบุคคลเข้าสถานที่เพื่อป้องกันการแพร่เชื้อ Covid-19 ได้ ส่วนปัจจัยที่ส่งผลให้ระบบมีความแม่นยำเนื่องจากเป็นชุดไลบรารีโครงข่ายประสาทเทียมโมเดล MobileNet V2 ที่ได้รับการพัฒนาจาก Google และมีนักวิจัยปรับปรุงแก้ไขอัลกอริทึมอย่างต่อเนื่อง ในการออกแบบจำนวนรอบทดลอง (Epoch) 50 รอบ พบว่าให้ค่าความแม่นยำการฝึกสอนโมเดลไม่เกิดปัญหาของการที่โมเดลไม่สามารถเรียนรู้ได้ (Underfit) หรือโมเดลมีการเรียนรู้ที่มากเกินไป (Overfit) ที่มีการเรียนรู้จาก Noise หรือค่าคลาดเคลื่อนจากชุดข้อมูลทดสอบรวมไปด้วย แต่ทั้งนี้พบว่าต้องแลกมากับเวลาที่ให้ระบบเรียนรู้ข้อมูลจากชุดฝึกสอนที่นานขึ้น สำหรับการวัดอุณหภูมิในร่างกายได้ใช้เซนเซอร์ไร้สัมผัส GY-AMG8833 โดยผู้ตรวจวัดยืนห่างจากเซนเซอร์ที่ระยะ 0.5m เพื่อให้อุณหภูมิของการตรวจวัดแม่นยำ

ที่สุด และการยื่นที่ระยะห่างออกไปจะมีค่าคลาดเคลื่อนจากอุณหภูมิในร่างกายจริง จนถึงระยะที่ 1.4m ตัวเซนเซอร์จะไม่สามารถวัดอุณหภูมิได้ ในส่วนของการทำงานเช่นกันไม่พบปัญหาจากการใช้งานเนื่องจากเป็นส่วนของการรับค่าลอจิกจากบอร์ดราสเบอร์รี่พายโดยตรงที่ผ่านการประมวลผลการสวมใส่หน้ากากอนามัย อุณหภูมิในร่างกายน้อยกว่า 37.5 องศา และรับเจลฆ่าเชื้อแอลกอฮอล์ที่ฝ่ามือเรียบร้อยแล้ว จากระบบที่ออกแบบสามารถนำไปใช้ในการคัดกรองผู้เข้าสถานที่ทำงานเพื่อยับยั้งการกระจายเชื้อ Covid-19 ได้จริง

## 6. ข้อเสนอแนะในการพัฒนา

เพื่อเพิ่มความแม่นยำของชุดคัดกรอง ควรเพิ่มเติมตัวอย่างของหน้ากากอนามัยในรูปแบบใสหรือสีผิวเนื้อ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับ สามารถบันทึกค่าสถิติของการตรวจจับเพื่อใช้ประเมินระบบเพื่อกำหนดนโยบายการคัดกรองบุคคลเข้าพื้นที่ทำงาน การออกแบบแจ้งเตือนเมื่อปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำกว่าที่กำหนด ในการลดระยะเวลาทำงานของเช่นกัน สามารถปรับช่องทางการแจ้งเตือนไปยังให้ผู้เข้าตรวจวัดยื่นเรียงแถวตรง กำหนดจุดระยะของการยื่นต่อจุดที่เหมาะสม อันจะช่วยลดระยะเวลาการทำงานจากระบบโดยรวมที่ใช้อยู่เช่นกันลดเวลาการทำงานลงได้

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หจก.พีบีเอ็นออโตเมชันแอนด์เซอร์วิส อ.เมือง จ.ตาก ให้ความอนุเคราะห์ ในการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเข้าพื้นที่ทำงาน ห้องวิจัยประมวลผลภาพร่วมกับระบบสมองกลฝังตัว ศูนย์วิจัยนวัตกรรมปัญญาประดิษฐ์ มทร.ล้านนา ตาก

## 8. เอกสารอ้างอิง

- ณัฐวดี หงส์บุญมี, และคณิน ประทุมทอง. (2563). ระบบวิเคราะห์ธันบัตรปลอมด้วยภาพถ่ายผ่านสมาร์ตโฟนโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก. *Journal of Information Science and Technology*, 10(2), 90-100.
- พิมพา ชีวาประกอบกิจ. (2562). การปรับปรุงประสิทธิภาพในการจำแนกภาพด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันโดยใช้เทคนิคการเพิ่มภาพ. *Journal of Engineering and Technology*, 7(1), 59 – 64.
- รามศวรรค์ ดั่งรักษา, อำนวย ดิถุทธิ์, ธนรัตน์ ยอดดำเนิน และภูมินทร์ ต้นอุดม. (2564, กุมภาพันธ์). การตรวจจับการสวมหน้ากากอนามัยโดยประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกและโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, 671-680.

- สยามพร ศิรินาวิน. (2563). “โควิด-19” ความรู้ สู้ปัญญา พัฒนาการปฏิบัติ. นนทบุรี: บริษัท โอเอส พรินติ้ง เฮ้าส์ จำกัด.
- อนุชา ดีผาง, และนิติคม อริยพิมพ์. (2564). การออกแบบและสร้างเครื่องจ่ายเจลแอลกอฮอล์แบบอัตโนมัติ. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา*, 5(1), 120 – 126.
- Albertus, J. S., & Raymond, E. S. (2022). Automatic Face Mask Detection Based on MobileNet V2 and Densenet 121 Models. *ICIC International*, 16(4), 433-440.
- Pavan, N. A., Janardhan, G., Deepak, S., & Pujith, S. P. (2021). Smart Door/COVID-19 Face Mask Detection. *International Journal of Innovation Technology and Exploring Engineering*, 10.
- Rizki, P. S., & Esmeralda, C. D. (2021, September). **Face Mask Detection using Convolutional Neural Network**. IC2IE, International Conference on Computer and Information Engineering 4<sup>th</sup>, Depok, Indonesia.
- Shabir, H., Yang, Y., Muhammad, A., Akmal, K., Rukhshanda, R., Junaid, A. W., & Weiyang, H. (2021). IoT and Deep Learning Based Approach for Rapid Screening and Face Mask Detection for Infection Spread Control of COVID-19. *Applied Sciences*, 11(8). 3495.
- Shivam, S., Shikhar, M., & Chitra, N. (2021). Face Mask Detection using Mobilenet Technique. *Journal of Computer Applications*. 183(13)ม 36-40.
- Sufia, J. B. S. A., Hu, N., Timothy, T. V. Y., Hau, L. T., Vik, T. G., & Dong, T. C. (2022, January). Face Mask Detection Using Deep Learning. Proceedings of the International Conference on Computer, Information Technology and Intelligent Computing, Coimbatore, India.
- Trvambak, H., Santhosh, K., & Chakradhara, R. (2022). Real Time Face Mask Detection Using MobileNet V2. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 10(6), c85-c87.
- Vatsal, P., & Dhruvi, P. (2021). Face Mask Recognition Using MobileNet V2. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 26, 35-42. Doi: 10.32628/CSEIT1217519



## ปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์สำหรับผู้รับจ้าง

### ผลิตอาหารเสริมในประเทศไทย

# THE FACTORS OF RAW MATERIAL SUPPLIER SELECTION FOR SUPPLEMENTS ORIGINAL EQUIPMENT MANUFACTURER (OEM) IN THAILAND

ศุภาคนางค์ ยอดคำ, ณัฐพล ไพศาลวิโรจน์รักษ์\*, เจษฎา โพธิ์จันทร์

Suphakanang Yodkam, Nattapol Paisarnvirosrak\*, Jessada Pochan

คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

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

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

วันที่เข้าระบบ 12 เมษายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ 16 พฤษภาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 22 พฤษภาคม 2566

### บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสำคัญในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบสำหรับผู้รับจ้างผลิตอาหารเสริมในประเทศไทย และเพื่อวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบที่เหมาะสม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มความสามารถการแข่งขันในอุตสาหกรรมอาหารเสริม โดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (The analytic hierarchy process: AHP) ทำการเก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องจำนวน 10 คน ในการคัดเลือกและประเมินค่าปัจจัยภายใต้โครงสร้างการวิเคราะห์จัดลำดับความสำคัญ และได้กำหนดเกณฑ์ปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ทั้งหมด 5 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัจจัยด้านราคา ด้านคุณภาพ ด้านการขนส่ง ด้านการให้บริการ และด้านความน่าเชื่อถือ ผลการวิจัย พบว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริม มีค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด ได้แก่ ปัจจัยด้านคุณภาพ (29.94%) รองลงมา ได้แก่ ปัจจัยด้านราคา (24.09%) ปัจจัยด้านการขนส่ง (20.18%) ปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ (17.54%) และปัจจัยด้านการให้บริการ (8.25%) ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** การคัดเลือกซัพพลายเออร์, กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์, การวิเคราะห์แบบหลายหลักเกณฑ์

## Abstract

This research aimed to study the important factors in the selection of raw material suppliers for original equipment manufacturers (OEM) of food supplements in Thailand and analyze the factors in order to partially reduce a cost and increase a competitiveness by using the Analytic Hierarchy Process (AHP). The analytical process consisted of using a questionnaire with 10 relevant experts by prioritizing the 5 main factors including price, quality, delivery, service and credibility. The results of the evaluation of each factors showed that the most important weighting factors were quality (29.94%), price (24.09%), delivery (20.18%), credibility (17.54%), and service (8.25%), respectively.

**Keywords:** Supplier selection, The analytic hierarchy process, Multi criteria analysis

## 1. บทนำ

จากการเผชิญกับสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 (Covid-19) ในปีพ.ศ. 2563 ทำให้ผู้คนทั่วโลกให้ความสำคัญด้านสุขภาพมากขึ้น จากผลการสำรวจของสวนดุสิตโพล มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ประเทศไทยในปี พ.ศ. 2564 ระบุว่า คนไทย 45.39% ให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพ โดยการเลือกรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ หรือการเลือกทานอาหารเสริมและวิตามิน การออกกำลังกายทั้งกลางแจ้งหรือในร่ม เพื่อเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย ลดการเกิดโรคร้ายไข้เจ็บ รวมถึงการเข้ารับการรักษาจากแพทย์ผู้เชี่ยวชาญแขนงต่าง ๆ นอกจากนี้ทางรัฐบาลไทยได้ดำเนินงานสนับสนุนนโยบายพัฒนาด้านงานบริการสุขภาพ ประกาศนโยบายการพัฒนาประเทศไทยให้พัฒนาไปสู่การเป็นศูนย์กลางสุขภาพนานาชาติ (Thailand as world class health care provider) โดยระบุให้ธุรกิจบริการสุขภาพเป็นธุรกิจที่จะได้รับการส่งเสริมขีดความสามารถในการแข่งขัน เพื่อปรับโครงสร้างเศรษฐกิจสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน และได้มีการพัฒนาแนวทางการพัฒนาประเทศไทยเป็นศูนย์กลางทางการแพทย์ของโลก (Medical hub) ในระยะที่ 3 โดยมีเป้าหมายสำคัญแบ่งเป็น 4 ด้าน ได้แก่ 1. เป็นศูนย์กลางบริการเพื่อส่งเสริมสุขภาพที่เป็นบริการอย่างครบวงจร (Medical service hub) 2. เป็นศูนย์กลางบริการสุขภาพที่ต่อยอดกับระบบสปาระบบการทำงานเพื่อสร้างสุขภาพ รวมถึงการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ (Wellness hub) 3. เป็นศูนย์กลางการศึกษา วิชาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ (Academic hub) และ 4. เป็นศูนย์กลางยาและผลิตภัณฑ์สุขภาพ (Product hub) ซึ่งครอบคลุมถึงภาคการผลิตสินค้าที่เกี่ยวข้องใน 5 อุตสาหกรรม คือ เภสัชกรรม (ยาและวัคซีน) เครื่องสำอาง อุปกรณ์ทางการแพทย์ ยาแผนโบราณ และอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ (แผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติฉบับที่ 13, 2566)

จากการศึกษาโครงสร้างรายได้และการแข่งขันของธุรกิจผลิตภัณฑ์อาหารเสริมของไทยของ ศูนย์วิเคราะห์เศรษฐกิจทีเอ็มบี (TMB analytics) พบว่า ธุรกิจผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเป็นธุรกิจที่เติบโตต่อเนื่อง ทำให้อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม รวมถึงตลาดวิตามินและผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเป็นที่น่าสนใจของผู้ประกอบการ จากข้อมูลของกระทรวงพาณิชย์ปี พ.ศ. 2564 มีผู้ประกอบการธุรกิจอาหารเสริม จำนวนกว่า 6,300 ราย โดยมีสัดส่วนผู้ประกอบการขนาดเล็ก คิดเป็น 95% ของผู้ประกอบการทั้งหมด ส่งผลให้บริษัทผู้รับจ้างผลิตอาหารเสริมในประเทศไทย เล็งเห็นถึงศักยภาพและโอกาสในการแข่งขันการผลิตอาหารเสริมออกสู่ท้องตลาด และเพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในอุตสาหกรรมอาหารเสริม จึงเห็นควรในการปรับตัวเพื่อให้สามารถดำเนินธุรกิจได้อย่างยั่งยืนต่อไป

งานวิจัยนี้ จึงเห็นถึงความสำคัญในการศึกษาปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบ สำหรับผู้รับจ้างผลิตอาหารเสริมในประเทศไทย และเป็นแนวทางในการพัฒนาการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับผู้รับจ้างผลิตอาหารเสริม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการลดต้นทุนการผลิตขององค์กร ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสำคัญในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบสำหรับผู้รับจ้างผลิตอาหารเสริมในประเทศไทย

2.2 เพื่อวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริมที่เหมาะสม โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP)

## 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีดำเนินงานวิจัยของงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้เป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) ขั้นตอนการศึกษาแนวคิดทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2) ขั้นตอนการศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ 3) ขั้นตอนการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ 4) ขั้นตอนการตรวจสอบความน่าเชื่อถือโดยค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (C.R.) และ 5) วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 3.1 การศึกษาแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาข้อมูลการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบสำหรับผู้รับจ้างผลิตอาหารเสริมในประเทศไทยนั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทบทวนวรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เรื่องการคัดเลือกซัพพลายเออร์ ปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ ตลอดจนเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

ห่วงโซ่อุปทานบริษัทรับจ้างผลิต และลงลึกถึงกระบวนการจัดซื้อจัดจ้างของบริษัทรับจ้างผลิตในส่วนของการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริม

### 3.2 การศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทบทวนเอกสาร บทความ และงานวิจัย และสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth interview) กับผู้เชี่ยวชาญในการตัดสินใจคัดเลือกซัพพลายเออร์ จากนั้นทำการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัย นำปัจจัยที่ได้มาแบ่งกลุ่มปัจจัยหลัก และปัจจัยรอง เพื่อสร้างแบบสอบถามสำหรับการประเมินปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริมในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 1 ใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นให้กับผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key informants) ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริม ในการพิจารณาและประเมินคัดเลือกปัจจัยการจัดลำดับความสำคัญของการเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริม ผ่านแบบสอบถาม

ตารางที่ 1 ปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริม

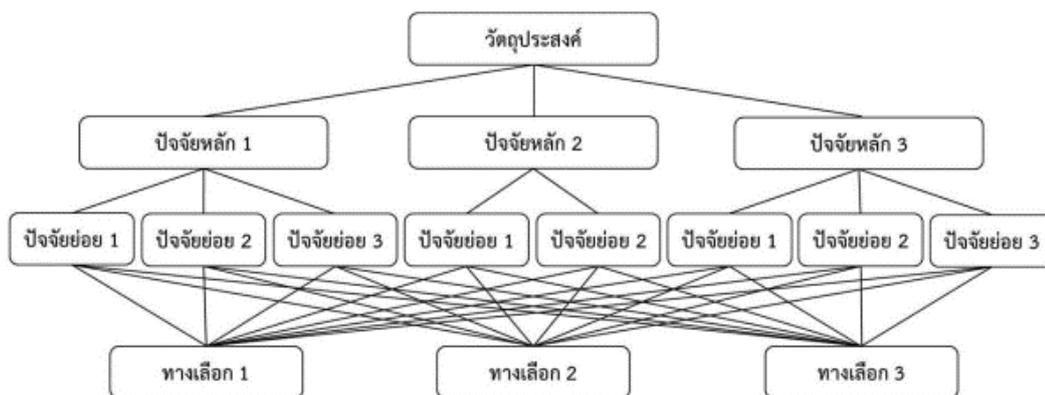
ปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง
ด้านคุณภาพ	สินค้ามาจากแหล่ง/ประเทศผลิตที่น่าเชื่อถือ
	สินค้านี้มีคุณภาพตรงตามเอกสารรับรอง (COA)
	สินค้านี้มีเอกสารรับรองเครื่องหมายฮาลาล (Halal)
ด้านราคา	ราคาต่อหน่วยของวัตถุดิบมีความเหมาะสม
	เงื่อนไขการชำระเงิน (Term of payment)
	การเจรจาต่อรองราคาสินค้า
การบริการ	การให้ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่รวดเร็วและถูกต้อง
	ความสามารถในการติดต่อสื่อสารที่ดี
	การให้บริการหลังการขาย
การขนส่ง	การส่งมอบสินค้าตรงเวลาที่กำหนด
	ระบบตรวจสอบและติดตามสินค้า (GPS Tracking)
	ความผิดพลาดหรือความเสียหายจากการขนส่งสินค้า
ด้านความน่าเชื่อถือ	ทุนจดทะเบียนบริษัท
	ระยะเวลาก่อตั้งบริษัทและดำเนินธุรกิจ
	รายชื่อลูกค้าที่ให้บริการหลัก/ชื่อเสียงของผู้ให้บริการ

3.3 การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (The analytic hierarchy process: AHP) เพื่อสร้างตัวแบบในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริม

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เป็นหนึ่งในวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ นั่นคือการตัดสินใจเลือกทางเลือก เมื่อมีเกณฑ์ในการพิจารณาหลายเกณฑ์ กระบวนการดังกล่าวจึงเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพและมีความสะดวกในการจัดลำดับความสำคัญ (Saaty, 2008) และช่วยทำให้เกิดการตัดสินใจที่ดีในสถานการณ์ที่ต้องมีการเลือก (Benyoucef *et al.*, 2003; Ghodsypour & O'Brien, 1998; Ho *et al.*, 2009) ซึ่งสามารถใช้ได้กับการตัดสินใจที่มีความยุ่งยากซับซ้อนโดยการเขียนปัญหาในรูปแบบโครงสร้างลำดับชั้น (Hierarchical structure) ดังแสดงในรูปที่ 1 และเป็นทฤษฎีที่นิยมใช้ในการตัดสินใจอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบัน

### 3.3.1 การแยกปัญหาและการสร้างลำดับชั้น

วิธี AHP เริ่มจากการแยกปัญหาที่ซับซ้อนให้อยู่ในรูปของลำดับชั้นของส่วนย่อย ระดับชั้นที่สูงที่สุดคือวัตถุประสงค์ (Objective) ส่วนย่อยซึ่งมีผลต่อการตัดสินใจเรียกว่าเกณฑ์ (Criteria) หรือปัจจัยหลัก ส่วนย่อยในระดับรองลงไป เรียกว่า เกณฑ์ย่อย (Sub-criteria) หรือ ปัจจัยรอง ระดับล่างสุดของลำดับชั้น เรียกว่า ทางเลือกของการตัดสินใจ (Decision alternatives) ดังแสดงในภาพที่ 1 ส่วนย่อยในแต่ละแถวของลำดับชั้นถูกสมมติให้เป็นอิสระต่อกัน ซึ่งหมายความว่าระดับความสำคัญของเกณฑ์ทั้งหลายจะไม่ขึ้นอยู่กับส่วนย่อยที่อยู่ต่ำกว่าเกณฑ์นั้นๆ (Saaty, 1990)



ภาพที่ 1 โครงสร้างลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP)

งานวิจัยนี้ มีการเลือกใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) เป็นหนึ่งในวิธีการตัดสินใจในการศึกษาปัจจัยที่มีความสำคัญในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริมในประเทศไทย และเพื่อวิเคราะห์หาลำดับปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริมที่เหมาะสม เมื่อผู้วิจัยได้ออกแบบแบบจำลองของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริมแล้วจึงทำการออกแบบแบบสอบถามเพื่อทำการคำนวณหาน้ำหนักของปัจจัยแต่ละปัจจัย โดยงานวิจัยนี้มีผู้เชี่ยวชาญในการตอบแบบสอบถามปัจจัยในการคัดเลือกซัพ

พลาเยอร์วัตถุติบอาหารเสริมในประเทศไทย ทั้งหมด 10 คน ที่มีความเกี่ยวข้องและมีประสบการณ์การทำงานในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุติบอาหารเสริม ไม่ต่ำกว่า 3 ปี ซึ่งผู้เชี่ยวชาญดังกล่าวนี้ล้วนมีส่วนได้ส่วนเสียในกระบวนการคัดเลือกซัพพลายเออร์ของบริษัทรับจ้างผลิตทั้งสิ้น โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องในการตอบแบบสอบถาม จำนวน 10 คน

ลำดับที่	ตำแหน่งงาน	ประสบการณ์ทำงาน (ปี)
1	Director of Research & Technology	6
2	R&D Manager	7
3	R&D Supervisor	6
4	R&D	5
5	R&D	3
6	R&D	3
7	Managing director	6
8	Assistant Purchasing Manager	6
9	Purchasing	4
10	Accounting	5

### 3.3.2 การให้ดุลยพินิจเชิงเปรียบเทียบเพื่อคำนวณลำดับความสำคัญ

ขั้นตอนนี้ คือการเปรียบเทียบคู่ (Pairwise comparisons) และการคำนวณค่าน้ำหนัก (Weight calculation) เมื่อสร้างลำดับชั้นแล้ว จะเป็นการเปรียบเทียบคู่ เพื่อหาความสำคัญเชิงเปรียบเทียบของส่วนย่อยต่างๆ ในแต่ละลำดับชั้น การเปรียบเทียบคู่นี้จะเป็นการเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของอิทธิพล (Strength of influence) ของคู่ส่วนย่อยเมื่อเทียบกับส่วนประกอบในระดับที่เหนือกว่าซึ่งอยู่ถัดขึ้นไป มาตรฐานนี้ใช้ในการเปรียบเทียบคือมาตรฐาน AHP 1-9 ดังตารางที่ 3 โดยหลักการแล้ว การเปรียบเทียบคู่จะเริ่มจากระดับล่างสุด (ระดับทางเลือก) และสิ้นสุดที่ระดับสอง (ระดับที่หนึ่งของเกณฑ์) หลังจากทีส่วนย่อยทั้งหมดได้ถูกเปรียบเทียบคู่โดยให้มาตรฐาน 1-9 แล้ว ต่อไปจะเป็นการสร้างเมทริกซ์ดุลยพินิจหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เมทริกซ์การเปรียบเทียบคู่

ตารางที่ 3 มาตรฐานส่วนมูลฐาน AHP 1-9

ดุลยพินิจ (Verbal judgments)	มาตรฐานส่วนที่ใช้เปรียบเทียบ
มีความสำคัญเท่ากัน	1
มีความสำคัญกว่าบ้าง	3

มีความสำคัญกว่ามาก	5
มีความสำคัญกว่าค่อนข้างมาก	7
มีความสำคัญกว่าอย่างยิ่ง	9
ค่ากลางระหว่างระดับความเข้มข้นของอิทธิพลตามที่กล่าวมาข้างต้น	2, 4, 6, 8

การเปรียบเทียบเชิงคู่นำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ช่วยในการตัดสินใจ เพื่อสร้างอัตราส่วนในเชิงปริมาณเพื่อช่วยให้การเปรียบเทียบชัดเจนขึ้น (Saaty, 1980, 2008; ศุภลักษณ์ และอดิศักดิ์, 2555)

การออกแบบแบบสอบถาม มีการแบ่งระดับการเปรียบเทียบระดับความสำคัญเป็นคู่ ออกเป็นระดับ 1-9 ดังตัวอย่างในตารางที่ 4 โดยถ้าปัจจัยทางซ้ายสำคัญกว่าทางขวาเล็กน้อยให้ ระบายช่องเลข 2 ฝั่งซ้าย หรือหากปัจจัยทางขวามีความสำคัญกว่าปัจจัยทางซ้ายในระดับปานกลางให้ ระบายช่องเลข 5 ทางฝั่งขวามือ และถ้าหากปัจจัยทางซ้ายและขวามีความสำคัญเท่ากันให้ระบายช่อง เลข 1 โดยการแบ่งระดับการเปรียบเทียบระดับความสำคัญรายคู่เปรียบเทียบให้น้ำหนักความสำคัญ ในแต่ละแถวของปัจจัยแรกกับปัจจัยหลังว่ามีความสำคัญมากกว่า น้อยกว่า หรือ สำคัญเท่ากัน ตามมาตรฐานส่วนมูลฐาน AHP 1-9

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยหลักเป็นคู่

ปัจจัยหลัก	ความสำคัญของปัจจัย																ปัจจัยหลัก	
	มากกว่า								เท่ากัน	น้อยกว่า								
C1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C2
C1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C3
C2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C3

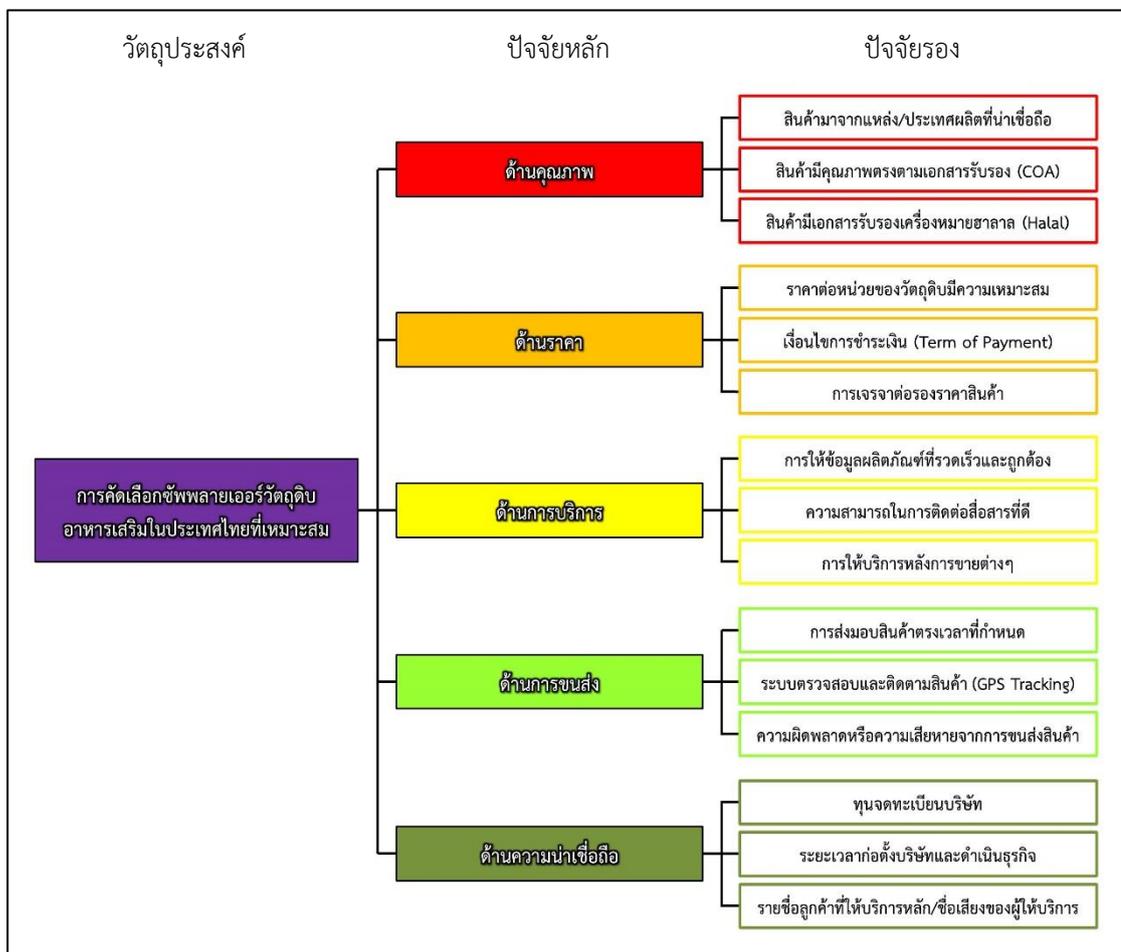
### 3.4 ขั้นตอนการตรวจสอบความน่าเชื่อถือโดยค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (C.R.)

การคำนวณค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency ratio: C.R.) ใน แมทริกซ์การเปรียบเทียบเชิงคู่ คำนวณโดยนำผลคะแนนที่ได้จากการประเมินไปคำนวณหาค่า C.R. เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูล เพื่อตรวจสอบว่าผลลัพธ์ที่ถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์ ภายใต้ข้อบังคับต่างๆ หรือไม่ ด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม Microsoft Excel (ศิวัช และภุริชญา, 2562) ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้ หากค่า C.R. มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายความว่าภายในชุดของดุลยพินิจนั้นมีความสอดคล้องกัน อย่างสมบูรณ์ และถ้าหากค่า C.R. มีค่ามากกว่าศูนย์แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.10 แสดงว่าดุลยพินิจนั้น มีความสอดคล้องกัน (ถือว่ายอมรับได้) ถ้าหากค่า C.R. มีค่ามากกว่า 0.1 หมายความว่าดุลยพินิจนั้นไม่น่าเชื่อถือ (ถือว่ายอมรับไม่ได้) คุณภาพของข้อมูลมีน้อย ต้องได้รับการ

แก้ไขโดยการทบทวนการเก็บข้อมูลอีกครั้งจนกว่าค่า C.R. จะเป็นไปได้ตามเงื่อนไข จึงจะสามารถทำการวิเคราะห์ในลำดับขั้นต่อไปได้

#### 4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ นำเสนอตัวแบบในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบของบริษัทรับจ้างผลิตอาหารเสริมในประเทศไทย โดยอาศัยกระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการหาค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย เพื่อสร้างตัวแบบในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริม มีโครงสร้างการวิเคราะห์จัดลำดับความสำคัญ (Hierarchy structure) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริม

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการประเมินจากแบบสอบถาม โดยอาศัยดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องจำนวน 10 คน ในการให้คะแนนความสำคัญเชิงเปรียบเทียบของปัจจัยที่ระบุ โดยที่ระดับความสำคัญ

ในการให้คะแนนถูกกำหนดไว้ 5 ปัจจัยหลัก และ 15 ปัจจัยรอง จากนั้นนำผลคะแนนที่ได้จากการประเมินไปคำนวณหาค่า C.R. เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูล

ผลจากการคำนวณค่าอัตราความสอดคล้อง (Consistency ratio : C.R.) พบว่า ทุกค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (มีค่าน้อยกว่า 0.10) แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญได้ทำการเปรียบเทียบรายคู่ปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริมได้อย่างสอดคล้องกัน ซึ่งได้ค่าน้ำหนักของเกณฑ์หลัก ได้แก่ ปัจจัยด้านคุณภาพ (29.94%) ปัจจัยด้านราคา (24.09%) ปัจจัยด้านการขนส่ง (20.18%) ปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ (17.54%) และปัจจัยด้านการให้บริการ (8.25%) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5 และเมื่อพิจารณาปัจจัยรองภายใต้ปัจจัยหลักจะได้ค่าน้ำหนักความสำคัญ ดังนี้ ปัจจัยด้านคุณภาพ ซึ่งมีค่าน้ำหนักความสำคัญปัจจัยรอง ได้แก่ สินค้ามีคุณภาพตรงตามเอกสารรับรอง (COA) (54.88%) สินค้ามีเอกสารรับรองเครื่องหมายฮาลาล (Halal) (20.57%) และ สินค้ามาจากแหล่งผลิตที่น่าเชื่อถือ (24.55%) ตามลำดับ ค่าน้ำหนักความสำคัญปัจจัยรองของปัจจัยด้านราคา ได้แก่ ราคาต่อหน่วยมีความเหมาะสม (50.81%) การเจรจาต่อรองราคา (29.58%) และ เงื่อนไขการชำระเงิน (19.60%) ตามลำดับ ถัดมาปัจจัยด้านการขนส่ง มีค่าน้ำหนักความสำคัญปัจจัยรอง ได้แก่ การส่งมอบสินค้าตรงเวลาที่กำหนด (56.15%) ความผิดพลาดหรือความเสียหายในการส่งมอบสินค้า (28.23%) และระบบตรวจสอบและติดตามสินค้า (15.62%) ตามลำดับ ปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ มีค่าน้ำหนักความสำคัญปัจจัยรอง ได้แก่ ทุนจดทะเบียนบริษัท (36.34%) ระยะเวลาก่อตั้งบริษัทและดำเนินธุรกิจ (24.76%) รายชื่อลูกค้าที่ให้บริการหลัก/ชื่อเสียงของผู้ให้บริการ (38.90%) ตามลำดับ และค่าน้ำหนักความสำคัญปัจจัยรองของปัจจัยด้านการให้บริการ ได้แก่ การให้ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ถูกต้องและรวดเร็ว (41.29%) การให้บริการหลังการขาย (40.52%) และ ความสามารถในการติดต่อสื่อสารที่ดี (18.18%) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ในภาพรวมของการให้ความสำคัญของปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ ผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านคุณภาพของสินค้ามากที่สุด รองมาได้แก่ ปัจจัยด้านราคา ปัจจัยด้านการขนส่ง ปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ และปัจจัยด้านการให้บริการ ตามลำดับ

**ตารางที่ 5** ผลสรุปลำดับน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การประเมินปัจจัยการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริม

ปัจจัยหลัก	ค่าน้ำหนัก (%)	ลำดับ
คุณภาพ	29.939	1
ราคา	24.087	2



การบริการ	8.255	5
การขนส่ง	20.179	3
ความน่าเชื่อถือ	17.54	4
รวม	100.00	

#### ตารางที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัย

ปัจจัย	ค่าเฉลี่ยปัจจัยหลัก	ค่าเฉลี่ยปัจจัยรอง
ปัจจัยด้านคุณภาพ <ul style="list-style-type: none"> <li>- สินค้ามาจากแหล่งผลิตที่น่าเชื่อถือ</li> <li>- สินค้ามีคุณภาพตรงตามเอกสารรับรอง (COA)</li> <li>- สินค้ามีเอกสารรับรองเครื่องหมายฮาลาล (Halal)</li> </ul>	29.94	24.553 54.877 20.569
ปัจจัยด้านราคา <ul style="list-style-type: none"> <li>- ราคาต่อหน่วยมีความเหมาะสม</li> <li>- เงื่อนไขการชำระเงิน</li> <li>- การเจรจาต่อรองราคา</li> </ul>	24.09	50.815 19.600 29.585
ปัจจัยด้านการบริการ <ul style="list-style-type: none"> <li>- การให้ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ถูกต้องและรวดเร็ว</li> <li>- ความสามารถในการติดต่อ สื่อสารที่ดี</li> <li>- การให้บริการหลังการขาย</li> </ul>	8.25	41.288 18.184 40.519
ปัจจัยด้านการขนส่ง <ul style="list-style-type: none"> <li>- การส่งมอบสินค้าตรงเวลาที่กำหนด</li> <li>- ระบบตรวจสอบและติดตามสินค้า</li> <li>- ความผิดพลาดหรือความเสียหายในการส่งมอบสินค้า</li> </ul>	20.18	56.149 15.618 28.232
ปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ <ul style="list-style-type: none"> <li>- ทุนจดทะเบียนบริษัท</li> <li>- ระยะเวลาก่อตั้งบริษัทและดำเนินธุรกิจ</li> <li>- รายชื่อลูกค้าที่ให้บริการหลัก/ชื่อเสียงของผู้ให้บริการ</li> </ul>	17.54	36.340 24.759 38.900

#### 5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการศึกษาปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบของบริษัทรับจ้างผลิตอาหารเสริมในประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยด้านคุณภาพ ซึ่งมีค่าน้ำหนักมากที่สุด เป็นปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องให้ความสำคัญมากที่สุด เนื่องด้วยอุตสาหกรรมอาหารเสริม การเลือกใช้สินค้าที่มีคุณภาพตรงตามคุณสมบัติสินค้า เป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของ



ลูกค้า ถัดมาได้แก่ ปัจจัยด้านราคา เป็นที่ทราบกันดีว่าต้นทุนถือเป็นหัวใจสำคัญในการดำเนินธุรกิจ หากบริษัทมีต้นทุนในการดำเนินการที่ต่ำลงย่อมมีผลต่อกำไรของบริษัทที่จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยปัจจุบัน หลายๆบริษัทมีนโยบายให้ความสำคัญกับการปรับลดต้นทุนการผลิตเพื่อความยั่งยืนขององค์กร นั้นหมายความว่า ปัจจัยด้านราคาวัตถุดิบของซัพพลายเออร์มีความสอดคล้องกับนโยบายของบริษัท ถัดมาได้แก่ ปัจจัยด้านการขนส่ง ปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ และ ปัจจัยด้านการบริการ ตามลำดับ

จากการทำวิจัยครั้งนี้ จะเห็นได้ว่า การนำเอากระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (The analytical hierarchy process: AHP) มาช่วยวิเคราะห์ และจัดลำดับปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่เหมาะสม ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเห็นผลชัดเจนเป็นรูปธรรม เป็นหนึ่งในระบบการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบพหุเกณฑ์ ซึ่งเป็นที่นิยมในปัจจุบันและเป็นวิธีการที่มีความสามารถและเข้าใจง่ายในการทำการตัดสินใจที่ใช้ทั้งข้อมูลที่วัดได้และการตัดสินใจจากผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง นั่นคือ สามารถใช้ตัวแปรพหุเกณฑ์ในการตัดสินใจที่ต้องเกี่ยวข้องกับเกณฑ์การตัดสินใจทั้งแบบรูปธรรม (Objective) และนามธรรม (Subjective) ดังนั้น จึงมีความสามารถในการที่จะช่วยให้ผู้ตัดสินใจสามารถตัดสินใจที่เป็นเป็นระบบและมีข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจยิ่งขึ้น

ในการวิเคราะห์หาลำดับความสำคัญของปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบนี้ขึ้นมา นั้นสามารถใช้เป็นส่วนหนึ่งของการสนับสนุนการตัดสินใจของผู้รับผิดชอบในการเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริมได้ โดยลดความเสี่ยงในการใช้บุคลากรที่ไม่มีความรู้ความเชี่ยวชาญ หรือการมีอคติในการตัดสินใจคัดเลือกซัพพลายเออร์

งานวิจัยนี้พิจารณาถึงปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์วัตถุดิบอาหารเสริมสำหรับผู้รับจ้างผลิตอาหารเสริมในประเทศไทย โดยพิจารณาถึงปัจจัยหลัก 5 ปัจจัย และปัจจัยรอง 15 ปัจจัย ทั้งนี้ หากมีผู้สนใจทำการศึกษาเพิ่มเติม อาจเลือกพิจารณาลักษณะความเหมาะสมตามลักษณะวัตถุดิบอาหารเสริม ว่ามีความสอดคล้องกับปัจจัยดังกล่าวครบถ้วนหรือไม่ เนื่องจากลักษณะของวัตถุดิบมีผลต่อการกำหนดค่าประเมินปัจจัยในการตัดสินใจคัดเลือกซัพพลายเออร์ เพื่อให้ผลการทดลองเป็นไปอย่างเหมาะสม และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อองค์กรได้มากขึ้น

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร

## 7. เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพาณิชย์. (2564). ข้อมูลบริษัทที่ประกอบธุรกิจอาหารเสริมของไทยที่จดทะเบียน. ค้นจาก <https://data.moc.go.th/>

- ศูนย์วิเคราะห์เศรษฐกิจทีเอ็มบี. (2565). **แนวโน้มธุรกิจอาหารเสริม ในยุคออนไลน์ครองเมือง.**  
ค้นจาก <https://www.ttbbank.com/th/analytics>
- สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2566). **แผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติฉบับที่ 13.** ค้นจาก <https://www.nesdc.go.th>
- สวนดุสิตโพล. (2564). **คนไทยในยุควิกฤติโควิด-19.** ค้นจาก <https://suandusitpoll.dusit.ac.th>
- ศิวัช แจ่มจรรยา และภุริชญา อัสวโกวิทพงศ์ (2562). **การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในการเลือกที่ตั้งศูนย์หลบภัยในช่วงสถานการณ์ผู้โดยสารขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนกรณีศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่.** (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ศุภลักษณ์ ใจสูง และอดิศักดิ์ ธีรานุพัฒนา. (2555). **การคัดเลือกผู้ให้บริการโลจิสติกส์ของบริษัทฮานา ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด (มหาชน) โดยใช้กระบวนการตัดสินใจแบบวิเคราะห์ลำดับชั้น (AHP).** *วารสารบริหารธุรกิจ*, 35(134), 65-99.
- Benyoucef, L., Ding, H., & Xie, X. (2003). **Supplier selection problem: selection criteria and methods.** (Report). Unite de recherche INRIA Lorraine, Nancy Cedex.
- Ghodsypour, S.H., & O'Brien, C. (1998). **A Decision Support System for Supplier Selection Using an Integrated Analytic Hierarchy Process and Linear Programming.** *International Journal of Production Economics*, 56-57, 199-212.
- Ho, W., Bennett, D.J., Mak, K.L., Chuah, K.B., Lee, C.K.M., & Hall, M.J. (2009). **Strategic Logistics Outsourcing: An Integrated QFD and AHP Approach.** *Industrial Engineering and Engineering Management*, 1434-1438
- Saaty, T. L. (1980). **The Analytic Hierarchy Process: Planning Priority Setting, Resource Allocation.** New York: McGraw-Hill.
- Saaty, T.L. (1990). **How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process.** *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Saaty, T.L. (2008a). **Decision making with the analytic hierarchy process.** *International Journal of Services Sciences*, 1, 83-98.
- Saaty, T.L. (2008b). **Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors.** *Statistics and Operations Research*, 102, 251-318.



## แบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก A MODEL OF BATTERY BANK MANAGEMENT FOR DISTRIBUTION RETAIL

นิวดี คลังสีดา, บุญวัฒน์ วิจารณ์พล, วัชระ วงศ์ปัญญา\*

Nivadee Klungsida, Bunyawat Vichanpol, Watchara Wongpanyo\*

คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา อ.เมือง จ.พะเยา ประเทศไทย 56000

School of Energy and environment, University of Phayao, Muang, Phayao, Thailand 56000

\*Corresponding author e-mail: watchara.wo@up.ac.th

วันที่เข้ารับ 15 เมษายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ 21 พฤษภาคม 2566

วันที่ออกรับบทความ 23 พฤษภาคม 2566

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกเนื่องจากปัญหาค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าไฟฟ้ามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรสูงขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารูปแบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าด้วยการใช้โซลาร์เซลล์ร่วมกับแบตเตอรี่ เพื่อประหยัดไฟฟ้าและขายไฟฟ้าปลีกได้ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ สวมพลังงาน นำข้อมูลมาสร้างและออกแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก ดำเนินการ ศึกษาความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด ศึกษาความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของ PV และศึกษาอัตราค่าไฟฟ้า TOU นำข้อมูลมาออกแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกผู้วิจัยเรียกว่า TOUPVES model ผลการวิจัยพบว่า วันทำงานเสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ปกติ วันละ 60.79 บาท เมื่อผ่านการจัดการด้วย TOUPVES model เสียค่าไฟฟ้าเพียงวัน 2.897 บาทและขายไฟฟ้าได้วันละ 39.951 บาท วันหยุด เสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ปกติ วันละ 12.886 บาท เมื่อผ่านการจัดการด้วย TOUPVES model เสียค่าไฟฟ้าเพียงวัน 2.818 บาทและขายไฟฟ้าได้วันละ 52.751 บาท ต่อไปราคาแบตเตอรี่ในอนาคตมีแนวโน้มลดลงดังนั้น TOUPVES model จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับผู้บริโภคไฟฟ้าที่สามารถผลิตไฟฟ้ากักเก็บไฟฟ้าไว้ขายด้านหลักมิเตอร์ (Behind the meter: BTM) ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถผลิตและจำหน่าย (Prosumer) กำหนดราคาขายให้กับลูกค้าภาคครัวเรือนหรือระหว่างองค์กร เป็นการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า (Demand side management, DSM) ช่วยประหยัดพลังงาน (Energy conservation: EC) และใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy efficiency: EE) เป็นกระบวนการตอบสนองด้านโหลด (Demand response: DR) ได้เกิดประโยชน์สูงสุด

**คำสำคัญ:** ระบบการจัดการแบตเตอรี่, อัตราตามช่วงเวลาของการไฟฟ้า, ความมั่นคงด้านพลังงาน, เลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า, ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

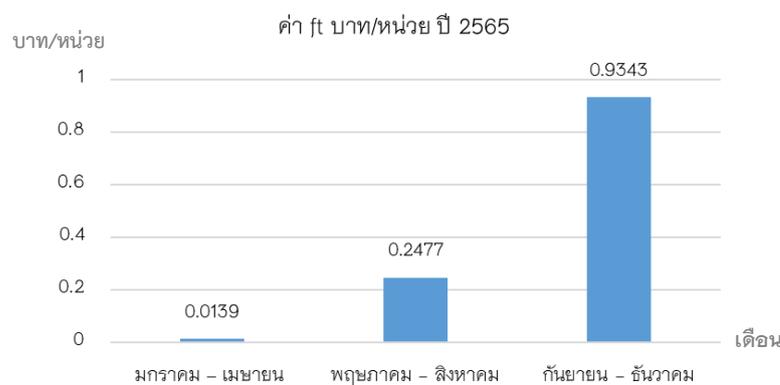
### Abstract

The purpose of this research was to create a model of battery bank management suitable for electricity retail (TOUPVES model). The problem of rising electricity costs made the electricity bills of Kamphaeng Phet Rajabhat University rise. The researcher studied energy management to create value by using solar cells combined with batteries to save electricity and sell retail electricity. The experiment was carried out with the use of electricity in faculty offices and at the energy park in Kamphaeng Phet Rajabhat University. The research process included the following steps: studying electricity demand in the load, studying the ability to produce electricity from PV, studying TOU electricity rate and developing the TOUPVES model based on the data. The research results showed that on a typical working day, electricity consumption cost 60.79 baht a day under TOU rate. However, when managed with the TOUPVES model, the electricity consumption cost only 2.897 baht per day, while also enabling the sale of excess electricity for 39.951 baht per day. at weekend, electricity consumption cost 12.886 baht under TOU rate. However, when managed with the TOUPVES model, the electricity consumption cost only 2.818 baht per day, while also enabling the sale of excess electricity for 52.751 baht per day. In summary, the TOUPVES battery management model is suitable for electricity retail. With the trend of decreasing battery prices in the future, the TOUPVES model should be another option for electricity users who can generate and sell electricity (prosumer) by managing their batteries and store electricity to sell it behind the meter (BTM). The prosumers can set the price based on their costs and profits. This is the demand side management (DSM) such as: energy conservation (EC), energy efficiency (EE) and demand response (DR).

**Keywords:** Battery management system (BMS), Time of use rate (TOU), Energy security, Load shifting, Economical value

## 1. บทนำ

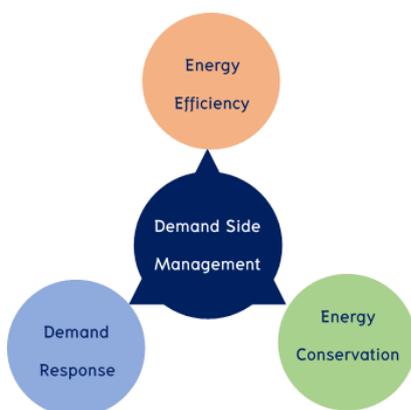
สถิติความต้องการใช้ไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจ และภาครัฐ ถึงแม้ประเทศไทยมีไฟฟ้าเพียงพอรองรับความต้องการใช้ที่เพิ่มขึ้นด้วยปริมาณไฟฟ้าสำรองของไทยสูงถึง 30% จากระดับปกติควรอยู่ที่ 15% แต่อย่างไรก็ตามต้นทุนการผลิตไฟฟ้าหรือแม้แต่การนำเข้าจะสูง หรือปัจจัยอื่นเช่น ราคาเชื้อเพลิง อัตราเงินเฟ้อ อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ มีผลกับค่าไฟฟ้าโดยเฉพาะค่า ft (Float time) ซึ่งเป็นค่าของต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่ จากสถิติการค่า ft ย้อนหลัง ปี 2565 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 จากสถิติการค่า ft ปี 2565 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) แสดงรายละเอียดการพิจารณาของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ กกพ. ของค่า ft สำหรับเรียกเก็บจากผู้ใช้ไฟฟ้ารวบรวมของปี 2565 สาเหตุหลักมาจากราคาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นตามราคาพลังงานในตลาดโลก โดยเฉพาะสัดส่วน การนำเข้าก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) ที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และมีราคาสูง รวมถึงอัตราแลกเปลี่ยนมีแนวโน้มอ่อนค่าลงค่าซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน จึงส่งผลให้ค่า ft เพิ่มสูงขึ้นมาก (กองอัตราและธุรกิจไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2566) ปัญหาด้านพลังงานมีการวางแผนผ่านนโยบายของชาติ โดยเฉพาะการทำแผนแม่บทพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย ปัจจุบันการดำเนินงานอยู่ในระยะปานกลาง พ.ศ. 2565-2574 “ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ และการจัดการทรัพยากรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จำเป็น รองรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ายุคใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” มีอยู่ 5 เสาหลัก ได้แก่ 1) การตอบสนองด้านโหลดและระบบบริหารจัดการพลังงาน (DR & EMS) 2) การพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียน (RE Forecast) 3) ระบบไมโครกริด และ โปรซูเมอร์ (Micro grid & Prosumer) 4) ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) และ 5) การบูรณาการยานยนต์ไฟฟ้า (EV integration)

จากปัญหาอัตราค่าไฟฟ้าที่สูงขึ้นผู้ใช้ไฟฟ้าต้องปรับตนเองเพื่อตอบสนองนโยบายภาครัฐเพื่อแก้ปัญหาพร้อมกันการจัดการด้านผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นการประหยัดไฟฟ้า ปรับเปลี่ยนเวลาการใช้ไฟฟ้ามาใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้าถูก หรือแม้กระทั่งการติดตั้งโซล่าเซลล์ใช้เองหรือขายไฟฟ้าให้กับภาครัฐ ดังนั้น นโยบายตามเสาหลักที่ 1 การตอบสนองด้านโหลดและระบบบริหารจัดการพลังงาน (DR & EMS) จึงเป็นสิ่งใกล้ตัวของผู้ใช้ไฟฟ้าที่สามารถปรับเปลี่ยนเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า (Demand side management, DSM) มีอยู่สามส่วนหลักคือการอนุรักษ์พลังงาน หรือประหยัดพลังงาน (Energy conservation: EC) การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy efficiency: EE) การตอบสนองด้านโหลดเป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า (Demand response: DR) (สมาร์ตกริดไทยแลนด์, 2565)



ภาพที่ 2 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand side management, DSM)

และ เสาหลักที่ 4 ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ถึงแม้จะดูใกล้ตัวจากผู้ใช้ไฟฟ้าและต้นทุนการติดตั้งสูงแต่ความคุ้มค่าในอนาคตที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าและกักเก็บไฟฟ้าไว้ใช้และสามารถขายได้สอดคล้องกับเสาหลักอื่นๆ ที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถบริหารจัดการไฟฟ้าผันตัวเองเป็นผู้ขายไฟฟ้า (Prosumer) และรองรับการใช้รถไฟฟ้าที่ต้องชาร์จไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่กักเก็บไว้ได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เป็นหน่วยงานที่ใช้ไฟฟ้าสูงและปรับตัวเพื่อตอบสนองนโยบายภาครัฐไม่ว่าจะเป็นการดำเนินการตามมาตรฐานสำนักงานสีเขียว Green office (สยาม, 2560) ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy efficiency: EE) ดำเนินการจัดการพลังงานตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (Energy conservation: EC) โดยปรับเปลี่ยนพฤติกรรมกรการใช้พลังงานกำหนดเวลาเปิด-ปิดไฟส่องสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้า (กระทรวงพลังงาน, 2555) ตรวจสอบเช็คซ่อมแซมสภาพอุปกรณ์ใช้พลังงานอย่างสม่ำเสมอ และมาตรการตอบสนองด้านโหลด (Demand response: DR) โดยตอบสนองด้านโหลดต่อกลไกราคา (Price-based options) ใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้

(Time of use rates) การดำเนินการเพื่อลดค่าไฟฟ้ามีการปฏิบัติอย่างต่อเนื่องแต่มีอีกหลายปัจจัยที่ไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ตามเป้าหมายจากแนวโน้มการเสียค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ค่าไฟฟ้ามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร  
ของเดือน มกราคม 2565 ถึงเดือน มีนาคม 2566

จากภาพที่ 3 การเสียค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในแต่ละเดือนแนวโน้มค่าไฟฟ้าสูงขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างอาคารใหม่ การใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นหลังจากวิกฤตโควิด การแก้ปัญหาค่าไฟฟ้านอกจากจะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ชำรุดและใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานอาจจะไม่เพียงพอ การใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ก็เป็นอีกทางเลือกของมหาวิทยาลัยฯ แต่มาพร้อมกับต้นทุนการติดตั้งการดูแลรักษาในแต่ละปี ความคุ้มค่าที่มหาวิทยาลัยฯ ต้องลงทุน ดังนั้นการใช้ไฟฟ้าให้เกิดความคุ้มค่า ลดค่าไฟฟ้า และสามารถขายไฟฟ้าได้ เป็นการบริหารจัดการเกิดประโยชน์กับมหาวิทยาลัยฯ ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ให้เกิดความคุ้มค่าด้วยการกักเก็บใช้ในช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้าต่ำ สามารถกักเก็บไว้เพื่อขาย ด้วยการออกแบบและสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสามารถลดค่าไฟฟ้าและจำหน่ายไฟฟ้า ผู้วิจัยเรียกแบบจำลองนี้ว่า TOUPVES model ซึ่งเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการแก้ไขปัญหาค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ศึกษาการใช้ไฟฟ้าใน สอนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเหมือนกับการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยฯ มีการทำงานเวลา 8.30 น. ถึง 16.30 น. หยุดเสาร์ อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ เทียบกับระบบโซลาร์เซลล์ 2.7 kW และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LifePO4) ปล่อยพลังงานไฟฟ้าได้ 2.5 kWh โดยมีปัจจัยเสริมคือช่วงเวลาการเสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ซึ่งทางมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้ใช้อัตราการเสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU

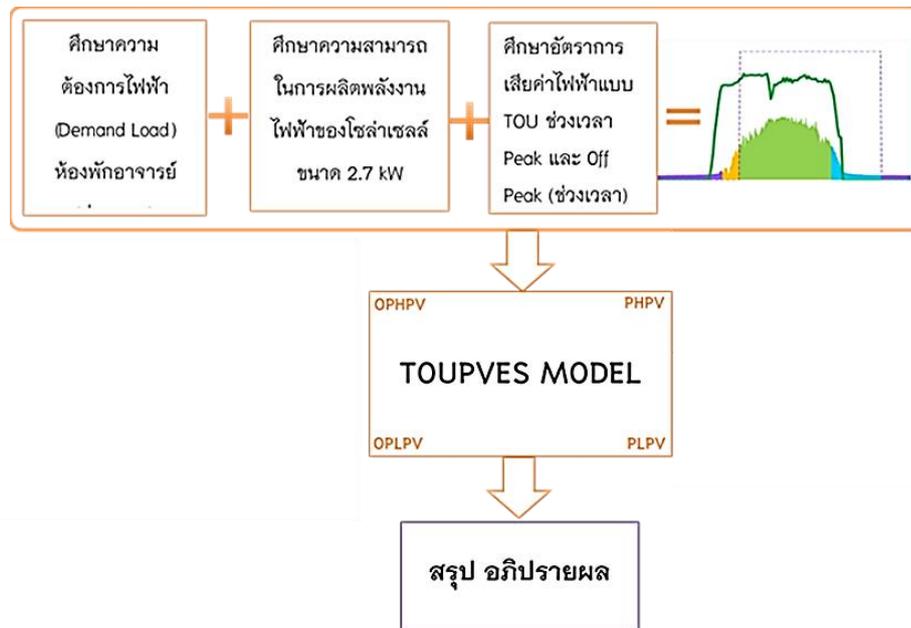
ประเภทที่ 4 และแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมมาวิเคราะห์การประหยัดไฟฟ้าและการขายไฟฟ้า เพื่อเกิดประโยชน์กับมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร และหน่วยงานภาครัฐ ที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแบบเดียวกัน

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

สร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก

## 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย สร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก

จากภาพที่ 4 สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยได้ 4 ขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Side: DS) ทำการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์
2. ศึกษาความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ขนาด 2.7 kW ด้วยการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง

3. ศึกษาการใช้ไฟฟ้าอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้อัตรา TOU ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA)
4. ออกแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model)

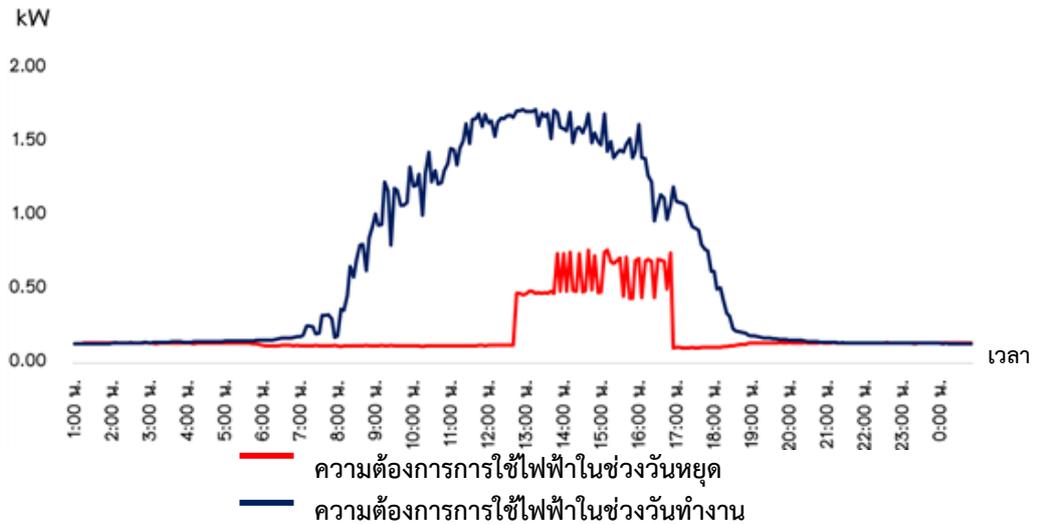
#### 4. ผลการทดลอง

**ผลการศึกษาขั้นตอนที่ 1** ความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด (Demand side : DS) ทำการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ ในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ห้องพักอาจารย์ในสวนพลังงานแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ห้องพักอาจารย์ ในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

เก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยต่อวันเพื่อดูแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Side) อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ ขนาด 18000 btu 1.55 kW 1 เครื่อง ทีวีขนาด 43 นิ้ว 0.13 kW 1 เครื่อง จอคอมพิวเตอร์ 0.06 kW 1 เครื่อง พัดลม 0.05 kW 1 เครื่อง โน้ตบุ๊ก 0.09 kW 2 เครื่อง หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 W 0.018 kW 4 หลอด ตู้เย็น 6.5 คิว 0.08 kW 1 เครื่อง เครื่องกรองน้ำ 0.02 kW 1 เครื่อง กำลังไฟฟ้ารวม 2.142 kW ผลการวัดค่าพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การใช้พลังงานไฟฟ้าห้องพักอาจารย์สวนพลังงาน

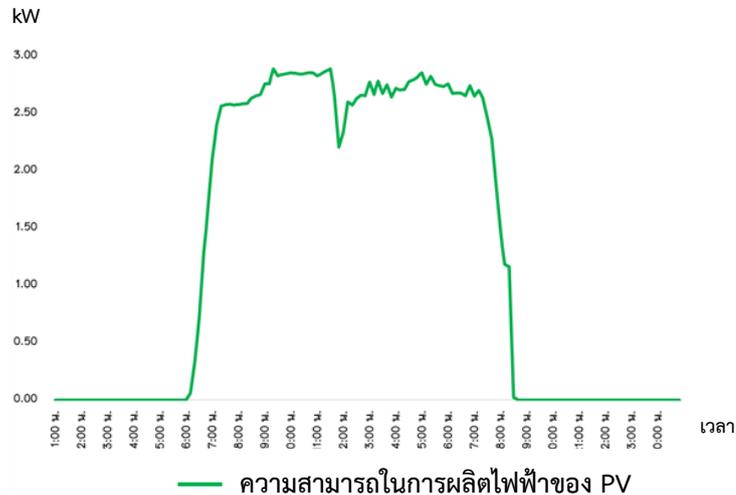
จากภาพที่ 6 แสดงแผนภูมิการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง วันทำงาน ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน 0.64 kWh ช่วงความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Demand side) ตั้งแต่ เวลา 11.00 น. ถึง 16.00 น. ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 1.589 kWh กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด (Load peak) เวลา 13.15 น. กำลังไฟฟ้า 1.72 kW วันหยุด ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน 0.21 kWh ช่วงความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Demand side) ตั้งแต่ เวลา 12.30 น. ถึง 16.30 น. ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.548 kWh กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด (Load peak) เวลา 14.40 น. กำลังไฟฟ้า 0.77 kW

**ผลการศึกษาระดับตอนที่ 2** ความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ขนาด 2.7 kW ด้วยการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง PV แบบ Mono half cell ขนาด 540 W แรงดัน Open circuit 49.53 V กระแส Short circuit current 13.85A จำนวน 5 แผง ต่ออนุกรม ขนาด 2.7 kW แสดงการติดตั้งดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 PV Mono half cell ขนาด 540 W ต่ออนุกรม ขนาด 2.7 kW ในสวนพลังงาน

### ข้อมูลความสามารถการผลิตไฟฟ้าของ PV แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV

จากภาพที่ 8 กราฟแสดงการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ขนาด 2.7 kW เริ่มผลิตกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้น เวลา 6.30 น. และเริ่มสูงขึ้นตั้งแต่เวลา 07.30 น. ถึง 17.30 น. อาทิตย์ ตกเวลา 18.30 น. ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ 2.89 kW ในเวลา 11.30 น. และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของ PV เฉลี่ย 1.29 kWh

**ผลการศึกษาค้นตอนที่ 3** การใช้ไฟฟ้าอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้อัตรา TOU ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) ได้กำหนดอัตราค่าไฟฟ้า TOU ตามรูปแบบของการใช้ไฟฟ้าซึ่งมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร อยู่ในประเภทที่ 4

อัตราค่าไฟฟ้าคิดจากการแบ่งเวลาในแต่ละวันของสัปดาห์ออกเป็น 3 ช่วงตามอัตรา TOU คือ

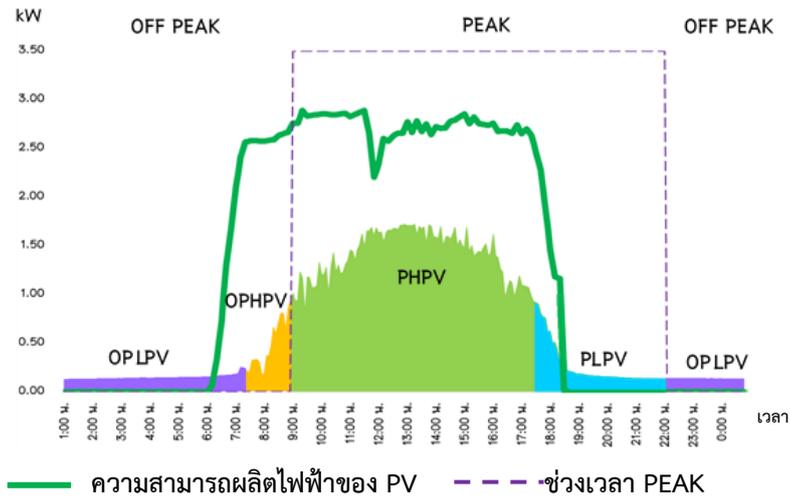
ช่วง P (PEAK) ระหว่างเวลา 9.00 - 22.00 น. วันจันทร์ถึงวันศุกร์ที่ และวันพืชมงคล ค่าไฟฟ้า ต่อหน่วย 4.1839 บาท

ช่วง OP (OFF PEAK) ระหว่างเวลา 22.00 - 9.00 น. วันจันทร์ถึงวันศุกร์ และวันพืชมงคล ค่าไฟฟ้า ต่อหน่วย 2.6037 บาท

ช่วง H (HOLIDAYS) หรือ วันหยุด ระหว่างเวลา 0.00 - 24.00 น. ของวันเสาร์ วันอาทิตย์ และวันแรงงานแห่งชาติ, วันพืชมงคลที่ตรงกับวันเสาร์ - อาทิตย์ และวันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ค่าไฟฟ้า ต่อหน่วย 2.6037 บาท

**ผลการออกแบบขั้นตอนที่ 4** แบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model) เป็นการจัดการด้านไฟฟ้าการตอบสนองด้านโหลด (DR management) ด้วยการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้า ในช่วงอัตราค่าไฟฟ้า TOU ที่สอดคล้องกับ

ความสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เพื่อนำพลังงานมากักเก็บ (ES) ช่วงเวลาของการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ผู้วิจัยเรียกรูปแบบการจำลอง นี้ว่า TOUPVES การแบบจำลองการแสดงดังภาพที่ 9

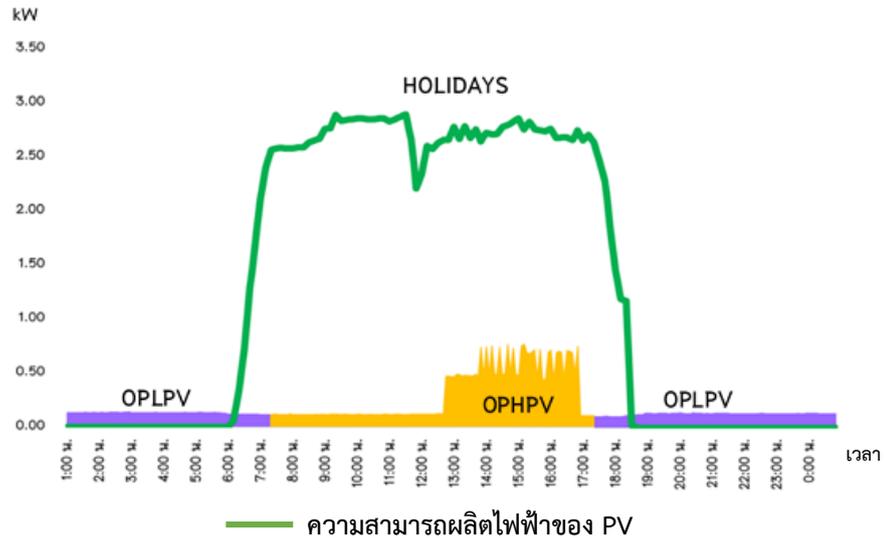


ภาพที่ 9 ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ PV กับ อัตรา TOU  
เทียบกับการใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ช่วงวันทำงาน

ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV กับอัตราค่าไฟฟ้าในช่วงเวลา TOU ซึ่งสามารถแบ่งช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ออกเป็น 4 ช่วง เวลา ดังนี้

1. OPLPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ต่ำ แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 01.01 น. ถึง 07.30 น. และเวลา 22.01 น. ถึง 01.00 น. รวมระยะเวลา 9 ชั่วโมง 30 นาที
2. OPHPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สูง เริ่ม ตั้งแต่เวลา 07.31 น. ถึง 09.00 น. รวมระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที
3. PHPV ช่วงเวลา Peak อัตราค่าไฟฟ้าสูง 4.1839 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สูง เริ่ม ตั้งแต่เวลา 09.01 น. ถึง 17.30 น. รวมระยะเวลา 8 ชั่วโมง 30 นาที
4. PHPV ช่วงเวลา Peak อัตราค่าไฟฟ้าสูง 4.1839 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ต่ำ เริ่ม ตั้งแต่เวลา 17.31 น. ถึง 22.00 น. รวมระยะเวลา 4 ชั่วโมง 30 นาที

### ผลการวิเคราะห์ภาพรวมของช่วงวันหยุดแสดงดัง ภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ PV กับ อัตรา TOU  
เทียบกับการใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ช่วง วันหยุด

ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV กับอัตราค่าไฟฟ้า TOU ซึ่งสามารถแบ่งช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้าได้เพียง 2 ช่วงเวลาดังนี้

1. OPLPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ต่ำ แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 01.00 น. ถึง 07.30 น. และเวลา 17.31 น. ถึง 10.00 น. รวมระยะเวลา 14 ชั่วโมง

2. OPHPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สูง เริ่ม ตั้งแต่เวลา 07.31 น. ถึง 17.30 น. รวมระยะเวลา 10 ชั่วโมง

จากนั้นนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและการกักเก็บไฟฟ้า จากช่วงเวลา TOU และ ความสามารถผลิตไฟฟ้าของ PV มาทำการวิเคราะห์ความเหมาะสม โดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจ ได้แก่

1. **ความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy security)** คือการกักเก็บพลังงานให้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอทั้งในปัจจุบันและกักเก็บไว้ใช้ในอนาคัด หรือใช้ในช่วงวิกฤต เงื่อนไขกักเก็บช่วง Off-Peak or ช่วงที่โซลาร์เซลล์สามารถผลิตไฟฟ้า (High PV) และไม่มีการใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ No discharge

2. **เลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า (Load shifting)** คือการเลื่อนการใช้ไฟฟ้าจากช่วง Peak มาสู่ Off-Peak โดยผู้ใช้ไฟฟ้า (ข้อมูลจาก EGAT) เงื่อนไขใช้ไฟฟ้า ช่วง Off-peak



3. การซื้อไฟฟ้าถูกขายไฟฟ้าแพง (Buy low, Sell high) คือการกักเก็บไฟฟ้าไว้ขายในช่วงเวลา Off peak และนำมาขายในช่วงราคาไฟฟ้าแพง Peak เงื่อนไขกักเก็บช่วง Off-peak หรือช่วงที่โซล่าเซลล์สามารถผลิตไฟฟ้า HPV ขายไฟฟ้าช่วง Peak

### ได้ TOUPVES model ในวันทำงาน ดังนี้

**OPLPV** ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 0.332 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 01.01 น. ถึง 07.30 น. และ เวลา 22.01 น. ถึง 01.00 น. รวมระยะเวลา 9 ชั่วโมง 30 นาที เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.287 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า และไม่กักเก็บไฟฟ้า (ไม่ชาร์จแบตเตอรี่)

**OPHPV** ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 2.621 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 07.30 น. ถึง 09.00 น. รวมระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.544 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์และหากโซล่าเซลล์ไม่พอกรณีไม่มีแดดจะใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแทน และแบตเตอรี่ชาร์จไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ และขายไฟฟ้าได้ในอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย หากโซล่าเซลล์มีความสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าค่ามากกว่า 0.5 kWh

**PHPV** ช่วงเวลา Peak อัตราค่าไฟฟ้าสูง 4.1839 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 2.732 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 09.01 น. ถึง 17.30 น. รวมระยะเวลา 8 ชั่วโมง 30 นาที โดยที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 1.412 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ และ แบตเตอรี่ชาร์จไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ และเป็นช่วงเวลาของการขายไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ อัตราค่าไฟฟ้า 4.1839 บาทต่อหน่วย หากโซล่าเซลล์มีความสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าค่ามากกว่า 0.5 kWh

**PLPV** ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าสูง 4.1839 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 0.325 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 17.31 น. ถึง 22.00 น. รวมระยะเวลา 4 ชั่วโมง 30 นาที โดยที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.252 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ พร้อมกับขายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่หากแบตเตอรี่มีพลังงานไฟฟ้ามากกว่า 1 kWh

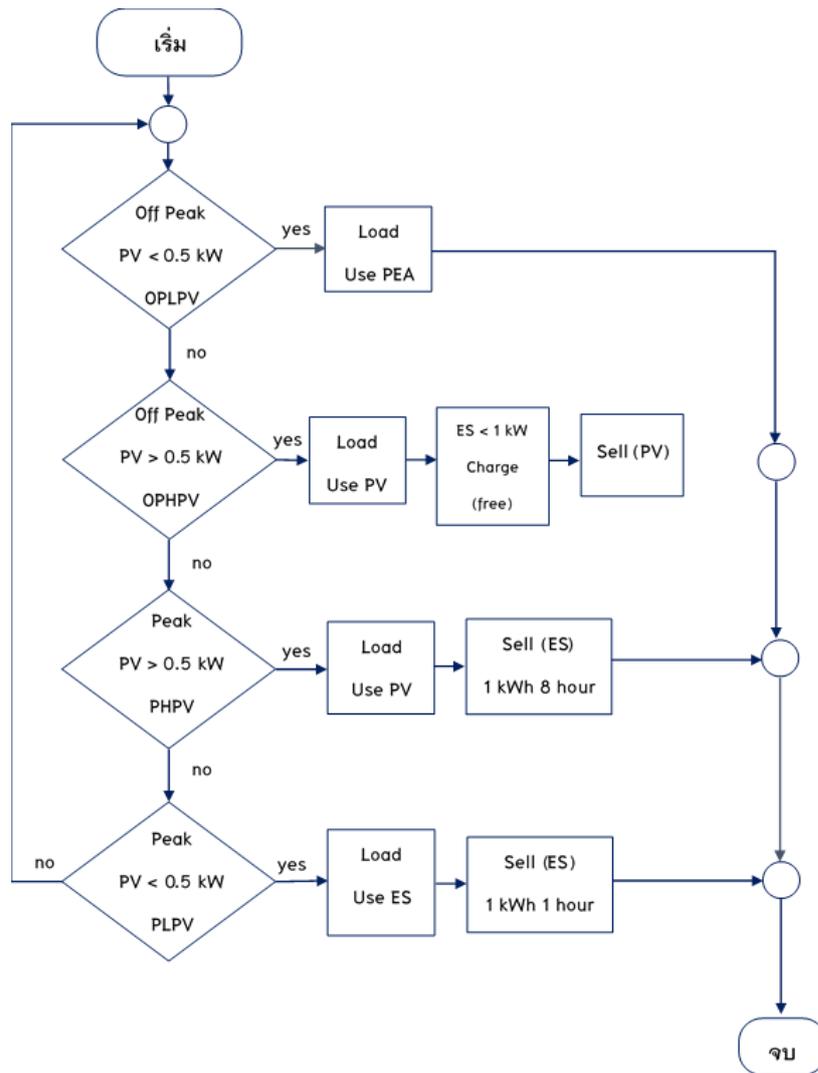
## TOUPVES model ในวันหยุด ดังนี้

OPLPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 0.263 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 01.00 น. ถึง 07.30 น. และ เวลา 17.31 น. ถึง 10.00 น. รวมระยะเวลา 14 ชั่วโมง เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.287 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า และไม่กักเก็บไฟฟ้า (ไม่ชาร์จแบตเตอรี่)

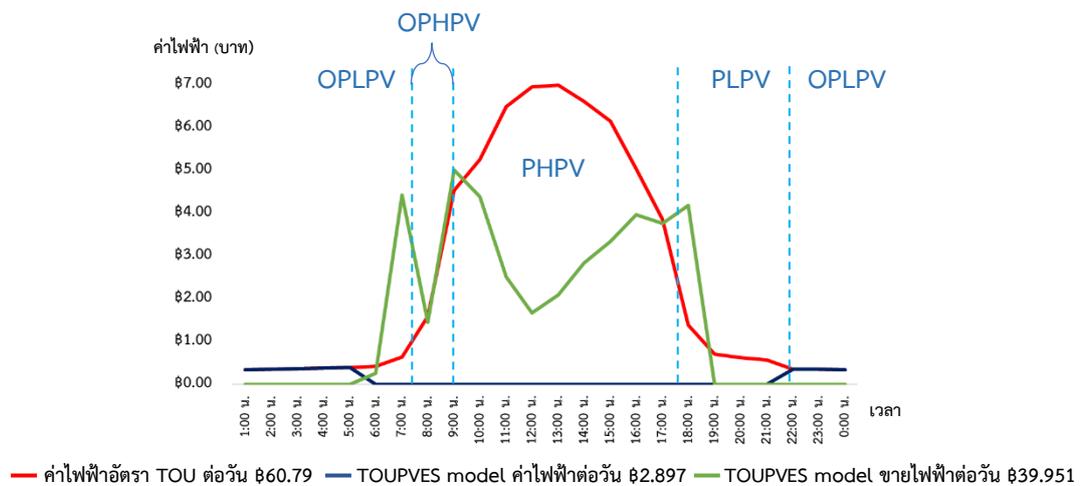
OPHPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 2.715 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 07.31 น. ถึง 17.30 น. รวมระยะเวลา 10 ชั่วโมง เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.311 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจาก PV ถ้า มีค่ามากกว่า 0.5 kWh และแบตเตอรี่ชาร์จไฟฟ้าจาก PV และขายไฟฟ้าได้ในอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย

สร้าง Algorithm ของ TOUPVES model เปลี่ยน HPV และ LPV ให้เป็นค่าของตัวเลขตามประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ 540W MONO BQ SOLAR 5 20% ซึ่งจากการทดลองจากขั้นตอนที่ 1 พบว่า โซลาร์เซลล์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด เท่ากับ 2.89 kW ดังนั้นเงื่อนไขของคำว่า HPV จะหมายถึงว่า PV > 20% นั้นหมายความว่า PV > 0.5 kW ส่วน LPV หมายถึง PV < 0.5 kW และในส่วนของการกักเก็บพลังงาน ES ของแบตเตอรี่ ถึงแม้ผู้วิจัยจะใช้แบตเตอรี่ Huawei LUNA 2000 Battery smart kit 5 kW (DOD 100%) ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ ชนิด Lithium Iron Phosphate (LFP) มีค่า DOD 100% เพื่อเป็นการป้องกันระบบและยืดอายุการทำงานของ แบตเตอรี่ ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ แบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานไม่ต่ำกว่า 40% ของค่าสูงสุดของ แบตเตอรี่คือ 1 kW นั้นหมายความว่า ES < 1 kW, ES > 1 kW) ตามเงื่อนไข ซึ่งแสดง Algorithm ของ TOUPVES model ดังภาพที่ 11

จาก Algorithm TOUPVES model มาวิเคราะห์ผล การเสียค่าไฟฟ้าแบบอัตรา TOU ปกติ และการเสียค่าไฟฟ้าเมื่อผ่าน TOUPVES model และ ความสามารถในการขายไฟฟ้าต่อวัน วันทำงานแสดงดังภาพที่ 12 และ วันหยุด แสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 11 Algorithm ของ TOUPVES model



ภาพที่ 12 กราฟเปรียบเทียบการเสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ปกติ และการเสียค่าไฟฟ้าและขายไฟฟ้า  
เมื่อผ่าน TOUPVES model ของวันทำงาน

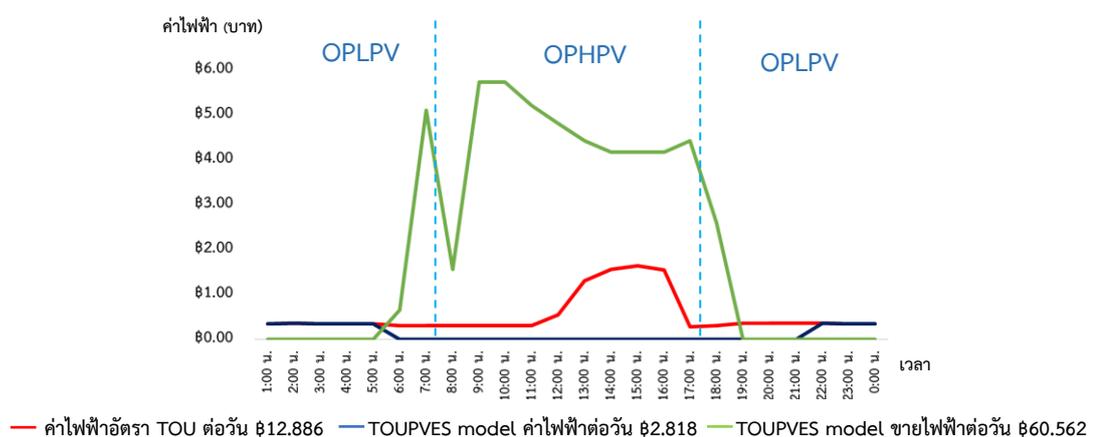
จากภาพที่ 12 เสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ต่อวัน 60.79 บาท ตามเส้นกราฟสีแดงเปรียบเทียบกับ การเสียค่าไฟฟ้าและขายไฟฟ้าโดยพิจารณาแต่ละช่วงเวลาของ TOUPVES model ของวันทำงาน ดังนี้

1. OPLPV ช่วงเวลา Off-peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ต่ำ แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 01.01 น. ถึง 07.30 น. และ เวลา 22.01 น. ถึง 01.00 น. Load ใช้ไฟฟ้าจาก PEA ดังนั้นช่วงนี้จึงเสียค่าไฟฟ้าตามเส้นกราฟสีน้ำเงิน รวมเสียค่าไฟฟ้าในช่วงนี้ต่อวัน 2.897 บาท Load จะใช้ไฟฟ้าจาก PV และสามารถขายไฟฟ้าได้ ถ้า PV มากกว่า 0.5 kWh

2. OPHPV ช่วงเวลา Off-peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สูง เริ่ม ตั้งแต่เวลา 07.31 น. ถึง 09.00 น. Load ใช้ไฟฟ้าจาก PV หาก PV มีค่ามากกว่า 0.5 kWh PV จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน (ES) ช่วงนี้จะไม่มีการขายไฟฟ้าสังเกตจากรูปเส้นสีเขียวกราฟจะต่ำ

3. PHPV ช่วงเวลา Peak อัตราค่าไฟฟ้าสูง 4.1839 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สูง เริ่ม ตั้งแต่เวลา 09.01 น. ถึง 17.30 น. Load ใช้ไฟฟ้าจาก PV กักเก็บพลังงานไว้ที่แบตเตอรี่ หาก PV ยังมีค่ามากกว่า 0.5 kW ก็นำพลังงานไฟฟ้าที่เหลือไปขาย

4. PLPV ช่วงเวลา Peak อัตราค่าไฟฟ้าสูง 4.1839 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ต่ำ เริ่ม ตั้งแต่เวลา 17.31 น. ถึง 22.00 น. Load ใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ สามารถขายไฟฟ้าจาก PV ก่อนดวงอาทิตย์ตก โดยรวมสามารถขายไฟฟ้าต่อวันได้ 39.951 บาท



ภาพที่ 13 กราฟเปรียบเทียบการเสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ปกติ และการเสียค่าไฟฟ้าและขายไฟฟ้าเมื่อผ่าน TOUPVES model ของวันหยุด

จากภาพที่ 13 พิจารณาตามช่วงเวลาของ TOUPVES model วันหยุด ดังนี้

1. OPLPV ช่วงเวลา Off-peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 0.263 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 01.00 น. ถึง 07.30 น. และ เวลา 17.31 น. ถึง 10.00 น. Load ใช้ไฟฟ้าจาก PEA ดังนั้นช่วงนี้จึงเสียค่าไฟฟ้าตามเส้นกราฟสีน้ำเงิน รวมการเสียค่าไฟฟ้าในช่วงนี้ต่อวัน 2.818 บาท แต่ช่วงดวงอาทิตย์ขึ้น เริ่ม เวลา 6.00 น. โดยประมาณ ถ้า PV มากกว่า 0.5 kWh Load จะใช้ไฟฟ้าจาก PV และสามารถขายไฟฟ้าได้ในช่วงนี้

2. OPHPV ช่วงเวลา Off-peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 2.715 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 07.31 น. ถึง 17.30 น. Load ใช้ไฟฟ้าจาก PV หาก PV มีค่ามากกว่า 0.5 kWh PV จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน (ES) ช่วงนี้จะไม่มีการขายไฟฟ้าสังเกตจากรูปเส้นสีเขียวกราฟจะต่ำ

โดยรวมสามารถขายไฟฟ้าต่อวันได้ 60.562 บาท การเสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ต่อวัน 12.886 บาท ตามเส้นกราฟสีแดง

## 5. สรุปผลการวิจัย

จากปัญหาค่าไฟฟ้าที่สูงสาเหตุหลักมาจากค่า ft ที่สูงขึ้นปัจจัยหลักคือการผันผวนของสถานการณ์โลก ดังนั้นการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานจึงมีความจำเป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้ตัวเอง จากพลังทดแทนไม่ว่าจะเป็นพลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น การบริหารจัดการการนำไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนไปใช้จึงต้องมีแผนรองรับเช่น แผนแม่บทพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทยซึ่งขณะนี้ดำเนินงานแผนพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอยู่ในระยะปานกลาง พ.ศ. 2565-2574 (สมาร์ตกริดไทยแลนด์, 2565) เป้าหมาย “ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ และการจัดการทรัพยากรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จำเป็น รองรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ายุคใหม่อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” ดังนั้นแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก สวมพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้ตอบสนองตามแผนโครงข่ายสมาร์ทกริดระยะปานกลางตามเสาหลักที่ 1 การตอบสนองด้านโหลด และระบบบริหารจัดการพลังงาน (DR & EMS) และ เสาหลักที่ 4 ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ถึงแม้จะมีการลงทุนสูงแต่ก็คุ้มค่าต่อการลงทุน ตัวอย่างสถาบันการศึกษาอย่างเช่นมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรเป็นหน่วยงานภาครัฐที่ใช้ไฟฟ้าสูงจะต้องปรับตัวให้ทันต่อวิกฤตดังกล่าวอีกทั้งยังเป็นสถานที่น่าร้องเพื่อการศึกษากิจการพลังงานไฟฟ้าด้านผู้ใช้ (Demand respond) และบริหารจัดการด้วยระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2565) ผลพลอยได้ยังบรรเทาการเกิดกราฟรูปเป็ด (Duck curve) ไม่เป็นภาระในการใช้ไฟฟ้าหลักดวงอาทิตย์ตก ถึงแม้การลงทุนแบตเตอรี่ในปัจจุบันจะสูงแต่จากการวิเคราะห์ของธนาคารกรุงไทย (ธนาคารกรุงไทย, 2021)

ซึ่งเป็นธนาคารที่ให้เงินกู้สำหรับการลงทุนการติดตั้ง โซลาร์เซลล์บนหลังคา (Roof top) โดยอ้างอิงข้อมูลจาก Mordor intelligence (2564) Bloomberg NEF (2563) พุดถึงแบตเตอรี่ลิเธียม เป็นเทคโนโลยีของแบตเตอรี่ที่กำลังได้รับความนิยมมากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากมีส่วนแบ่งตลาดที่ 27.5% ซึ่งมากที่สุดคาดว่าทั่วโลกมีแนวโน้มเติบโตถึง 20% ต่อปี ในช่วงปี 2563-2568 ตามกระแส Green economy สำหรับในไทย คาดว่ามีความต้องการแบตเตอรี่ลิเธียม เพิ่มขึ้นเช่นกันเฉลี่ยที่ 12% ต่อปี ในช่วงปี 2563-2568 ทั้งนี้ จากความต้องการแบตเตอรี่ลิเธียม ที่มีแนวโน้มเติบโต และกำลังได้รับความนิยมนานาชาติทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง ซึ่งรวมถึงการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบให้ต้นทุนลดลง และการคิดค้นแบตเตอรี่ลิเธียม ประเภทใหม่ที่ชื่อว่า “Solid state battery” ซึ่งคาดว่าจะมีความจุมากขึ้น และชาร์จไฟฟ้าได้เต็มเร็วขึ้น อีกทั้ง มีความทนทานต่อการใช้งานที่เพิ่มขึ้น และยังอ้างอิง European federation for transport & Environment ที่ประเมินว่าความจุของแบตเตอรี่ลิเธียม จะถูกพัฒนาจนความจุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 75%-100% ในระยะ 4-9 ปี ข้างหน้า นอกจากนี้ ตัวแบตเตอรี่จะมีอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นด้วยจาก 10-15 ปี การเติบโตของการใช้แบตเตอรี่ลิเธียม จะหนุนให้ผู้ผลิตเพิ่มกำลังการผลิตมากขึ้น จนเกิดการประหยัดจากขนาด (Economy of scale) ทั้งหมดนี้ จะช่วยหนุนให้ต้นทุนการผลิตแบตเตอรี่ลิเธียม มีทิศทางลดลง 8.9% ต่อปี ในช่วงปี 2563-2573 และการที่ต้นทุนแบตเตอรี่ลดลง จะทำให้ราคาแบตเตอรี่ลิเธียม ลดตาม จะเห็นได้ว่าภายในไม่กี่ปีข้างหน้าแบตเตอรี่มีราคาถูกลงการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์มาบริหารจัดการทั้งนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้และนำไปขายโดยเฉพาะตามหลักของแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model) จะเป็นตัวแบบที่สามารถตอบโจทย์ให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามาเป็นผู้ขายไฟฟ้า (Prosumers) กักเก็บพลังงานที่เชื่อมต่อด้านหลังมิเตอร์ (Behind the meter: BTM) ของลูกค้าภาคครัวเรือน (Residential) ภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม (Commercial and Industrial, C&I) เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายเป็นหลักโดยลดการใช้พลังงานในช่วงที่มีความต้องการสูงและเพิ่มการใช้พลังงานที่ผลิต ได้ด้วยตนเอง (Self-consumption) ตอบโจทย์ตามเงื่อนไขด้านความมั่นคงพลังงาน (Energy security) ด้านเลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า (Load shifting) และ ด้านการซื้อขายไฟฟ้า ซื้อถูกขายแพง (Buy low, Sell high)

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหาร เจ้าหน้าที่ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรที่สนับสนุนและให้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยขอขอบคุณเพื่อนร่วมงาน อาจารย์ เจ้าหน้าที่และนักศึกษาที่ช่วยในการเก็บข้อมูล และสุดท้ายอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพะเยาที่ให้คำแนะนำทั้งองค์ความรู้และแนวทางการดำเนินการวิจัย

## 7. เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพลังงาน. (2555). การบริหารจัดการอาคารด้วยระบบ Building Automation System (BAS) เพื่อการประหยัดพลังงาน. ค้นจาก <http://www.energysavingmedia.com/news/page.php>
- กระทรวงพลังงาน. (2557). Solar power. In the Encyclopedia of Alternative Energy. ค้นจาก <https://ienergyguru.com/2015/02/พลังงานแสงอาทิตย์>
- กระทรวงพลังงาน. (2558). เป้าหมายของการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในช่วง 3 ระยะ. แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579, 29-35.
- กระทรวงพลังงาน. (2565). คู่มือโครงการพัฒนาแผนการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมรรถนะของประเทศไทย ระยะปานกลาง พ.ศ. 2565-2574. ค้นจาก <https://thai-smartgrid.com>
- กระทรวงพลังงาน (2565). แผนการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมรรถนะของประเทศไทยระยะปานกลาง พ.ศ. 2565- 2574, 43- 45. ค้นจาก <https://www.eppo.go.th/index.php/th/eppo-intranet/item/17705-news-210165>
- กองอัตรากำลังและธุรกิจไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2566). **ชี้แจงค่า Ft สำหรับเรียกเก็บจากผู้ใช้ไฟฟ้าในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้า**. ค้นจาก <https://www.pea.co.th>.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิต. (2565). ตัวอย่างเทคโนโลยีการติดตั้งโซลาร์เซลล์ในปัจจุบัน “Peer-to-Peer Energy Trading” แพลตฟอร์มซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแห่งอนาคต. ค้นจาก <https://www.egat.co.th/home/20220916-art01/>
- ไกรพัฒน์ จินขจร. (2550). พลังงานหมุนเวียน. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ธนาคารกรุงไทย. (2021). วิเคราะห์ธุรกิจแบตเตอรี่ Lithium-ion. ค้นจาก <https://thaipublica.org/2021/05/krungthai-compass28/>
- ไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2554). โครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid). ค้นจาก <http://www.ee.eng.chula.ac.th/smartgrids/index.php/smart-grids/80--smart-grids/smart-grid-doc/72>
- ยอดธง เม่นสิน, นิพนธ์ เกตุจ้อย, วิสุทธิ์ แซ่มสะอาด, ธวัช สุริวงษ์, พรทิพย์ เม่นสิน, มาลินี แก้วปัญหา, พัชรินทร์ เขียวรัตน์, และประพิศารีย์ ธนารักษ์. (2565). เทคโนโลยีสมรรถนะกริดกับการเปลี่ยนผ่านพลังงานไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน. วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้และเทคโนโลยี, 2(2), 10-26.
- วัชร มั่งวิฑิตกุล. (2550). กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงาน สำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: บริษัท เรียบ ยู พาวเวอร์ จำกัด.



- สมพล โคศรี. (2554). ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ตกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.
- EhsanReihani. (2014). Energy management at the distribution grid using a battery Energy Storage System (BESS). **Electrical Power and Energy Systems**, 337-344.
- Jason, S. (2023). **Best Solar Inverters 2023**. ค้นจาก <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/best-grid-connect-solar-inverters-sma-fronius-solaredge-abb>.
- Jason, S. (2023). **Most Efficient Solar Panels 2023**. Clean energy reviews. ค้นจาก <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>.
- Yubo, W. (2016). Energy management for a commercial building microgrid with stationary and mobile battery storage. **Energy and Buildings**, 141-150.



การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบไม้กวาดดอกหญ้า บ้านร้องส้มม่วง  
ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก  
PRODUCT DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE BROOM BAN RONG  
SOM MUANG, CHAI NAM SUBDISTRICT, WANG THONG DISTRICT,  
PHITSANULOK PROVINCE

ปรารภนา ศิริसानต์<sup>1\*</sup>, ฐิติมา ขุนอินทร์<sup>2</sup>, ประภฤกษ์ นวลเป่า<sup>2</sup>

Prattana Sirisan<sup>1</sup>, Thitima Khunin<sup>2</sup>, Prakrit Naulpaow<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>156 หมู่ 5 อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

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

<sup>2</sup>156, M.5, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

\*Corresponding author e-mail: s\_prattana@hotmail.com

วันที่เข้ารับ 30 มกราคม 2566

วันที่แก้ไขบทความ 29 มิถุนายน 2566

วันที่ตอบรับบทความ 30 มิถุนายน 2566

### บทคัดย่อ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ เพื่อสร้างอัตลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยประการที่ 1 เพื่อพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์ และตราสัญลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก ประการที่ 2 เพื่อศึกษาความพึงพอใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก ผู้วิจัยใช้วิธีการวิจัยโดยการเก็บข้อมูลด้วยการสังเกตการณ์ การสัมภาษณ์และแจกแบบสอบถาม แบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 คือการพัฒนาตราสัญลักษณ์ และผลิตภัณฑ์ต้นแบบของกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้า ผู้วิจัยทำการออกแบบไม้กวาดดอกหญ้ารูปร่างใหม่ ให้ตอบโจทย์กลุ่มเป้าหมาย และจำหน่ายง่าย ใช้แนวคิดในการออกแบบ คือ รูปร่างใหม่มีขนาดเล็กโดยมีการย้อมสีดอกหญ้าจากสีธรรมชาติ ออกแบบให้มีความทันสมัยยิ่งขึ้น โดยคำนึงถึงกระบวนการผลิตที่สามารถผลิตได้ และใช้เวลาไม่มากนัก และขั้นตอนสุดท้าย คือ การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อรูปแบบผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาความพึงพอใจการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ เพื่อสร้างอัตลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้า พบว่า รูปแบบและสีสันทันของผลิตภัณฑ์ไม้กวาดดอกหญ้า มีความเหมาะสม และมีความสวยงาม โดยแสดงความพึงพอใจโดยรวมตามลำดับ ดังนี้ รูปแบบที่ 1 แสดงความพึงพอใจ ( $\bar{X} = 4.50$ ) อยู่ในระดับความพึงพอใจมาก รูปแบบที่ 3 แสดงความพึงพอใจ ( $\bar{X} = 4.35$ ) อยู่ในระดับความ

พึงพอใจมาก และรูปแบบที่ 2 แสดงความพึงพอใจ ( $\bar{X} = 4.10$ ) อยู่ในระดับความพึงพอใจมาก จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ สามารถผลิตได้เป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ และเป็นเอกลักษณ์สำหรับกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร่องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

**คำสำคัญ:** ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ, อัตลักษณ์, ไม้กวาดดอกหญ้า

### Abstract

The objectives of this research were to develop a prototype product of grass brooms at Ban Rong Som Muang, Chai Nam Sub-district, Wang Thong District, Phitsanulok Province, create a logo of the brooms, and study clients' satisfaction towards product development and prototype packaging. The data were collected by using an observation, an interviewing schedule and a questionnaire. The research consisted of 2 steps. First, the development of the logo and the prototype product of the grass brooms by designing a new type of grass brooms to meet the needs of the target group and easy to sell by using the design concept of a new small size by dyeing grass flowers from natural colors making them to be more modern based on the production process produced less time. Second, the satisfaction of consumers with the product design was assessed. The results showed that the patterns and colors of grass broom products were appropriate and beautiful. In terms the clients' satisfaction, Model 1 was at a very high level ( $\bar{X} = 4.50$ ), Model 3 was at a very high level ( $\bar{X} = 4.35$ ), and Model 2 was at a high level ( $\bar{X} = 4.10$ ). Therefore, the development of prototype products can add value and uniqueness to the brooms of Ban Rong Som Muang, Chai Nam Sub-district, Wang Thong District, Phitsanulok Province.

**Keywords:** Original product, Identity, Grass broom

### 1. บทนำ

การสร้างสรรคงานหัตถกรรม เป็นงานที่แสดงให้เห็นถึงวัฒนธรรมประเพณี หรือความเชื่อทางศาสนาของกลุ่มพื้นที่นั้นๆ เป็นงานช่างที่ทำด้วยฝีมือ หรือกระบวนการผลิตสิ่งของด้วยมือ โดยการใช้แรงงานฝีมือเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิต หรืออุปกรณ์อย่างง่าย โดยอาศัยทักษะความชำนาญสามารถใช้วัสดุที่หาได้ตามท้องถิ่น วัตถุดิบที่อยู่ในธรรมชาติ นำมาพัฒนาและดัดแปลงเกิดเป็น



ผลิตภัณฑ์ เพื่อประโยชน์ในการใช้สอยพื้นฐานในชีวิตประจำวัน และอำนวยความสะดวก หรือของ ตกแต่งต่างๆ ขึ้น

ไม้กวาดดอกหญ้าเป็นงานที่ทำด้วยมือ เดิมทีสมาชิกในครัวเรือนจัดทำไม้กวาดดอกหญ้ารูปร่างทั่วไปสามารถพบเห็นได้ตามท้องตลาดเพื่อใช้ในครัวเรือนและจัดจำหน่ายเป็นอาชีพเสริม ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้มากขึ้น โดยยังคงภูมิปัญญาท้องถิ่น ที่มีการทำด้วยมือ ใช้วัสดุธรรมชาติ สร้างสรรค์รูปแบบใหม่เพิ่มมูลค่าโดยการย้อมสีธรรมชาติเพื่อความสวยงาม ซึ่งการมีคุณลักษณะที่เฉพาะตน เป็นปัจเจกแตกต่างเพื่อความโดดเด่น ปัจจุบันการแข่งขันทางการตลาดเพิ่มสูงขึ้น สภาพการตลาดมีการแข่งขันสูงและความก้าวหน้าของเทคโนโลยีรวดเร็ว ส่งผลให้มีผลิตภัณฑ์ใหม่จำนวนมาก จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ให้มีความต่าง เพื่อให้สอดคล้องและเป็นทางเลือกของผู้บริโภคอยู่เสมอ การสร้างอัตลักษณ์ พัฒนาหรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ให้เป็นที่ต้องการ สะดุดแก่ผู้พบเห็น หรือผู้บริโภคจะสามารถส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นมียอดขายที่เพิ่มขึ้นเป็นที่ต้องการ เข้าถึงตลาดอย่างง่าย รวมไปถึงเป็นการส่งเสริมการขายอีกส่วนหนึ่ง โดยการเข้าถึงกลุ่มสังคมสมัยใหม่ เพื่อให้สามารถกระจายกลุ่มเป้าหมาย และส่งเสริมภูมิปัญญาพื้นถิ่นให้แพร่หลาย ให้เกิดความน่าสนใจมากขึ้น

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก เป็นกลุ่มชุมชนที่สร้างสรรค์งานฝีมือ ที่มีคุณภาพสะท้อนความปราณีตอดทน มีเทคนิควิธีการในกระบวนการผลิตที่เกิดจากภูมิปัญญาชาวบ้านเดิมอยู่แล้วการสร้างอัตลักษณ์เฉพาะที่โดดเด่น โดยการย้อมสีธรรมชาติ เพื่อเป็นการส่งเสริมผลิตภัณฑ์ชุมชนและท้องถิ่น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก โดยการออกแบบให้มีความโดดเด่น สร้างความน่าสนใจให้กับผลิตภัณฑ์ ให้มีความงามแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกัน เพื่อเป็นการเสนอแนวทางในการต่อยอดภูมิปัญญา เพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ชุมชน และส่งเสริมรายได้ให้กับผู้ผลิต และสามารถยกระดับชุมชนตลอดจนต่อยอดสู่การส่งออกต่างประเทศได้

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

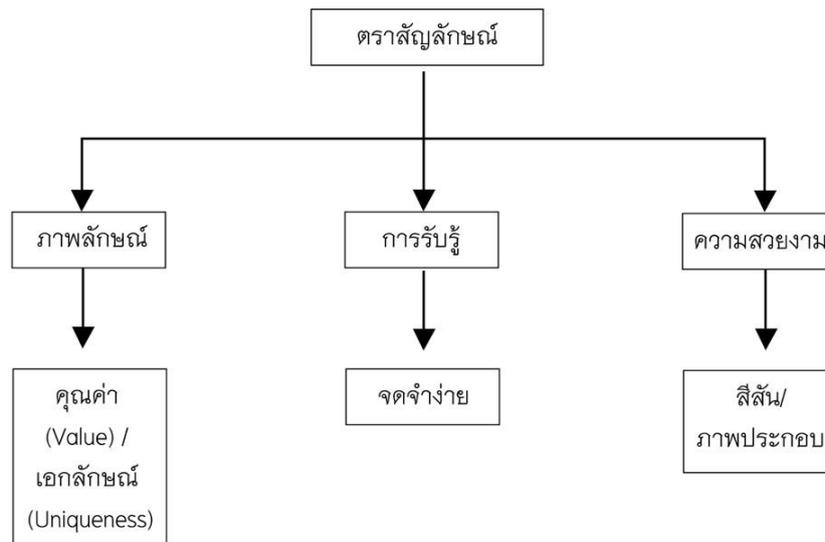
2.1 เพื่อพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์ และตราสัญลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

2.2 เพื่อศึกษาความพึงพอใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

### 3. กรอบแนวคิดและสมมุติฐาน

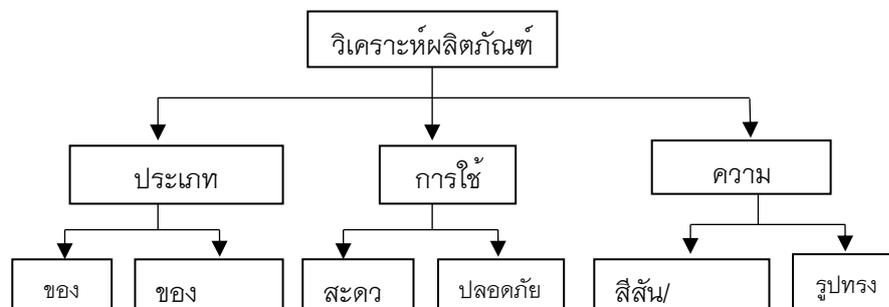
3.1 เพื่อพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์ และตราสัญลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

3.1.1 การออกแบบตราสัญลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก



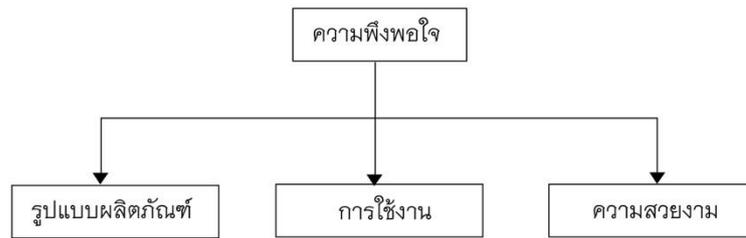
ภาพที่ 1 กรอบการออกแบบตราสัญลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

3.1.2 การออกแบบผลิตภัณฑ์ไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก



ภาพที่ 2 กรอบการออกแบบผลิตภัณฑ์ไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

3.2 เพื่อศึกษาความพึงพอใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก



ภาพที่ 3 กรอบความพึงพอใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้า บ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

#### 4. วิธีดำเนินงานวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ เพื่อสร้างอัตลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก มีวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ เพื่อพัฒนาตราสัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์ของกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก และเพื่อศึกษาความพึงพอใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก ดังนี้

##### ขอบเขตของโครงการวิจัย

**ประชากร** ได้แก่ กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก และกลุ่มผู้ที่สนใจผลิตภัณฑ์ไม้กวาดดอกหญ้า

**กลุ่มตัวอย่าง** ได้แก่ การสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 1 กลุ่ม และกลุ่มผู้ที่สนใจผลิตภัณฑ์ไม้กวาดดอกหญ้า ในจังหวัดพิษณุโลก จำนวน 100 คน

##### ตัวแปรที่ทำการศึกษา

**ตัวแปรต้น** ได้แก่ รูปแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

**ตัวแปรตาม** ได้แก่ ความพึงพอใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

##### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

**วัตถุประสงค์ที่ 1** เพื่อพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์ และตราสัญลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก



เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลในส่วนการศึกษารูปแบบและสีสันทองผลิตภัณฑ์ คือแบบสอบถามความเหมาะสมของรูปแบบและสีสันทที่สามารถประยุกต์ใช้ได้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อสอบถามถึงความเหมาะสมของแนวคิดในการออกแบบของรูปแบบต่างๆ

## **วัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อศึกษาความพึงพอใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้า บ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก**

เครื่องมือที่ใช้การสร้างความรู้ เก็บข้อมูลการศึกษาความพึงพอใจด้านการรับรู้ อัตลักษณ์ที่มีต่อกลุ่มชุมชน รูปแบบผลิตภัณฑ์คือแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อรูปแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบระดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง

ขั้นตอนในการสร้างเครื่องมือในการเก็บข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ผู้วิจัยใช้เครื่องมือในการสอบถามชุดเดียวกัน เพื่อทดสอบสมมติฐานของการวิจัย และเพื่อให้ทราบความแตกต่างของความพึงพอใจ ของกลุ่มเป้าหมาย มีลำดับขั้นตอนการสร้างแบบสอบถาม มีวิธีการตามขั้นตอน ดังนี้ (ลัดดาวัลย์ และอัจฉรา, 2547)

ขั้นที่ 1 เตรียมข้อมูล พิจารณาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และวัตถุประสงค์ ใช้คำถามเกี่ยวโยงเพื่อสร้างอัตลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้ายบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

ขั้นที่ 2 เลือกชนิดของคำถามเป็นแบบปลายปิด

ขั้นที่ 3 กำหนดคำถามที่ต้องการถาม

ขั้นที่ 4 ร่างแบบสอบถาม โดยแยกออกเป็น 4 ส่วน คือ

1. ส่วนคำชี้แจงแสดงรายละเอียดของแบบสอบถามให้ผู้ตอบแบบสอบถามทราบว่าแบบสอบถามมีคำถาม 4 ตอน ลักษณะของการตอบให้กาเครื่องหมายให้ตรงกับข้อมูลจริง และเติมรายละเอียด ในช่องว่างตามที่ต้องการ

2. ส่วนที่เป็นสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม ทำการสอบถามเกี่ยวกับ เพศ อายุ การศึกษา และอาชีพ

3. ส่วนที่เป็นเนื้อหาทำการสอบถามเกี่ยวกับระดับความพึงพอใจ ของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อทดสอบสมมติฐานของการวิจัย

4. ส่วนที่เป็นข้อเสนอแนะของผู้ตอบแบบสอบถาม

### **การเก็บรวบรวมข้อมูล**

1. การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับศักยภาพของกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้ายบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก มีขั้นตอนของการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1.1 เก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร ตำรา จากข้อมูลที่จัดเก็บอยู่แล้วเพื่อให้ทราบถึงบริบท และศักยภาพทั่วไป เช่น ลักษณะของชุมชน การศึกษาการออกแบบผลิตภัณฑ์ และศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไม้กวาดดอกหญ้า และการสร้างอัตลักษณ์ด้านการออกแบบ

1.2 รวบรวมข้อมูลหลังจากการสัมภาษณ์จากปราชญ์พื้นถิ่น และกลุ่มผู้ผลิตเพื่อใช้เป็นแนวทาง ในการออกแบบ

2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ เพื่อสร้างอัตลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มวง ตำบลชัยนาม อำเภอลำดวน จังหวัดพิษณุโลก หลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูลในส่วนต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างตราสัญลักษณ์ ต้นแบบผลิตภัณฑ์ โดยการร่างแนวคิด และการสรุปแนวคิดรวบยอด

3. ทดสอบความพึงพอใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มวง ตำบลชัยนาม อำเภอลำดวน จังหวัดพิษณุโลก โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลในส่วนของการศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อการรับรู้อัตลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้า รูปแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ผู้วิจัยทำเครื่องมือเพื่อทำการสอบถามตามกลุ่มตัวอย่างของการวิจัย คือ กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้า ในเขตจังหวัดพิษณุโลก ผู้ที่สนใจผลิตภัณฑ์ไม้กวาดดอกหญ้า จำนวน 100 คน เพื่อทำการทดสอบความพึงพอใจที่มีต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

### การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย

1. การศึกษาข้อมูลสภาพทั่วไป ศักยภาพของกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้า มีขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูล คือทำการสรุปผลข้อมูลจากการเก็บรวบรวมข้อมูลของเอกสาร ตำรา และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของชุมชน และผู้วิจัยทำการจัดเก็บข้อมูลหลังจากการสัมภาษณ์เพื่อเตรียมพร้อมในการแปรผลข้อมูล

2. การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของ การสร้างตราสัญลักษณ์ และออกแบบผลิตภัณฑ์ จากเอกสารที่จัดเก็บไว้ อาทิเช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไม้กวาดดอกหญ้า หลังจากการเก็บข้อมูลจากหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆ นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยให้สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของการศึกษา

3. วิธีวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติบรรยายอธิบายลักษณะตัวแปรเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ โดยใช้สถิติค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้สถิติการหาค่าที่กรณีกลุ่มตัวอย่างกลุ่มเดียว เพื่อหาค่าของระดับความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้า กับค่าระดับความพึงพอใจ

## 5. ผลการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ต้นแบบของกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลและจำแนกตามจุดมุ่งหมายของการศึกษา คือ 1) เพื่อพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์ และตราสัญลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก 2) เพื่อศึกษาความพึงพอใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก โดยดังนี้

1. ไม้กวาดดอกหญ้าแบบด้ามจับยาว เป็นผลิตภัณฑ์ชิ้นใหญ่ใช้ระยะเวลาในการผลิตนาน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถสร้างรายได้เป็นระยะของทางกลุ่ม

2. ไม้กวาดดอกหญ้าแบบด้ามจับมาตรฐาน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำรายได้ให้กลุ่มอย่างต่อเนื่อง เพราะขายง่าย อีกทั้งยังมีการสั่งผลิตภัณฑ์จำนวนมาก

รูปแบบของผลิตภัณฑ์ยังเป็นไม้กวาดที่เหมือนกับผลิตภัณฑ์ของพื้นที่อื่นๆ ด้วยทางกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้า ไม่มีความรู้ทางด้านการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นการสร้างอัตลักษณ์ที่แตกต่างจากคู่แข่ง และส่งเสริมการขายให้เป็นที่ดึงดูดแก่ผู้บริโภคอย่างชัดเจน



ภาพที่ 4-5 ผลิตภัณฑ์ไม้กวาดดอกหญ้า กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง  
ที่มา: ร้องส้มม่วงไม้กวาดดอกหญ้าคุณภาพดีฝีมือเยี่ยม

ผลการพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์ และตราสัญลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

ลักษณะรูปแบบของผลิตภัณฑ์ไม้กวาดดอกหญ้า รวมถึงกลุ่มต่างๆที่ผลิตสินค้าประเภทนี้ในปัจจุบัน มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน ด้วยรูปแบบที่ประยุกต์เข้ากับยุคสมัย ตามกระแสของเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป จึงยังขาดอัตลักษณ์เฉพาะของกลุ่มตนเอง

ในการศึกษาการพัฒนาตราสัญลักษณ์ และผลิตภัณฑ์ของกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร่องสัมพันธ์ ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลกครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบจากการเก็บข้อมูลโดยศึกษาจากเอกสารตำรา สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ ได้นำมาออกแบบผลิตภัณฑ์ พัฒนาเป็นระยะขั้นตอนตามความเหมาะสมของชนิดและรูปแบบผลิตภัณฑ์ของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มเป้าหมาย ดังนี้ แนวคิดในการพัฒนาตราสัญลักษณ์ของกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าที่สามารถจดจำง่าย สนองต่อการรับรู้ถึงผลิตภัณฑ์ที่จัดจำหน่าย สะดุดตาดึงดูดผู้บริโภค โดยการสร้างจากแนวคิดพื้นฐานความต้องการของกลุ่มชุมชน และดึงเอกลักษณ์ของชุมชนให้มากที่สุด และออกแบบรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย เพื่อตอบสนองด้านประโยชน์ใช้สอยให้มากที่สุด และมีความทันสมัยมากยิ่งขึ้น โดยการใช้วัสดุที่สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ให้ได้มากที่สุด เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการออกแบบ และเป็นเอกลักษณ์ของกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร่องสัมพันธ์ ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก ดังนี้

การออกแบบตราสัญลักษณ์ ใช้รูปแบบ Emblem ออกแบบโดยใช้ภาพตราสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มคือ การใช้ดอกหญ้าเป็นองค์ประกอบ รวมเข้ากับชื่อของกลุ่ม โทสน์ที่ใช้สื่อความละเอียด ประณีต และสร้างสรรค์ เพื่อบ่งบอกชื่อที่ชัดเจนเป็นจุดขาย และจดจำง่ายมีความทันสมัย



ภาพที่ 6 ตราสัญลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้า

บ้านร่องสัมพันธ์ ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้า ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบไม้กวาดขนาดเล็ก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ตอบโจทย์กลุ่มเป้าหมาย และจำหน่ายง่าย สามารถผลิตได้โดยใช้เวลาไม่นานนัก ดังนี้



ภาพที่ 7 ไม้กวาดดอกหญ้ารูปแบบที่ 1



ภาพที่ 8 ไม้กวาดดอกหญ้ารูปแบบที่ 2



ภาพที่ 9 ไม้กวาดดอกหญ้ารูปแบบที่ 3

ผลความพึงพอใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร่องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

สรุปผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจตามรายการประเมิน จำนวน 100 คน พบว่า รูปแบบและสีสันทันของผลิตภัณฑ์ไม้กวาดดอกหญ้า มีความเหมาะสม และมีความสวยงาม โดยแสดงความพึงพอใจโดยรวมตามลำดับ ดังนี้ รูปแบบที่ 1 แสดงความพึงพอใจ ( $\bar{X} = 4.50$ ) อยู่ในระดับความพึงพอใจมาก รูปแบบที่ 3 แสดงความพึงพอใจ ( $\bar{X} = 4.35$ ) อยู่ในระดับความพึงพอใจมาก และรูปแบบที่ 2 แสดงความพึงพอใจ ( $\bar{X} = 4.10$ ) อยู่ในระดับความพึงพอใจมาก จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ สามารถผลิตได้เป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ และเป็นเอกลักษณ์สำหรับกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้า



ภาพที่ 10 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบไม้กวาดดอกหญ้ารูปแบบที่ 1



ภาพที่ 11 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบไม้กวาดดอกหญ้ารูปแบบที่ 2



ภาพที่ 12 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบไม้กวาดดอกหญ้ารูปแบบที่ 3



ภาพที่ 13 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบไม้กวาดดอกหญ้าพร้อมบรรจุภัณฑ์

## 6. สรุปผลและการอภิปรายผล

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ เพื่อสร้างอัตลักษณ์กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบล ชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก ผู้วิจัยได้สรุปและอภิปรายผลตามจุดมุ่งหมายของการวิจัย เพื่อทดสอบสมมติฐานของการวิจัยของกลุ่มตัวอย่างที่มีความพึงพอใจ ต่อรูปแบบผลิตภัณฑ์ไม้กวาดดอกหญ้า อยู่ในเกณฑ์ระดับความพึงพอใจมาก ดังนี้

การพัฒนาตราสัญลักษณ์ และผลิตภัณฑ์ของกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบล ชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก มีรูปแบบตราสัญลักษณ์เพื่อป้องกัน และเพื่อการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ ให้มีรูปแบบที่ทันสมัย และสามารถผลิตโดยกระบวนการเดิมที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไป และใช้สีสันทันทีป้องกันและเป็นเอกลักษณ์ที่จดจำได้ของกลุ่ม โดยมีแนวคิดที่เรียบง่ายโดยการใช้สีจากธรรมชาติ ตลอดจนถึงประโยชน์ใช้สอยโดยเป็นสร้างอัตลักษณ์ เพิ่มมูลค่าและส่งเสริมการขาย สร้างเสริมรายได้ให้กับชุมชน โดยการสร้างมูลค่าเพิ่มและสร้างเอกลักษณ์พื้นบ้านให้มีความโดดเด่น สะดุดตาและสวยงาม สามารถผลิตใช้งานได้จริง เพื่อให้เกิดประโยชน์และเป็นแนวทางในการพัฒนาชุมชนอย่างยั่งยืน จากการแปรผลข้อมูลของเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อรูปแบบผลิตภัณฑ์ของกลุ่มตัวอย่างคือ กลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าบ้านร้องส้มม่วง ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 1 กลุ่ม และกลุ่มผู้ที่สนใจผลิตภัณฑ์ไม้กวาดดอกหญ้าในจังหวัดพิษณุโลก จำนวน 100 คน ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงมากกว่าเพศชาย ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 26-35 ปี ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากประกอบอาชีพอยู่ในหน่วยงานของรัฐ และส่วนใหญ่ มีการศึกษาระดับปริญญาตรี จากการแปรผลพบว่าการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ที่มีความ

พึงพอใจใกล้เคียงกัน ทันสมัย สามารถผลิตได้จริง และมีสีเส้นสวยงามสะอาดตา สามารถเพิ่มมูลค่า และเป็นเอกลักษณ์ของกลุ่มไม้กวาดดอกหญ้าได้ และสามารถพัฒนาต่อยอดในรูปแบบอื่นต่อไป

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มบ้านร้องสัมพันธ์ ตำบลชัยนาม อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก ที่ให้ความร่วมมือ อำนวยความสะดวก และร่วมดำเนินงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานครั้งนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- ธีระชัย สุขสด. (2544). การออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พรีนติ้งเฮ้าส์
- นงนุช นทีพายัพพิศ. (2545). การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ข้าวแต๋น อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ปลุกเกษม ชุตระกุล. (2550). การออกแบบกราฟิกในแบบฉบับเอกลักษณ์ท้องถิ่นจังหวัดเชียงใหม่ สำหรับบรรจุภัณฑ์สัมพันธ์สายน้ำผึ้ง. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ลัดดาวัลย์ เพชรโรจน์, และอัจฉรา ชำนิประศาสน์. (2547). ระเบียบวิธีการวิจัย = Research methodology. กรุงเทพฯ: พิมพ์ดีการพิมพ์.
- สุภางค์ จันทวานิช. (2533). วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- สุมาลี ทองรุ่งโรจน์. (2555). การออกแบบบรรจุภัณฑ์. กรุงเทพฯ: วาดศิลป์.
- อุดมศักดิ์ สาริบุตร. (2550). การออกแบบผลิตภัณฑ์หัตถกรรม ทรายลินคำ และบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมสำหรับชุมชนในเขตภาคกลาง. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ.



การออกแบบระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบแยกข้าง  
ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม  
DESIGNING COOLING SYSTEM OF SPLIT MOLDING WITH  
COMPUTER-AIDED ENGINEERING (CAE)

ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง\*, อติเรก ชัยนวกุล, ธีรวัฒน์ แสงภาศ

Supasit Manokruang\*, Adirake Chainawakul, Teerawat Sangkas

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย 50300

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

\*Corresponding author e-mail: supasit.m@rmutl.ac.th

วันที่เข้าระบบ 16 เมษายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ 11 มิถุนายน 2566

วันที่ตอบรับบทความ 22 มิถุนายน 2566

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้นำเอาคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (Computer-aided engineering, CAE) เข้ามาช่วยในการปรับตั้งพารามิเตอร์เริ่มต้นของการฉีดกรวยกรอกน้ำ ด้วยวัสดุชนิดพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (Polypropylene; PP) เข้ามาช่วยวิเคราะห์ ความดันฉีด (Injection pressure) แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force) การออกแบบระบบหล่อเย็น (Cooling system) เป็นต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ก่อนเริ่มกระบวนการฉีดซึ่งเป็นกระบวนการที่สูญเสียเวลา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์การฉีดที่ได้รับจากการปรับตั้งที่เครื่องฉีดจริงเปรียบเทียบกับ CAE ดังนี้ ความดันฉีด (Pressure) คือ 400 bar ลดลง 0.4%, ความดันฉีดย้า (Holding pressure) คือ 285 bar เพิ่มขึ้น 1.38% แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force) คือ 80 t เพิ่มขึ้น 8.89% ปริมาณพลาสติกที่ใช้ คือ 37.08 g เพิ่มขึ้น 58.06% และเวลาในการฉีดพลาสติก คือ 1.5 s เพิ่มขึ้น 50% ดังนั้นงานวิจัยนี้เพื่อลดเวลาของกระบวนการปรับตั้งพารามิเตอร์ในการฉีดที่เป็นกระบวนการหลักที่เกิดการสูญเสียเวลามาก และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานฉีดพลาสติกอื่นๆได้

**คำสำคัญ:** แม่พิมพ์แบบแยกข้าง, คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม, พารามิเตอร์ของการฉีด

## Abstract

This research used Computer-aided engineering (CAE) to help adjust the initial injection parameters of polypropylene plastic material (Polypropylene; PP) to analyze injection pressure, clamping force, cooling system design and so on in order to adjust the efficiency of parameters before starting the injection process. The experimental results showed that the injection parameters obtained from CAE compared with the actual injection machine settings were as follows: injection pressure decreased by 0.4%, holding pressure increased by 1.38%, clamping force increased by 8.89%, and plastic mass increased by 58.06% and injection time increased by 50%. Therefore, this research experiment can reduce the time of the injection parameter adjustment process which is a time-consuming primary process and can be applied to other injection molding applications.

**Keywords:** Split molding, Computer-aided engineering, Injection parameters

## 1. บทนำ

อุตสาหกรรมผลิตชิ้นงานพลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก อาทิเช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน เป็นต้น การผลิตชิ้นงานพลาสติกด้วยวิธีการข้างต้นมีจุดเด่นในด้านการผลิตปริมาณมาก รวดเร็วในการผลิต คุณภาพของชิ้นงาน และต้นทุนการผลิตต่ำ (Kamalrudin *et al.*, 2008) การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกนั้นจึงเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการผลิตชิ้นงาน การควบคุมคุณภาพของชิ้นงานที่ผลิตออกมามีหลากหลายปัจจัยที่ส่งผลสาเหตุต่างๆ เช่น รูปร่างของชิ้นงาน ชนิดวัสดุ การออกแบบจำนวนบ้ำ (Cavity) และระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ เป็นต้น (ชาลี, 2546) ทั้งหมดนี้เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อด้านคุณภาพของชิ้นงาน

การศึกษาแบบแม่พิมพ์แบบแยกข้าง (Split molding) (วิโรจน์, 2560) (Pankade *et al.*, 2011) เหมาะสมกับการผลิตชิ้นงานที่เป็นลักษณะร่อง (Recess) หรือบ่าลึก (Undercut) (Ye *et al.*, 2004) และชิ้นงานที่มีความลึก ซึ่งทำให้ไม่สามารถปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ หลักการทำงานของแม่พิมพ์ประเภทนี้มีลักษณะส่วนบ้ำ (Cavity) แยกเป็นชิ้นส่วนหลายชิ้นที่สามารถเลื่อนได้ และควบคุมให้อยู่ในตำแหน่งด้วยกรอบบังคับ (Chase bolster) ชิ้นส่วนที่ประกอบกันเป็นบ้ำของแม่พิมพ์เคลื่อนที่ได้โดยอาศัยอุปกรณ์หรือกลไกต่างๆ เช่น สลักเฉียง ขาเตะ สปริง และกระบอกสูบ เป็นต้น ซึ่งการควบคุมคุณภาพของชิ้นงานในด้านระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์นั้นต้องออกแบบให้เหมาะสมกับลักษณะชิ้นงานในกลุ่มนี้ (ดำรง, 2536) ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบหล่อ

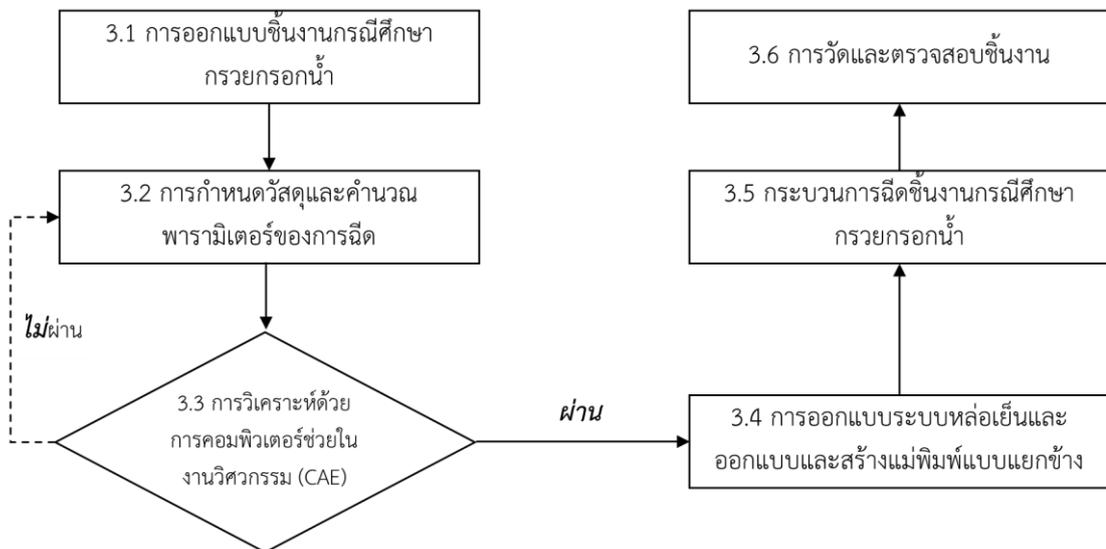
เย็นที่เหมาะสมกับแม่พิมพ์แบบแยกข้าง โดยกรณีศึกษาชิ้นงาน กรวยกรอกน้ำ เนื่องจากคุณลักษณะของชิ้นงานที่ไม่สามารถปลดชิ้นงานได้ในลักษณะแม่พิมพ์โดยทั่วไป (ตัวตันปลด) เพื่อการควบคุมคุณภาพการคงรูปของชิ้นงานชิ้นงานให้ได้ขนาดตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยได้นำเอาหลักการของคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (Computer-aided engineering, CAE) (Banerjee, 2006) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์การออกแบบระบบหล่อเย็นและการคงรูปของชิ้นงาน (Goktas *et al.*, 2016)

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 2.1 เพื่อการออกแบบระบบหล่อเย็นให้เหมาะสมกับแม่พิมพ์ฉีดแบบแยกข้าง (Split molding)
- 2.2 เพื่อการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการฉีดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

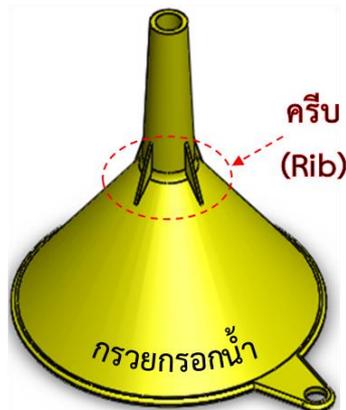
การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้คณะผู้วิจัยแบ่งขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

### 3.1 การออกแบบชิ้นงานกรณีศึกษา กรวยกรอกน้ำ

โดยมีหลักเกณฑ์ในการออกแบบชิ้นงานที่มีผนังบาง ต้องออกแบบให้ชิ้นงานมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อการใช้งาน ซึ่งคณะผู้วิจัยทำได้นำหลักการ การออกแบบคิริบ (Ribs) เพื่อเสริมให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Jeong, 2013) แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงชิ้นงานกรณีศึกษากรวยกรองน้ำ และตำแหน่งของครีบบ (Rib)

### 3.2 การกำหนดวัสดุและค่านวนพารามิเตอร์ของการฉีด

#### 3.2.1 วัสดุที่เลือกใช้สำหรับการทดลอง

วัสดุที่เลือกใช้ในการฉีดชิ้นงานคือ โพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ที่สามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสารเคมี ความร้อน และน้ำมัน ทำให้มีสีสนสวยงามได้ เหมาะสมกับการใช้งานกรวยกรองน้ำ และพารามิเตอร์การฉีดของวัสดุดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์การฉีดของวัสดุโพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) (Daya, 2018)

รายการ	ตัวย่อ	ค่า	หน่วย
ความหนาแน่น	$\rho$	0.905	$\text{g/cm}^3$
อุณหภูมิหลอมเหลว	$T_m$	220-280	$^{\circ}\text{C}$
อุณหภูมิแม่พิมพ์	$T_w$	20-70	$^{\circ}\text{C}$
ความดันเหลวของพลาสติก	$K_a$	0.72	$\text{g/cm}^3$
อัตราการผลิต		1.2~2.5	%

#### 3.2.2 ค่านวนพารามิเตอร์ของการฉีด

การคำนวณพารามิเตอร์ของการฉีดต่างๆเช่น น้ำหนักของชิ้นงาน จำนวนการออกแบบเบ้า (Cavity) ความดันฉีด แรงปิดแม่พิมพ์ และเวลาในการหล่อเย็น เป็นต้น (Dang, 2014) เพื่อพิจารณาการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดให้เหมาะสมกับเครื่องฉีดดังต่อไปนี้

##### 3.2.2.1 น้ำหนักชิ้นงาน

น้ำหนักชิ้นงานคำนวณแสดงดังสมการที่ (1) (ดำรง, 2536)



$$m = v \cdot \rho \quad (1)$$

เมื่อ	$m$	คือ	น้ำหนักของชิ้นงาน (g)
	$v$	คือ	ปริมาตรของชิ้นงาน (cm <sup>3</sup> )
	$\rho$	คือ	ค่าความหนาแน่นของพลาสติกที่เลือกใช้ (g/cm <sup>3</sup> )

### 3.2.2.2 ความดันฉีด

ความดันฉีดเป็นความดันที่เกิดขึ้นกับพลาสติกที่หลอมเหลวบริเวณปลายของเกลียวหนอน โดยความดันที่เกิดขึ้นจากความดันที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบไฮดรอลิกส์ทำให้รักษาแรงดันเข้าสู่แม่พิมพ์ แสดงดังสมการที่ (2) (ดำรง, 2536)

$$P_2 = \frac{P_1 \times A_1}{A_2} \quad (2)$$

เมื่อ	$P_2$	คือ	ความดันฉีดที่ปลายเกลียวหนอน (bar)
	$P_1$	คือ	ความดันฉีดของไฮดรอลิกส์ (bar)
	$A_1$	คือ	พื้นที่หน้าตัดเต็มของกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ (cm <sup>2</sup> )
	$A_2$	คือ	พื้นที่หน้าตัดเต็มของเกลียวหนอน (cm <sup>2</sup> )

### 3.2.2.3 แรงปิดแม่พิมพ์

แรงปิดแม่พิมพ์ต้องคำนึงถึงเครื่องฉีดที่ใช้แรงปิดแม่พิมพ์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด แสดงดังสมการที่ (3) (ดำรง, 2536)

$$F = P \times A \quad (3)$$

เมื่อ	$F$	คือ	แรงปิดแม่พิมพ์ (t)
	$P$	คือ	ความดันฉีดที่ปลายเกลียวหนอน (bar)
	$A$	คือ	พื้นที่ภาพฉายทั้งหมดของชิ้นงาน (cm <sup>2</sup> )



### 3.3 การวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (CAE)

CAE เป็นการเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหาทางด้านทางวิศวกรรม สามารถวิเคราะห์ได้หลากหลายลักษณะงานวิศวกรรม เช่น ความแข็งแรงของโครงสร้าง (Sulaiman *et al.*, 2018) การไหลของอากาศยานพาหนะ และการจำลองการไหลตัวของน้ำพลาสติกในแม่พิมพ์ เป็นต้น โดยใช้คณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการคำนวณหลักการโครงสร้างของไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method, FEM) ประกอบไปด้วย จุด (Node) และ ส่วนประกอบ (Element) โดยแต่ละ element สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และเคลื่อนที่ได้สูงสุด 6 ทิศทางตามแนวแกน x, y, z เรียกว่า Degree of Freedom (DOF) โดยมีสมการโครงสร้างตาม Matrix แสดงสมการที่ 4 (วีระยุทธ, 2559)

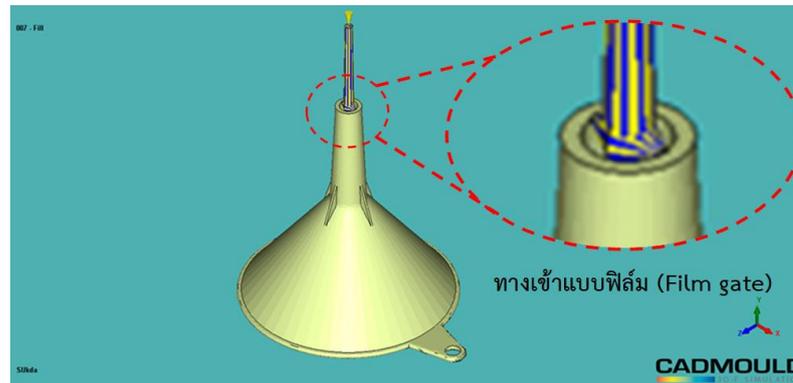
$$[k]\{u\} = \{F\} \quad (4)$$

เมื่อ	$k$	คือ	เมตริกซ์ความแข็งแรงของ Element
	$u$	คือ	การเคลื่อนที่ของ Node
	$F$	คือ	ค่าแรงที่กระทำต่อ Element

การจำลองการไหลของน้ำพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์โดยใช้คอมพิวเตอร์ในงานวิศวกรรม (Computer aided engineering, CAE) (Deng *et al.*, 2002) ด้วยโปรแกรม CADMould เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ในการออกแบบแม่พิมพ์ ระบบทางเข้า การออกแบบระบบหล่อเย็น ปรับตั้งพารามิเตอร์กระบวนการฉีดขึ้นรูป และขึ้นงานหลังจากกระบวนการฉีด โดยมีการจำลองมีดังต่อไปนี้

#### 3.3.1 การกำหนดทางเข้า (Gate)

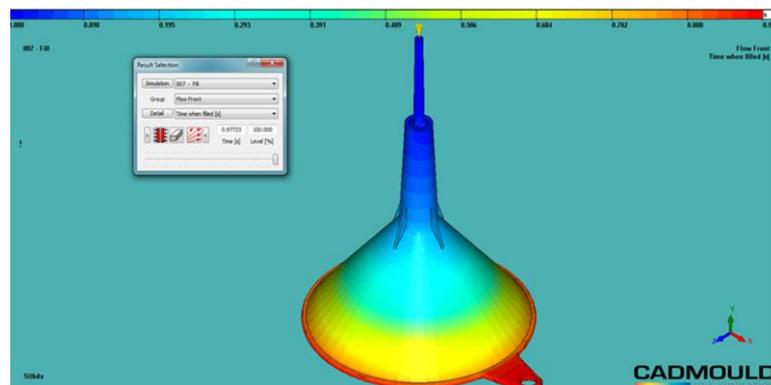
การกำหนดตำแหน่งทางเข้า (Gate) (Kapila *et al.*, 2015) ของชิ้นงานกรวยกรอกน้ำ มีการวิเคราะห์และออกแบบแม่พิมพ์หลากหลายอย่างด้วยกัน เช่น การเกิดรอยประสานของเนื้อพลาสติก ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน ตำแหน่งการเกิดฟองอากาศ เป็นต้น ในที่นี้ประเภทของทางเข้าแบบฟิล์ม (Film gate) (ชาลี, 2546) เนื่องจากบริเวณของชิ้นงานเป็นรูเปิด เพื่อให้ง่ายต่อการตัดแต่งครีบของทางเข้าก่อนการใช้งาน แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงตำแหน่งทางเข้าแบบฟิล์ม (Film gate)

### 3.3.2 เวลาเต็มเต็มพลาสติก (Time when filled)

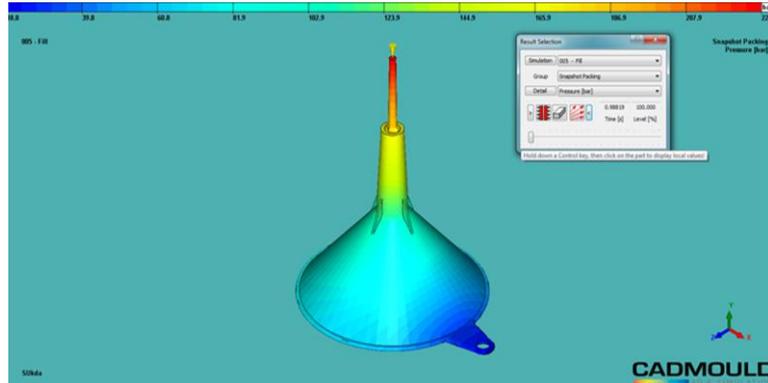
เวลาเต็มเต็มพลาสติก (Time when filled) ของชิ้นงานจากกระบวนการวิเคราะห์ที่ใช้เวลาทั้งหมด 0.977 วินาที โดยที่แถบสีน้ำเงินจะเป็นบริเวณที่เต็มก่อนและแถบสีแดงจะเป็นบริเวณที่เต็มเมื่อพลาสติกเข้าไปจนเต็มชิ้นงาน แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์เวลาในการเต็มเต็มพลาสติกที่ 0.977 วินาที

### 3.3.3 ความดันฉีด (Injection pressure)

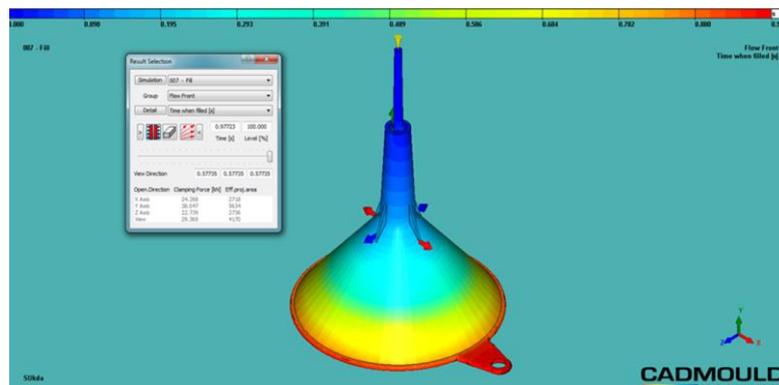
ความดันฉีด (Injection pressure) แสดงถึงความดันที่เกิดขึ้นขณะฉีด ณ ตำแหน่งต่างๆ ของชิ้นงานเมื่อสิ้นสุดการเต็มเต็มพลาสติกประมาณ 228 bar ดูได้จากแถบสีแดง แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความดันฉีดสูงสุดที่ 228 bar

### 3.3.4 แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force)

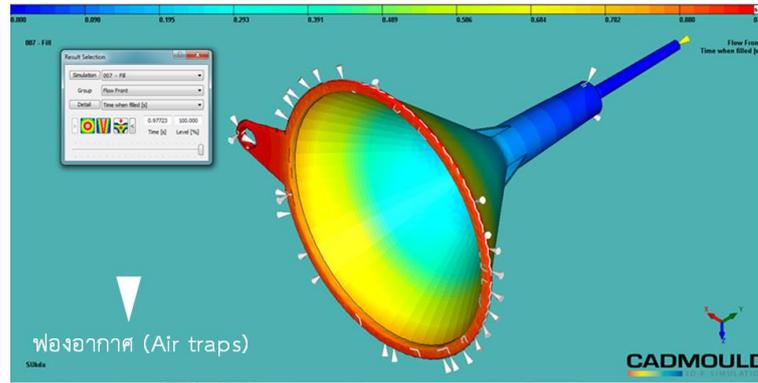
แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force) แสดงถึงแรงปิดแม่พิมพ์ที่กระทำในแต่ละแนวแกน (Displacement force) คือ  $X = 24.268$  kN แกน  $Y = 38.047$  kN และแกน  $Z = 22.739$  kN ในที่นี้จะค่าแรงปิดแม่พิมพ์ที่มีค่ามากที่สุดไปใช้ในการทดลองฉีดขึ้นงาน แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์แรงปิดแม่พิมพ์ที่ใช้ตามแนวแกน X, Y และ Z

### 3.3.5 การเกิดฟองอากาศ (Air traps)

การเกิดฟองอากาศ (Air traps) แสดงจุดที่เกิดฟองอากาศในตัวขึ้นงาน โดยเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเส้นแบ่งแม่พิมพ์ (Parting line) ทำให้อากาศสามารถระบายออกได้ ซึ่งไม่มีผลต่อการใช้งาน จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อการฉีดขึ้นงาน แสดงดังภาพที่ 7

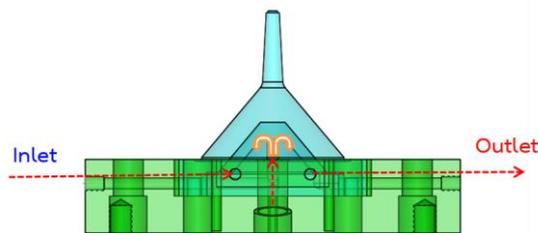


ภาพที่ 7 แสดงตำแหน่งการเกิดพองอากาศ (Air traps) ของชิ้นงาน

### 3.4 การออกแบบระบบหล่อเย็น และออกแบบและสร้างแม่พิมพ์กรวยกรอกน้ำ

#### 3.4.1 การออกแบบระบบหล่อเย็น

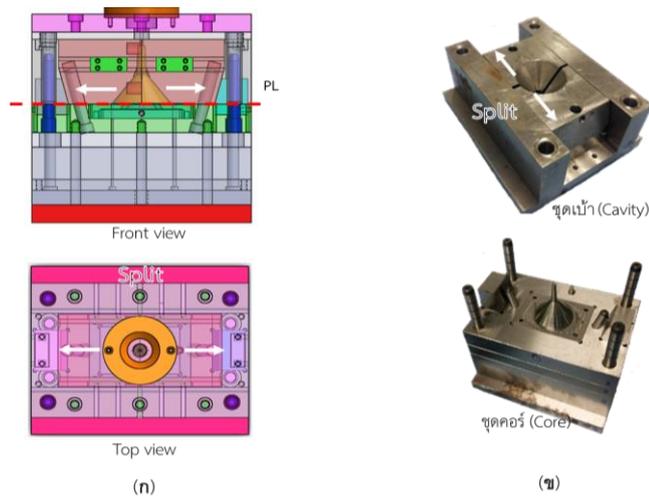
ประเภทแม่พิมพ์แบบแยกข้าง (Split molding) จำนวน 1 ชิ้นงาน/รอบการผลิต ระบบหล่อเย็นเลือกใช้แบบน้ำพุ (Bubbler cooling system) ในส่วนของชุดคอร์ เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการฉีดได้อย่างทั่วถึงและยังสามารถควบคุมการหดตัว (Shrinkage) ของชิ้นงานได้อีกทาง แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงการออกแบบระบบหล่อเย็นแบบน้ำพุ (Bubbler cooling system)

#### 3.4.2 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์กรวยกรอกน้ำ

การออกแบบระบบการแยกออกของแม่พิมพ์ใช้แกนบังคับ (Angular pin) เป็นตัวกำหนดระยะเลื่อนออก-เข้า ของแม่พิมพ์แบบแยกข้าง และการสร้างแม่พิมพ์ แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์แบบแยกข้าง (Split molding)

(ก) การออกแบบแม่พิมพ์แบบแยกข้าง (Split molding)

(ข) การสร้างแม่พิมพ์แบบแยกข้าง (Split molding)

### 3.5 กระบวนการฉีดขึ้นงานกรณีศึกษา กรวยกรอกน้ำ

#### 3.5.1 เครื่องฉีดพลาสติกรุ่น HYF-1000

เครื่องฉีดพลาสติกแนวนอนที่ใช้สำหรับการทดลองรุ่น HYF-1000 ดังภาพที่ 10 และรายละเอียดของเครื่องฉีด ดังตารางที่ 2



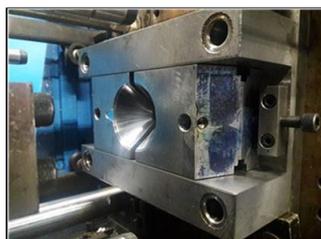
ภาพที่ 10 แสดงเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น HYF-1000

ตารางที่ 2 รายละเอียดของเครื่องฉีดร้อน HYF-1000

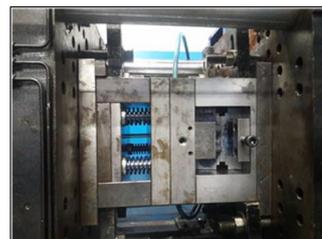
รายการ	ลักษณะ		หน่วย
ระบบฉีด	Ø สกรู	35	mm
	ปริมาตรชิ้นงานสูงสุด	160	cm <sup>3</sup>
	อัตราการฉีด	1,835	Kg/cm <sup>2</sup>
	ความเร็วรอบ	90	rpm
ระบบยึดแม่พิมพ์	ขนาดแม่พิมพ์	0-200	t
	กำลังยึดแม่พิมพ์	100	mm

### 3.5.2 การฉีดขึ้นรูปกรวยกรอกน้ำ

การนำแม่พิมพ์ขึ้นทดลองฉีดเครื่องฉีดร้อน HYF-1000 โดยที่จะนำค่าที่ได้วิเคราะห์ CAE ใช้เป็นค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์การฉีดพร้อมทั้งทดลองฉีด ดังแสดงภาพที่ 11



1) ชุดอยู่กับที่ (Fixed)



3) ชุดแม่พิมพ์ประกอบทำการฉีด



2) ชุดเคลื่อนที่ (Moving)



4) การฉีดกรวยกรอกน้ำ

ภาพที่ 11 แสดงการฉีดขึ้นรูปกรวยกรอกน้ำ

### 3.6 การวัดและการตรวจสอบชิ้นงาน

#### 3.6.1 เครื่องมือวัดขนาดของกรวยกรอกน้ำ

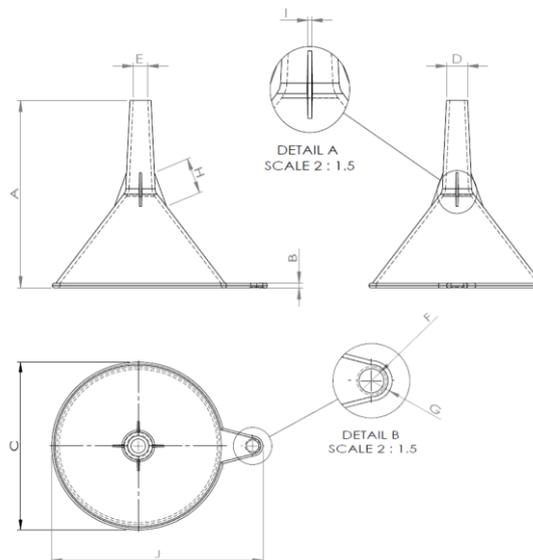
การตรวจวัดขนาดของกรวยกรอกน้ำโดยเครื่องมือเวอร์เนียคาลิเปอร์ ความละเอียด 0.02 mm และเกจวัดรัศมี แสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แสดงเครื่องมือวัดที่ใช้ตรวจสอบชิ้นงาน  
(ก) เวอร์เนียคาลิเปอร์ ขนาด 0.02 mm (ข) เกจวัดรัศมี

### 3.6.2 ตำแหน่งการตรวจสอบกรวยกรอกน้ำ

ตำแหน่งจุดตรวจสอบตั้งแต่ตำแหน่ง A – J โดยทำการสุ่มวัดขนาดหลังจากฉีดจำนวน 30 ชิ้นงาน แสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงตำแหน่งจุดตรวจสอบกรวยกรอกน้ำ A-J

## 4. ผลการวิจัย

การฉีดขึ้นรูปกรวยกรอกน้ำเริ่มต้นนำค่าที่ได้รับจากการโปรแกรม CADMould ทดลองฉีดผลที่ได้รับมีการปรับทั้งหมด 3 ครั้งและได้รับชิ้นงานที่สมบูรณ์ แสดงให้เห็นว่าช่วยลดเวลาสูญเสียในปรับตั้งค่าการทำงานและวัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นอย่างมาก ผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์การฉีดจากโปรแกรม CADMould กับ พารามิเตอร์การฉีดจริง ดังภาพที่ 14 แสดงรูปชิ้นงานของแต่ละการทดลองฉีด และแสดงผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์การฉีด ดังตารางที่ 3



ภาพที่ 14 ผลการทดลองฉีดกรวยกรอกน้ำแต่ละครั้ง

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบพารามิเตอร์การฉีดระหว่างวิเคราะห์โดยโปรแกรม CADMould กับพารามิเตอร์ค่าที่ใช้ฉีดจริง

รายการ	หน่วย	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	ค่าจากการวิเคราะห์โปรแกรม CADMould	ค่าที่ใช้จริง	Error (%)
ความดันฉีด	bar	452.72	401.60	400	-0.4
ความดันฉีดย้ำ	bar	316.90	281.12	285	+1.38
แรงปิดแม่พิมพ์	t	63.69	73.47	80	+8.89
ปริมาณฉีด	g	23.46	23.46	37.08	+58.06
เวลาในการฉีด	s	0.977	1	1.5	+50

ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าความดันฉีดค่าที่ใช้จริงลดลง 0.4% ความดันฉีดย้ำเพิ่มขึ้น 1.38% แรงปิดแม่พิมพ์ เพิ่มขึ้น +8.89% ปริมาณฉีด เพิ่มขึ้น +58.06 และเวลาในการฉีดเพิ่มขึ้น +50% จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เพิ่มขึ้น (ความดันฉีดย้ำ, แรงปิดแม่พิมพ์ ปริมาณฉีด และเวลาในการฉีด) เนื่องจากเกิดจากสภาพแวดล้อมในการทำงาน เช่น ประสิทธิภาพของเครื่องฉีดพลาสติกที่ลดลง สภาพอากาศภายในโรงงาน ความชื้นของวัสดุ PP ทำให้พารามิเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้นส่งผลทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม CADMould

## 5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การนำเอาคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (CAE) เข้ามามีส่วนร่วมในกระบวนการปรับตั้งพารามิเตอร์ของการฉีด มีส่วนสำคัญอย่างมากในการปรับตั้งพารามิเตอร์การฉีดในครั้งนี้ ผลการทดลองที่ดีที่สุด ดังต่อไปนี้ ความดันฉีด (Pressure) คือ 400 bar, ความดันฉีดย่ำ (Holding pressure) คือ 285 bar, แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force) คือ 80 t ปริมาณในการฉีด คือ 37.08 g และเวลาในการฉีด (Injection time) คือ 1.5 s หรือความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น 0.4%, 1.38%, 8.89%, 58.06% และ 50% ตามลำดับข้างต้น เนื่องการกระบวนการปรับตั้งเครื่องฉีดเป็นขั้นตอนที่เกิดการสูญเสียเวลาในกระบวนการผลิต ดังนั้นแสดงการนำ CAE สามารถนำไปประยุกต์ และพัฒนาในเชิงอุตสาหกรรมและประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งลดเวลาการผลิต และแรงงานของกระบวนการผลิตได้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ สำหรับเครื่องมือในการทดสอบ และทดลองงานวิจัยในครั้งนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- ชาลี ตรีการกุล. (2546). **การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 1**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ดำรง ไชยธีรานุกัฒศิริ. (2536). **การออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- วีโรจน์ เตชะวิญญูธรรม. (2560). **งานฉีดพลาสติก**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล. (2559). การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยเทคนิคการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์. **Naresuan University Engineering Journal**, 11(1), 101-109.
- Banerjee, A. G. (2006). **Computer Aided Design of Side Actions in Injection Molding of Complex Parts**. (Master Thesis). The University of Maryland, USA.
- Dang, X. P. (2014). General frameworks for optimization of plastic injection molding process parameters. **Simulation Modelling Practice and Theory**, 41, 15–27.
- Daya, M. (2018, December 26). **Injection parameter of PP material**. Retrieved from <http://www.dayamachinery.com/injection-parameter-of-pp-material/>.
- Deng, Y. M., Lam, Y. C., & Britton, G. A. (2002). A CAD-CAE integrated injection molding design system. **Engineering with Computers**, 18(1), 80-92.



- Goktas, M., Guldass, A., & Bayraktar, O. (2016, May). **Cooling of Plastic Injection Moulds Using Conformal Cooling Canals**. Paper presented at the 3<sup>rd</sup> International Conference on Engineering and Natural ScienceAt, Sarajevo, Bosnia.
- Jeong, S. W. (2013). Conditions of rib design for polycarbonate resin with high glossy surfaces. **Journal of Mechanical Science and Technology**, 27(10), 3023-3028.
- Kamalrudin, M., Mohan, S, Jun, L. P., & Abdullah, R. W. (2008, August). **The mold cost estimation calculator for plastic injection mold manufacturing**. Information Technology conference International Symposium, 4, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Kapila, A., Singh, K., Singh, K., Arora, G., Arora, G., & Agarwal, N.. (2015). Effect of Varying Gate Size on the Air Traps in Injection Molding. **International Journal of Current Engineering and Technology**, 5(1), 161-166.
- Pankade, S. B., Choudhari, U. M., & Reddy, A. C. (2011). Computer integrated Injection mould split design-reverse engineering approach. **International Journal of Applied Engineering Research**, 6(13), 1661-1672.
- Sulaiman, N. A., Dequang, Z., Usman, M. M., & Ahmad, A. S. (2018). Application of CAD/CAE Tools in the Design and Analysis of Plastic Injection Mould. **Journal of Advanced Research Design**, 40(1), 1-8.
- Ye, X. G., Fuh, J. Y. H., & Lee, K. S. (2004). Automatic Undercut Feature Recognition for Side Core Design of Injection Molds. **Journal of Mechanical Design**, 126(3), 519-526.



# การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R32

## PERFORMANCE EVALUATION OF HEAT PUMP DRYER USING R32 REFRIGERANT

ประพันธ์พงษ์ สมศิลา, ทรงสุภา พุ่มชุมพล, อัมไพศกดิ์ ทีบุญมา, อภินันต์ นามเขต\*

Praphanpong Somsila, Songsupa Pumchumpol,

Umphisak Teeboonma, Apinunt Namkhat\*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี ประเทศไทย 34190

Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani, Thailand, 34190

\*Corresponding author e-mail: apinunt.n@ubu.ac.th

วันที่เข้ารับ 24 พฤษภาคม 2566

วันที่แก้ไขบทความ 25 มิถุนายน 2566

วันที่ตอบรับบทความ 26 มิถุนายน 2566

### บทคัดย่อ

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นผลิตภัณฑ์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและสร้างมูลค่าเพิ่ม ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่ากระบวนการอบแห้งมีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง ดังนั้นการพัฒนาเทคนิคการอบแห้งให้ประหยัดพลังงานจึงมีความจำเป็น ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเทคนิคการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน ซึ่งในการศึกษาได้สร้างเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R32 เพื่อประเมินสมรรถนะและได้เลือกใช้กล้วยเป็นผลิตภัณฑ์ในการทดสอบ โดยทดลองภายใต้เงื่อนไขดังนี้ อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 50, 55 และ 60°C และความเร็วลมเท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s ซึ่งมีเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน ได้แก่ อัตราการอบแห้ง อัตราการดึงออกน้ำจำเพาะ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อน ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลมมีผลทำให้อัตราการอบแห้ง และอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง นอกจากนี้ ยังพบว่าอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลมมีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนค่อนข้างน้อย และสุดท้ายจากการทดลองพบว่า สัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 4.34–4.45

**คำสำคัญ:** การอบแห้ง, เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน, สารทำความเย็น

## Abstract

Drying is a process of reducing moisture content to prolong the product's shelf life and increase product value. As it is generally known that energy consumption of drying is rather high, a development of drying technique for energy saving is necessary. For this reason, heat pump drying techniques were investigated in this research. A heat pump dryer using R32 refrigerant was constructed, and its performance was evaluated. Bananas were selected as product testing. The experiments were conducted under the following conditions: drying temperature of 50, 55 and 60°C and air velocity of 1.0, 1.5 and 2.0 m/s. The criteria used to evaluate the performance of the heat pump dryer consisted of drying rate (DR), specific moisture extraction rate (SMER), specific energy consumption (SEC) and coefficient of performance of heat pump ( $COP_p$ ). The results indicated that an increment of drying temperature and air velocity resulted in an increment of drying rate and specific moisture extraction rate, whereas energy consumption decreased. Moreover, it was also found that drying temperature and air velocity did not significantly affect the coefficient of performance of heat pump. Finally, the results revealed that the coefficient of performance of heat pump was in the range of 4.34-4.45.

**Keywords:** Drying, Heat pump dryer, Refrigerant

## 1. บทนำ

กล้วยน้ำว้าเป็นผลไม้ที่มีคนปลูกและบริโภคกันมาก เนื่องจากมีประโยชน์และมีสรรพคุณทางยา เช่น ผลิตเป็นเม็ดสำหรับรับประทานเพื่อรักษาอาการของผู้ที่มีอุจจาระแข็ง หรือเป็นริดสีดวงทวาร ลดปัญหาการเกิดมะเร็งลำไส้ ช่วยยับยั้งการล้นน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร รักษาอาการท้องเสีย บิดมูกเลือด ลดระดับคอเลสเตอรอล เป็นต้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นแนวทางที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับกล้วยน้ำว้าได้เป็นอย่างมาก นอกจากนั้นยังสามารถนำผงแป้งที่ผลิตจากกล้วยมาใช้ผลิตอาหารเส้น เช่น เส้นพาสต้า รวมทั้งสูตรผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับการบำบัดโรคในกลุ่มผู้ป่วยต่าง ๆ (เพ็ญจันทร์ และคณะ, 2555) สำหรับกระบวนการผลิตกล้วยน้ำว้าตากแห้งเพื่อผลิตกล้วยน้ำว้าผงนั้น ปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่ยังคงใช้การตากแดด ซึ่งพบว่าเกิดปัญหาความไม่สะอาดหรือมีสิ่งสกปรกปะปนในผลิตภัณฑ์ และไม่สามารถควบคุมคุณภาพของกล้วยน้ำว้าตากแห้งได้ เนื่องจากข้อจำกัดของพลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งจึงถือเป็นแนวทางการแก้ปัญหาได้เป็นอย่างดี

สำหรับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งมีด้วยกันในหลายวิธีเช่น การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง การอบแห้งด้วยขดลวดไฟฟ้า การอบแห้งด้วยสุญญากาศ และการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน เป็นต้น โดยเป็นที่ทราบกันดีว่ากระบวนการอบแห้งมีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง (Huelsz *et al.*, 2012) อย่างไรก็ตามมีนักวิจัยทำการศึกษาและทดสอบเทคนิคการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้ได้ในระดับสูงพร้อมกับการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ เช่น Wang *et al.* (2018) ได้ศึกษาเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R134a ประกอบกับการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Levent *et al.* (2018) ศึกษาการใช้สารทำความเย็น R410a ในเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนจากการศึกษาพบว่า สามารถลดการใช้พลังงานได้มากถึงร้อยละ 51 และลดระยะเวลาการอบแห้งได้ร้อยละ 69 นอกจากนี้ยังมีการศึกษาปั๊มความร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์อาทิเช่น Norhaida *et al.* (2019) ต่อมา Niklas *et al.* (2019) ศึกษาการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R744 ผนวกกับการออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ ผลที่ได้สามารถลดใช้พลังงานได้ร้อยละ 7.2 Quancheng *et al.* (2019) ได้ศึกษาออกแบบท่อการไหลอากาศระบบปิดใหม่ และมีการใช้สารทำความเย็น R134a ผลที่ได้พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ Rony *et al.* (2019) ศึกษาการใช้ CO<sub>2</sub> และ R134a ในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ผลการศึกษาพบว่าสามารถเพิ่มอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะและสัมประสิทธิ์สมรรถนะได้ร้อยละ 13 และร้อยละ 8 ตามลำดับ Kuan *et al.* (2019) ศึกษาเปรียบเทียบผลของการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนกรณีใช้และไม่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ช่วยโดยมีการใช้สารทำความเย็น R134a จากการทดลองได้อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะและสัมประสิทธิ์สมรรถนะประมาณ 0.6 kg/kWh และ 2.72 ตามลำดับ นอกจากนี้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าส่วนใหญ่เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนจะมีการใช้สารทำความเย็นที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนสูง (Global Warming Potential, GWP) เช่น R22, R134a, R407C และ R410a ซึ่งมีค่า GWP เท่ากับ 1,810, 1,430, 1,774 และ 2,090 ตามลำดับ (Michael *et al.*, 2020; Haonan *et al.*, 2020; Cuneyt & Ibrahim, 2020; Jing & Zhou, 2020) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาสารทำความเย็นที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนต่ำคือสารทำความเย็น R32 ซึ่งมีค่า GWP เท่ากับ 675 และที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารทำความเย็น R32 ในเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนอาทิเช่น In *et al.* (2014) ได้ศึกษาเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R410a, R32 และ L41b ผลการศึกษาพบว่าสารทำความเย็น R32 จะให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนสูงสุด และมากกว่าสารทำความเย็น R410a เฉลี่ยประมาณร้อยละ 5 ต่อมา Abdullah *et al.* (2015) ได้ทำการศึกษาและทดสอบการใช้สารทำความเย็นที่เหมาะสมเพื่อใช้ทดแทนสารทำความเย็น R410a ซึ่งพบว่า R32 มีความเหมาะสมในเวลาต่อมา Akhilesh *et al.* (2019) ได้ทำการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนกรณีใช้สารทำความเย็น R290, R600a, R32, R152a และ R1234yf โดย

มีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาทดแทนสารทำความเย็น R134a ผลจากการศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า การใช้สารทำความเย็น R32 ในเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนให้ค่าอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะสูงสุด

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R32 ยังมีไม่มาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่มีการใช้สารทำความเย็น R32 ซึ่งมีค่า GWP ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสารทำความเย็นอื่นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน โดยเลือกใช้กล้วยน้ำว้าดิบเป็นผลิตภัณฑ์ในการทดสอบ

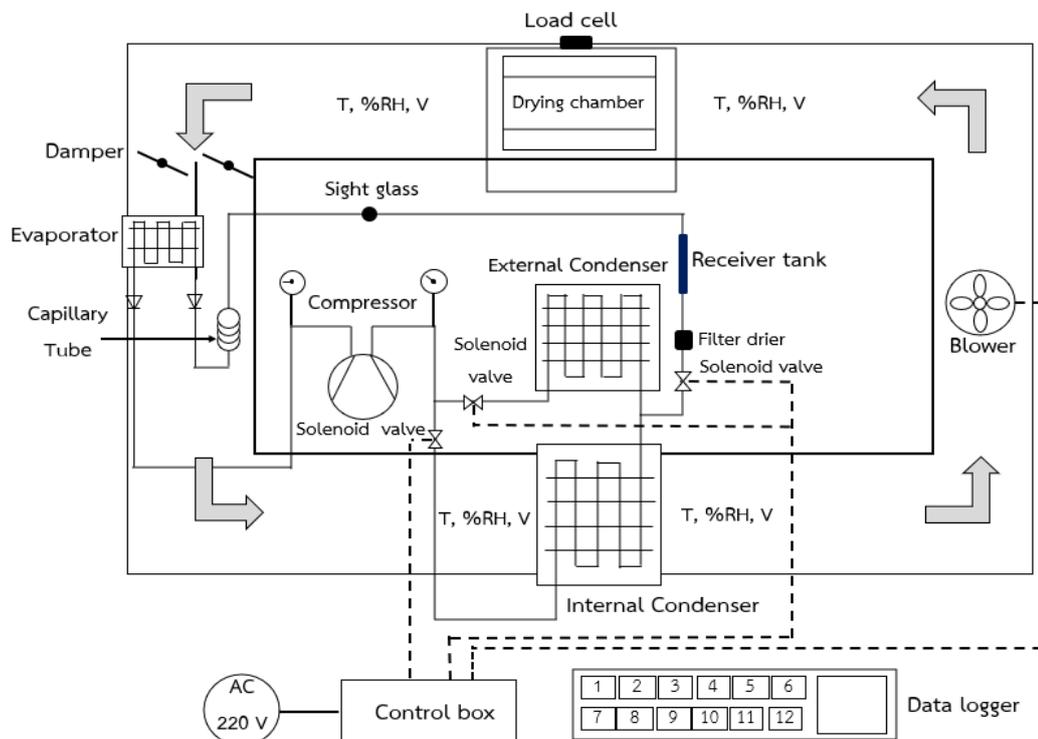
## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้าดิบและสมรรถนะเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R32

## 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

### 3.1 ชุดทดลอง

เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้ในการทดลองมีวงจรการทำงานดังภาพที่ 1 ซึ่งสามารถอธิบายส่วนประกอบและหลักการทำงานได้ดังนี้



ภาพที่ 1 แผนผังแสดงอุปกรณ์และวงจรการทำงานระบบเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน

ชุดทดลองเครื่องอบแห้งป้อนความร้อนมีส่วนประกอบหลัก คือ เครื่องอัดไอขนาด 0.75 kW เครื่องควบแน่นชุดใน (Internal condenser) ขนาด 4.35 kW เครื่องควบแน่นชุดนอก (External condenser) ขนาด 4.35 kW อุปกรณ์ลดความดัน เครื่องทำระเหยขนาด 3.50 kW พัดลมสำหรับการไหลเวียนอากาศ ห้องอบแห้งขนาด  $35 \times 70 \times 30 \text{ cm}^3$  ชุดเครื่องมือวัดและชุดควบคุมการทำงาน สำหรับกระบวนการทำงานของระบบเริ่มต้นจากอากาศที่ใช้ในการอบแห้งไหลผ่านเครื่องควบแน่นชุดในเพื่อรับความร้อนด้วยการแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านอุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งจะทำให้อากาศที่ใช้สำหรับการอบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่สารทำความเย็นก็จะเกิดการควบแน่นเช่นกัน จากนั้นอากาศร้อนส่วนนี้จะไหลผ่านไปยังห้องอบแห้งเพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับกล้วยน้ำว้า ทำให้อากาศมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในระเหยออกสู่ผิววนอกของกล้วย ในขณะที่เดียวกันอากาศที่ไหลผ่านก็จะพัดพาความชื้นที่บริเวณผิววนอกของกล้วยออกจากห้องอบแห้ง หลังจากนั้นอากาศส่วนนี้จะไหลผ่านมายังเครื่องทำระเหย ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำส่งผลให้ความชื้นในอากาศเกิดการควบแน่นและหยดน้ำที่เกิดขึ้นจะถูกปล่อยออกสู่ภายนอกต่อไป

สำหรับสารทำความเย็นที่อยู่ภายในเครื่องทำระเหยจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอเนื่องจากอากาศร้อนที่ไหลออกจากห้องอบแห้ง โดยไอดังกล่าวจะถูกส่งไปยังเครื่องอัดไอเพื่อสร้างความดันให้กับสารทำความเย็น ทำให้อากาศทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น หลังจากนั้นอากาศที่ไหลผ่านเครื่องทำระเหยจะไหลมายังเครื่องควบแน่นชุดใน เพื่อรับความร้อนและไหลเข้าสู่ห้องอบแห้ง ซึ่งวงจรการไหลของอากาศร้อนก็จะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จะพบว่ากระบวนการอบแห้งด้วยป้อนความร้อนมีจุดเด่นคือสามารถดึงความชื้นของอากาศที่ได้จากผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องทำระเหย ทำให้อากาศในระบบมีความชื้นต่ำ ประกอบกับระบบที่ออกแบบให้เป็นระบบปิด ไม่มีการเติมอากาศจากภายนอกแต่อย่างใด นอกจากนั้นสำหรับหลักการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งซึ่งได้เลือกใช้เครื่องควบแน่นชุดนอกเพื่อระบายความร้อนส่วนเกินโดยใช้โซลินอยด์วาล์วในการเปิด-ปิด เพื่อควบคุมทิศทางการไหลของสารทำความเย็น กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิในห้องอบแห้งอยู่ในระดับที่ตั้งค่าไว้ โซลินอยด์วาล์วจะเปิดเพื่อให้สารทำความเย็นไประบายความร้อนที่เครื่องควบแน่นชุดนอกแทนเครื่องควบแน่นชุดใน และเมื่ออุณหภูมิในห้องอบแห้งลดลง โซลินอยด์วาล์วจะเปิดเพื่อให้สารทำความเย็นไหลเข้าไปสู่เครื่องควบแน่นชุดในเช่นเดิม และปิดการไหลไปยังเครื่องควบแน่นชุดนอก ซึ่งการทำงานของระบบอบแห้งจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเสร็จสิ้นการทำงานของเครื่องอบแห้งป้อนความร้อน

### 3.2 วิธีการทดลอง

เครื่องอบแห้งป้อนความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R32 ได้ทำการทดสอบภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง 50, 55 และ  $60^\circ\text{C}$  และความเร็วลม 1.0, 1.5 และ  $2.0 \text{ m/s}$  ตามลำดับ โดยใช้กล้วยน้ำว้าดิบที่ถูกหั่นเป็นแผ่นตามแนวยาวให้มีความหนาประมาณ 3 mm ความยาวประมาณ 10 cm และน้ำหนักอบแห้งเริ่มต้นครั้งละ 1,000 g โดยกล้วยที่เริ่มมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 210.0% d.b.

ซึ่งจะถูกอบแห้งจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายคงเหลือประมาณ 10.0% d.b. ซึ่งเป็นความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์กล้วยผงที่วางจำหน่ายในท้องตลาด ในระหว่างการทดลองได้ตรวจวัดและบันทึกค่าต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศ อุณหภูมิของสารทำความเย็น ความดันของสารทำความเย็น น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงตลอดการอบแห้ง ค่ากำลังไฟฟ้า และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งรายละเอียดเครื่องมือวัดดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับการหาความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้ใช้วิธีการหาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (2019)

ในการทดลองเริ่มต้นด้วยการเปิดเครื่องอบแห้งป้อนความร้อนและทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิห้องอบแห้งและความเร็วลมตามเงื่อนไขที่ศึกษา พร้อมทั้งเปิดเครื่องมือวัดและบันทึก หลังจากนั้นทำการเดินเครื่องอบแห้งป้อนความร้อนจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยพิจารณาจากค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแต่ละค่า เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลจึงนำกล้วยน้ำว้าจัดวางในห้องอบแห้ง และดำเนินการทดลองจนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายตามที่กำหนด

ตารางที่ 1 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

Devices	Technical properties	Accuracy
Electricity meter	Power, Amp, Volt, PF, Hz, Supply 220V, 50Hz	±1%
Temperature/ Thermocouple	Temperature: -40 - +120°C/Type K -200 - 1,300°C	±2°C /±0.01°C
Relative humidity (%RH)	Relative humidity: 0% - 100%	±4 %RH
Anemometer	Range 0 – 20 m/s	± 0.01m/s
Load cell	Output (mV/V) 2.0, 5-12V, 10kg (Max load)	±0.02%
Pressure gauge	Measuring pressure maximum 55 bar	±3%

### 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 ความชื้นผลิตภัณฑ์ (Moisture content, MC) การหาความชื้นดำเนินการโดยเตรียมผลิตภัณฑ์บางส่วนเข้าอบแห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ตามมาตรฐานของ AOAC (2019) เพื่อใช้ในการหาน้ำหนักแห้ง หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความชื้นที่แต่ละช่วงเวลาได้ดังสมการที่ (1)



$$MC = \frac{w - d}{d} \quad (1)$$

เมื่อ	MC	คือ	ความชื้นมาตรฐานแห้งที่แต่ละช่วงเวลา (d.b.)
	w	คือ	มวลเปียกของผลิตภัณฑ์ที่แต่ละช่วงเวลา (g)
	d	คือ	มวลแห้งของผลิตภัณฑ์ (g)

3.3.2 อัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) เป็นตัวแปรบ่งชี้ถึงค่าความชื้นที่ระเหยได้ต่อหน่วยเวลา โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2) (Vijayan *et al.*, 2016; Karthikeyan & Murugavelh, 2018)

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

เมื่อ	DR	คือ	อัตราการอบแห้ง (g/h)
	$\Delta w$	คือ	มวลน้ำที่ระเหย (g)
	$\Delta t$	คือ	เวลาที่เปลี่ยนแปลง (h)

3.3.3 อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะ (Specific moisture extraction rate, SMER) คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ต่อพลังงานที่ใช้ เขียนสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3) (Chapchaimoh *et al.*, 2016; Salih *et al.*, 2017; Tunckal & Doymaz, 2020)

$$SMER = \frac{w_i - w_f}{E} \quad (3)$$

เมื่อ	SMER	คือ	อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะ (kg/kWh)
	$w_i$	คือ	มวลเปียกก่อนอบแห้ง (kg)
	$w_f$	คือ	มวลเปียกหลังอบแห้ง (kg)
	E	คือ	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)



3.3.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4)

$$SEC = \frac{3.6E}{w_i - w_f} \quad (4)$$

เมื่อ	SEC	คือ	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg)
	$w_i$	คือ	มวลเปียกก่อนอบแห้ง (kg)
	$w_f$	คือ	มวลเปียกหลังอบแห้ง (kg)

3.3.5 สัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อน (Coefficient of performance of heat pump,  $COP_h$ ) ซึ่งนิยามด้วยอัตราส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นต่อพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดไอใช้ ดังสมการที่ (5) (Salih *et al.*, 2017; Tunckal & Doymaz, 2020)

$$COP_h = \frac{Q_c}{P_c} \quad (5)$$

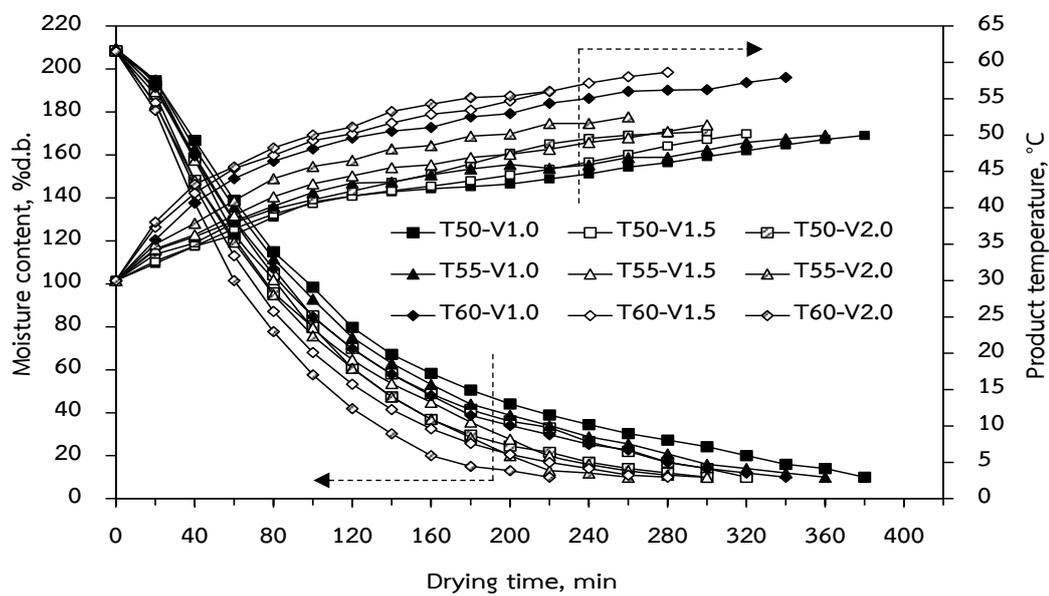
เมื่อ	$COP_h$	คือ	สัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อน (decimal)
	$Q_c$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (kW)
	$P_c$	คือ	กำลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดไอ (kW)

#### 4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้าดิบด้วยเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่เลือกใช้สารทำความเย็น R32 ภายใต้เงื่อนไขการทดลองอุณหภูมิอบแห้ง 50, 55 และ 60°C และความเร็วลม 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s ตามลำดับ มีรายละเอียดผลการทดลองดังต่อไปนี้

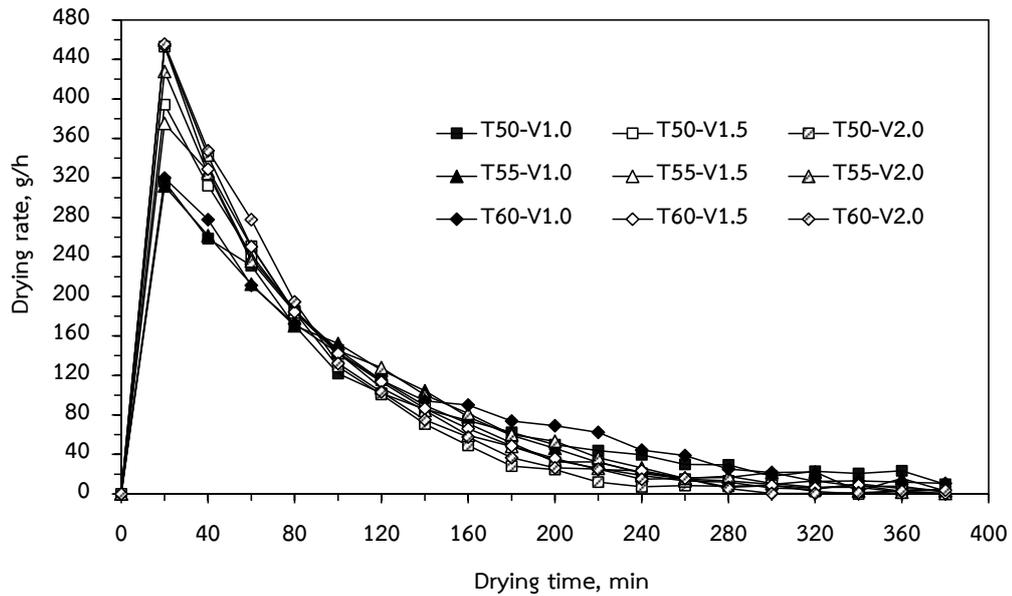
ภาพที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นผลิตภัณฑ์และอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง จากข้อมูลพบว่า ความชื้นผลิตภัณฑ์ลดลงค่อนข้างรวดเร็วในช่วง 100 นาทีแรก หลังจากนั้นอัตราการลดลงจะเริ่มช้าลง ในทำนองเดียวกันอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ก็จะเพิ่มขึ้นตามเวลาการอบแห้ง และพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลมจะส่งผลทำให้ระยะเวลาการอบแห้งลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Norhaida *et al.* (2019) ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งจะเพิ่มผลต่างอุณหภูมิระหว่างอากาศร้อนและกล้วยน้ำว้าดิบ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนมากขึ้นและ

ขณะเดียวกันก็ทำให้การระเหยความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เวลาในการอบแห้งสั้นลง และในทำนองเดียวกันการเพิ่มความเร็วลมก็จะส่งผลต่อการเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน จากข้อมูลสรุปได้ว่า เงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง 60°C และความเร็วลม 2.0 m/s จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุดเท่ากับ 220 นาที และเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง 50°C และความเร็วลม 1.0 m/s จะใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุดเท่ากับ 380 นาที

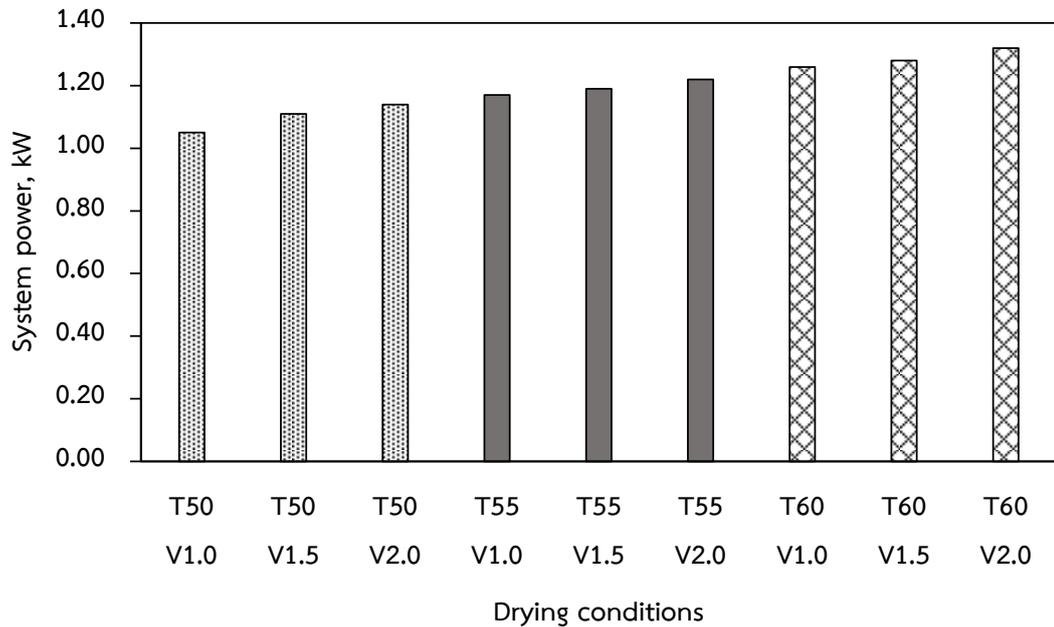


ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิผลิตภัณฑ์แต่ละเงื่อนไขการทดลอง

ภาพที่ 3 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งตามระยะเวลาอบแห้งของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง จากข้อมูลจะพบว่าในช่วงแรกของการทดลองเป็นช่วงการเพิ่มอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ดังข้อมูลที่นำเสนอในภาพที่ 2 และจากการพิจารณาข้อมูลในภาพที่ 3 จะพบว่า ช่วงพฤติกรรมการอบแห้งกลัวย่น้ำว่าติดด้วยเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนจะอยู่ในช่วงการอบแห้งลดลง (Falling rate period) นอกจากนั้นพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิมอบแห้งหรือการเพิ่มความเร็วลมจะมีผลทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Chapchaimoh *et al.* (2016) โดยสามารถอธิบายเหตุผลได้ในลักษณะทำนองเดียวกับการเปลี่ยนแปลงความชื้นตามเวลาอบแห้งของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง



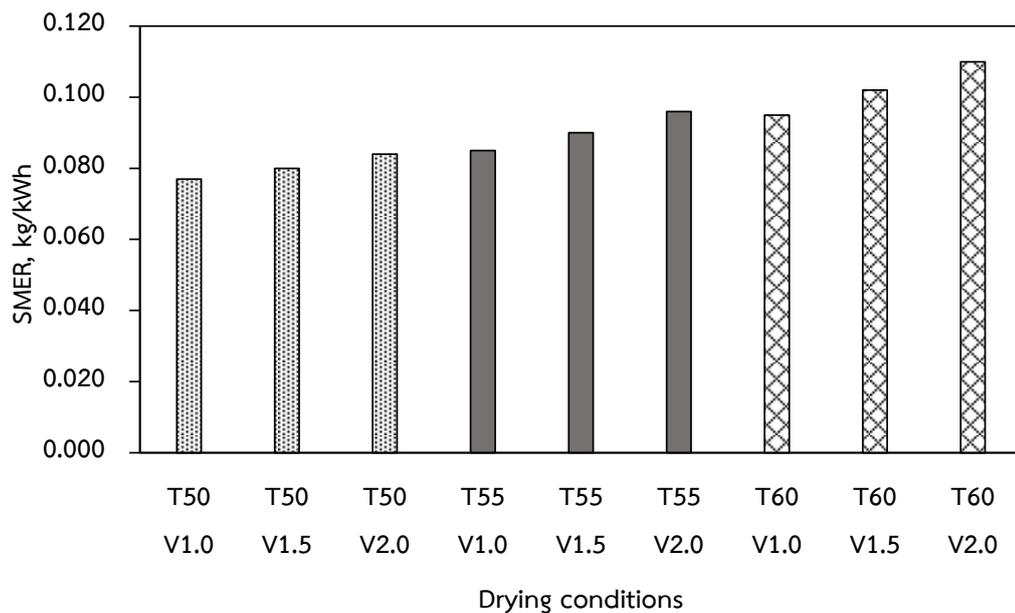
ภาพที่ 3 อัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์แต่ละเงื่อนไขการทดลอง



ภาพที่ 4 กำลังไฟฟ้าเครื่องอบแห้งที่เพิ่มความร้อนที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง

ภาพที่ 4 แสดงกำลังไฟฟ้าเครื่องอบแห้งที่เพิ่มความร้อนที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง จากข้อมูลพบว่า กำลังไฟฟ้าเครื่องอบแห้งที่เพิ่มความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลม ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจะส่งผลให้เครื่องอัดไอน้ำมีการทำงานเพิ่มมากขึ้นเพื่อสร้าง

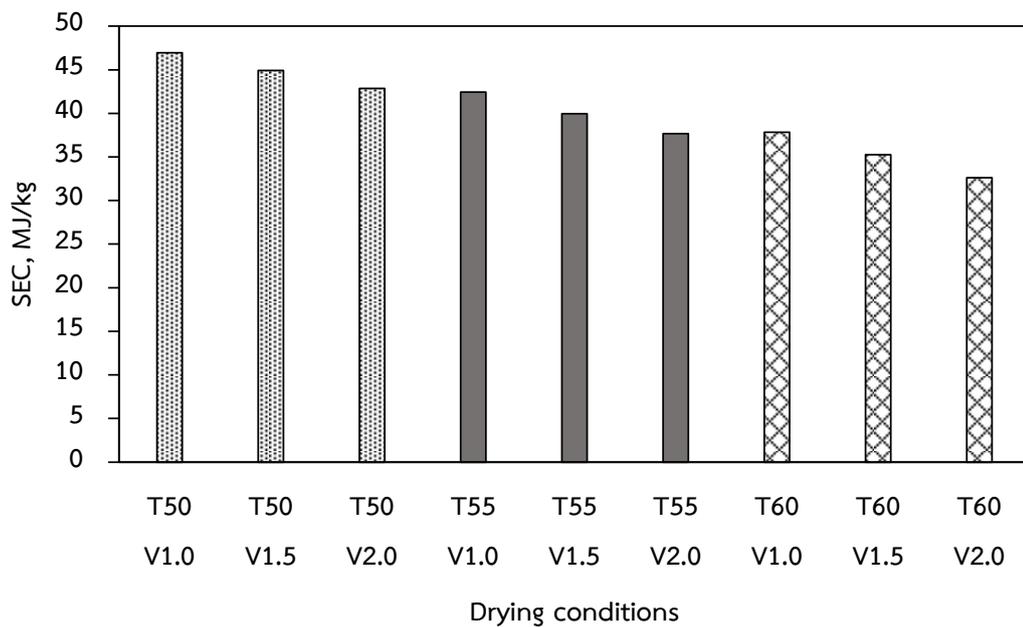
ความดันให้กับสารทำความเย็นให้อยู่ในระดับสูงเพียงพอและมีความสอดคล้องกับอุณหภูมิไออิ่มตัว เพื่อให้สามารถสร้างอุณหภูมิอบแห้ง (อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง) ตามที่ต้องการ และกระบวนการดังกล่าวจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของภาระทางความร้อนของเครื่องทำระเหยจากอุณหภูมิอบแห้งที่สูงมากขึ้น ผลที่ตามมาคือ สารทำความเย็นจะถูกปล่อยไปยังเครื่องทำระเหยในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้กำลังไฟฟ้าเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนเพิ่มมากขึ้น และในทำนองเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของความเร็วลมจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของภาระทางความร้อนของเครื่องทำระเหย เช่นเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้ง ซึ่งทำให้สารทำความเย็นถูกปล่อยไปยังเครื่องทำระเหยในปริมาณที่มากเพียงพอเช่นเดียวกัน จึงทำให้กำลังไฟฟ้าเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้จากข้อมูลในภาพที่ 4 พบว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 จะมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณร้อยละ 8 ในขณะที่เมื่อเพิ่มความเร็วลมร้อยละ 50 จะมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณร้อยละ 5



ภาพที่ 5 อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง

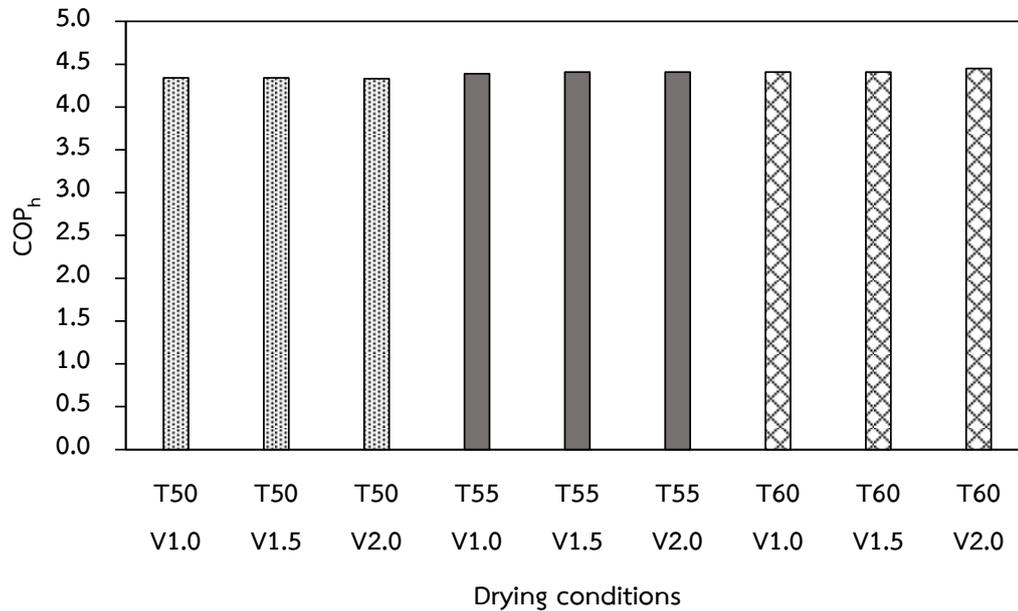
ภาพที่ 5 แสดงอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง ค่าที่น่าเสนอดังกล่าวหากมีค่าสูงยิ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จากข้อมูลพบว่า อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลม ซึ่งพบว่าข้อสรุปนี้สอดคล้องกับผลการศึกษา Chapchaimoh *et al.* (2016), Cuneyt & Ibrahim (2020) และ Jing *et al.* (2020) โดยค่านี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้น และจากงานวิจัยนี้พบว่าค่าอัตราการดึงน้ำออก

จำเพาะอยู่ระหว่าง 0.077 – 0.110 kg/kWh โดยเงื่อนไขที่มีค่าอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะสูงที่สุดคือ อุณหภูมิอบแห้ง 60°C และความเร็วลม 2.0 m/s ซึ่งหากพิจารณาเฉพาะกำลังไฟฟ้าที่ใช้จะพบว่าเงื่อนไขนี้เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนใช้กำลังไฟฟ้าสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม ที่เงื่อนไขนี้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด เมื่อพิจารณาภายใต้เงื่อนไขการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เท่ากันจึงทำให้เงื่อนไขที่มีระยะเวลาการอบแห้งสั้นมีค่าอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะสูง และค่านี้จะแปรผกผันกับความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะดังข้อมูลที่น่าเสนอในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

ภาพที่ 7 แสดงสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง จากข้อมูลพบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนในแต่ละเงื่อนไขการทดลองมีค่าแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.34 – 4.45 โดยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนสอดคล้องกับผลการวิจัย Wang *et al.* (2018) และ Quancheng *et al.* (2019) ทั้งนี้หากพิจารณาตามสมการที่ (5) จะพบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนคืออัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นต่อกำลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดไอ ซึ่งพลังงานทั้งสองชนิดนี้จะพบว่ามี การแปรผันแต่ละเงื่อนไขการทดลองในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกันมาก จึงส่งผลให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนแต่ละเงื่อนไขการทดลองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลมส่งผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนค่อนข้างน้อย



ภาพที่ 7 สัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

ตารางที่ 2 สมรรถนะเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็นชนิด R32

รายการ	เงื่อนไขการศึกษา (อุณหภูมิ, °C : ความเร็วลม, m/s)								
	T50: V1.0	T50: V1.5	T50: V2.0	T55: V1.0	T55: V1.5	T55: V2.0	T60: V1.0	T60: V1.5	T60: V2.0
น้ำหนักกล้วยเริ่มต้น, g	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
ความชื้นเริ่มต้น, %d.b.	210	210	210	210	210	210	210	210	210
ความชื้นสุดท้าย, %d.b.	10	10	10	10	10	10	10	10	10
เวลาในการอบแห้ง, h	6.33	5.33	5.00	6.00	5.00	4.33	5.66	4.66	3.66
อัตราการอบแห้ง, g/h	107.58	127.77	136.20	113.50	136.20	157.27	120.32	146.14	186.07
พลังงานที่ใช้อบแห้ง, kWh	8.88	8.50	8.11	8.03	7.56	7.13	7.16	6.67	6.17
อัตราการดึงน้ำออก จำเพาะ, kg/kWh	0.077	0.080	0.084	0.085	0.090	0.096	0.095	0.102	0.110
ความสิ้นเปลืองพลังงาน จำเพาะ, MJ/kg	46.94	44.93	42.87	42.45	39.96	37.69	37.85	35.26	32.62
สัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊ม ความร้อน	4.34	4.34	4.33	4.39	4.41	4.41	4.41	4.41	4.45

ตารางที่ 2 นำเสนอข้อมูลในภาพรวมของการวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็นชนิด R32 โดยข้อมูลสรุปในตารางดังกล่าว คือค่าเฉลี่ยตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ที่เงื่อนไขอุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  และความเร็วลม  $2.0\text{ m/s}$  มีอัตราการอบแห้งเท่ากับ  $186.07\text{ g/h}$  อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเท่ากับ  $0.11\text{ kg/kWh}$  และสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ  $4.45$  นอกจากนั้นยังเป็นเงื่อนไขที่ให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุดด้วย

## 5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็นชนิด R32 โดยใช้กล้วยน้ำว้าดิบเป็นตัวอย่างในการทดสอบ ผลจากการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลมจะมีผลทำให้อัตราการอบแห้ง กำลังไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน และอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าที่ลดลง นอกจากนั้นยังพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิ  $55$  และ  $50^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ และสุดท้ายยังพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลมมีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนค่อนข้างน้อย

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์ในการวิจัยในครั้งนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

เพ็ญจันทร์ สุธานุกุล, พรรณผกา รัตน์โกศล, รักชัย คุรุบรรเจดจิต และ จารินี จันทร์คำ. (2555). การ

คัดเลือกสายพันธุ์กล้วยน้ำว้ามีศักยภาพทางการค้าเพื่อการบริโภคผลสดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพและการแปรรูป. **รายงานผลงานวิจัยศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย**

Abdullah, A., Radia, E., Yunho, H., Vikrant, A., & Reinhard, R. (2015). Testing simulation and soft-optimization of R410A low-GWP alternatives in heat pump system. **International Journal of Refrigeration**, 60, 106–117.

Akhilesh S., Jahar, S., & Rashmi R.S. (2019). Comparative analyses on a batch-type heat pump dryer using low GWP refrigerants. **Food and Bioproducts Processing**, 117, 1–13.



- AOAC. (2019). **Official Methods of Analysis of AOAC International**, Virginia: Association of Official Analytical Chemists.
- Chapchaimoh, N., Poomsa-ad, N., Wiset, L., & Morris, J. (2016). Thermal characteristics of heat pump dryer for ginger drying. **Applied Thermal Engineering**, 95, 491–498.
- Cuneyt, T. & Ibrahim, D. (2020). Performance analysis and mathematical modelling of banana slices in a heat pump drying system. **Renewable Energy**, 150, 918-923.
- Haonan, H., Qinqin, C., Jinfeng, B., Xinye, W., Xinwen, J., Xiao, L., Yening, Q. & Ying, L. (2020), Understanding appearance quality improvement of jujube slices during heat pump drying via water state and glass transition. **Journal of Food Engineering**, 272, 109-121.
- Huelsz, G., Urbiola, S. L., Lopez, A. F., Rechtman, R. & Hernandez, C. G. (2012). Total energy balance method for venting electric clothes dryers. **Drying Technology**, 31, 576–586.
- In, S., Cho, K., Lim, B., Kim, H., & Youn, B. (2014). Performance test of residential heat pump after partial optimization using low GWP refrigerants. **Applied Thermal Engineering**, 72, 315–322.
- Jing, W. & Zhou, M. W. (2020). A comprehensive assessment of refrigerants for cabin heating and cooling on electric vehicles. **Applied Thermal Engineering**, 174, 1-11.
- Karthikeyan, A. K., & Murugavelh, S. (2018). Thin layer drying kinetics and exergy analysis of turmeric (*Curcuma longa*) in a mixed mode forced convection solar tunnel dryer. **Renewable Energy**, 128, 305-312.
- Kuan, M., Shakir, Y., Mohanraj, M., Belyayev, Y., Jayaraj, S. & Kaltayev, A. (2019). Numerical simulation of a heat pump assisted solar dryer for continental climates. **Renewable Energy**, 143, 214-225.
- Levent, T., Mustafa, A., Seyfi, S., Mehmet, G., Gamze, U.S. & Burak, A. (2018) Determination of drying kinetics and quality parameters of grape pomace dried with a heat pump dryer. **Food Chemistry**, 260, 152–159.



- Michael, J., Michael, B., Christian, K. & Espen, H. V. (2020). Modelica based modelling of heat pump-assisted apple drying for varied drying temperatures and bypass ratios. **Thermal Science and Engineering Progress**, 19, 100-111.
- Norhaida, H., Ahmad, T., Siti, M.T., Wei, L. A., Masli, I. R. & Law, C. L. (2019). Comparison of drying kinetics and product quality from convective heat pump and solar drying of Roselle calyx. **Food and Bioproducts Processing**, 118, 40–49.
- Niklas, B., Thomas, A., Wilhelm, T., & Marcos, B. (2019). Andreas M and Jurgen K. Exergetic analysis of different R744 heat pump tumble dryer system topologies. **Applied Thermal Engineering**, 161, 107-114.
- Quancheng, D., Dechang, W., Xuerui, L., Yanhui, L. & Shaohong, Z. (2019). Thermal characteristics of a novel enclosed cascade-like heat pump dryer used in a tunnel type drying system. **Applied Thermal Engineering**, 155, 206–216.
- Rony, A. S. & Chi, C. W. (2019). Comparative study for CO<sub>2</sub> and R-134a heat pump tumble dryer – A rational approach. **International Journal of Refrigeration**, 106, 474–491.
- Salih, C., Doymaz, I., Tunçkal, C., & Seçil, E. (2017). Investigation of drying kinetics of tomato slices dried by using a closed loop heat pump dryer. **Heat Mass Transfer**, 53, 1863–1871.
- Tunckal, C., & Doymaz. I. (2020). Performance analysis and mathematical modelling of banana slices in a heat pump drying system. **Renewable Energy**, 150, 918-923.
- Vijayan, S., Arjunan, T.V., & Kumar, A. (2016). Mathematical modeling and performance analysis of thin layer drying of bitter gourd in sensible storage based indirect solar dryer. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 36, 59-67.
- Wang, J. F., Brown, C. & Cleland, D. J. (2018). Heat pump heat recovery options for food industry dryers. **International Journal of Refrigeration**, 86, 48–55.



## การศึกษาการควบคุมความดันเกจที่ส่งผลต่อการสูบน้ำของระบบสูบน้ำ ด้วยไอน้ำแบบอัตโนมัติ

### A STUDY OF THE GAUGE PRESSURE CONTROL THAT AFFECTS PUMPING OF AUTOMATIC WATER PUMP SYSTEM WITH STEAM

พยัพ สลัปศรี<sup>1\*</sup>, จิรวัดณ์ สิตรานนท์<sup>1</sup>, กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์<sup>1</sup>,

กรณัฏฐ์ นาคภิบาล<sup>2</sup>, ภาณุศักดิ์ มูลศรี<sup>3</sup>

Payap Salapsri<sup>1\*</sup>, Jirawat Sitranon<sup>1</sup>, Kittisak Witinantakit<sup>1</sup>,

Koranat Narkpiban<sup>2</sup>, Panusak Moonsri<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สำนักวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20110

<sup>2</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20110

<sup>3</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.นครราชสีมา ประเทศไทย 30000

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

<sup>2</sup>Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok,  
Siracha, Chonburi, Thailand, 20110

<sup>3</sup>Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan,  
Mueang, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

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

วันที่เข้าระบบ 24 มิถุนายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ 25 สิงหาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 26 สิงหาคม 2566

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการควบคุมความดันเกจที่ส่งผลการทำงานของระบบสูบน้ำด้วยไอน้ำแบบอัตโนมัติ โดยถังสูบน้ำที่ความดันเกจ 0 กิโลปาสคาล และที่ความดันเกจ 10 กิโลปาสคาล ที่ระดับความสูงในการสูบน้ำ 2 เมตร เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง ควบคุมด้วยการเปิด-ปิดวาล์ว โดยใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิและความดันเกจภายในถังผลิตไอน้ำ และถังสูบน้ำทั้ง 2 ถัง มาวิเคราะห์พบว่า ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องแบบอัตโนมัติ โดยการสลับถังสูบน้ำระหว่างถังสูบน้ำ A และถังสูบน้ำ B จากการควบคุมความดันเกจของถังสูบน้ำที่ 10 กิโลปาสคาล ส่งผลให้จำนวนรอบในการสูบน้ำ และปริมาตรน้ำที่สูบได้ต่อวันเพิ่มมากขึ้น โดยเฉลี่ย 33% และ 31% ตามลำดับ จำนวนรอบที่สูบน้ำได้สูงสุด 16 รอบ ส่วนปริมาตรน้ำที่สูบได้สูงสุด 3,006 ลิตร ระยะเวลาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในถังสูบน้ำจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมไปสู่จุดเดือดของน้ำที่ความดันเกจควบคุม เมื่อความดันเกจสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นตาม ดังนั้นจึงลดระยะเวลาในการให้ความร้อนกับถังสูบน้ำ ระบบจึงสามารถทำงานได้รวดเร็ว จำนวนรอบการทำงาน

ภายใน 10 ชั่วโมง จึงเพิ่มขึ้น และเมื่อจำนวนรอบการทำงานเพิ่มมากขึ้น ปริมาณน้ำที่สูบได้ก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ

**คำสำคัญ:** การควบคุมความดันเกจ, ถังสูบน้ำ, ปริมาณน้ำที่สูบได้

### Abstract

The objective of this research study of the gauge pressure control that affects working of automatic water pump system with steam at atmospheric Gauge pressure 0 kPa and 10 kPa for condenser tank at suction head 2 m within 10 hr. Control by opening-closing the valve by using programmable logic control (PLC). From comparing temperature and gauge pressure inside the steam tank and two condenser tanks came to the analysis and found that three systems can work continuously automatically by alternating the condenser tank between tank A and tank B. By controlling the pressure of the condenser tank at 10 kPa the number of pumping cycles and the pumped water increased by an average of 33% and 31% respectively. The max daily number of pump cycles was 16 cycles and max pumped water is roughly 3,006 L. The duration of the rise of the temperature inside the condenser tank from the ambient temperature to the boiling point of water at controlled gauge pressure. When the pressure rises the temperature rises accordingly. Therefore, the heating time of the condenser tank is reduced and the system can be operated quickly. The number of work cycles within 10 hr has therefore increased and the number of duty cycles increases the pumped water increases accordingly.

**Keywords:** Gauge pressure control, Condenser tank, Pumped water

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ สามารถใช้งานได้ในทุกพื้นที่เนื่องจากไม่มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการต้มน้ำเพื่อผลิตไอน้ำอีกทั้งยังเป็นระบบที่สามารถใช้เชื้อเพลิงเพื่อการต้มน้ำสำหรับการผลิตไอน้ำได้มากมาย เช่น ใช้เศษฟืนไม้ แก๊สชีวภาพ แก๊สหุงต้ม หรือเชื้อเพลิงชีวมวลอื่นๆ ในการให้ความร้อนกับระบบดังกล่าว ซึ่งเป็นการลดการพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ โดยเชื้อเพลิงเหล่านั้นอาจจัดหาได้ทั่วไปในชุมชนไม่ต้องซื้อ รวมถึงขั้นตอนการทำงานของระบบการสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำนี้ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ราคาสูงและขั้นตอนการควบคุมระบบไม่มีความซับซ้อนค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงระบบต่ำ เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องไม่ต้องการการดูแลรักษา



ด้วยเหตุผลดังกล่าวที่กล่าวมาแล้วการศึกษาวิธีการสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำนี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูงในการนำไปใช้งานจริงตามพื้นที่ต่างๆ และสามารถพัฒนาต่อยอดสู่ระบบการสูบน้ำที่ต้องการปริมาณน้ำไม่มากสำหรับการใช้สำหรับการอุปโภคบริโภคทั่วไป (จิรวัดน์ และคณะ, 2563) การออกแบบระบบสูบน้ำ ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของของเหลวของสารทำงาน เทียบกับพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ คือเมื่อเกิดการถ่ายเทความร้อนในขั้นตอนเวลาที่กำหนด การเปลี่ยนแปลงของสารทำงานที่ปริมาตรคงที่ อุณหภูมิและความดันจะเปลี่ยนแปลง เรียกว่า ไอโซคอริก (Isochoric) กระบวนการเปลี่ยนแปลงที่ความดันคงที่ เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และปริมาตรเรียกว่า ไอโซบาริก (Isobaric) ในหลาย ๆ การพัฒนาเครื่องจักรความร้อนอุณหภูมิต่ำสำหรับประยุกต์ใช้กับปั๊มน้ำ จะใช้กระบวนการไอโซคอริก (Bandaru, 2019) การพัฒนาเครื่องจักรความร้อนอุณหภูมิต่ำสำหรับสูบน้ำ ได้ศึกษาอุณหภูมิของเครื่องจักรความร้อนอยู่ในช่วง 30-100 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับปั๊มน้ำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ การออกแบบการจัดเรียงไดอะแฟรม การเลือกวัสดุไดอะแฟรมให้เหมาะสมกับสารทำงาน (น้ำ) โดยอาศัยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ในการยกน้ำ การเปลี่ยนสถานะของสารทำงานเป็นไอจากแหล่งความร้อนต่ำ สามารถสร้างแรงดันได้ ดังนั้นเมื่อสารทำงานถูกปิดกั้นด้วยไดอะแฟรม เมื่ออีกฝั่งได้รับความร้อนเกิดการเปลี่ยนสถานะ และอีกฝั่งเป็นของเหลว ทำให้เกิดความแตกต่างของความดัน และความดันสูงจะผลักดันให้ไดอะแฟรมเคลื่อนที่ไปทางฝั่งที่มีความดันต่ำ จึงเกิดการขับเคลื่อนของเหลวออกจากระบบ เมื่อฝั่งมีความดันสูงถูกระบายความร้อนจึงทำให้ความดันลดลงพร้อมกับเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งเดิมทำให้เกิดการสูบน้ำเข้าระบบ และเริ่มให้ความร้อนเพื่อทำงานในรอบต่อไปเป็นการบวนการให้ความร้อนเพื่อขับเคลื่อนน้ำ และระบายความร้อนเพื่อสูบน้ำ ทิศทางการไหลของน้ำถูกควบคุมด้วยวาล์วกันกลับ (Kurhe, 2017) การออกแบบปั๊มน้ำความร้อนพลังงานผสมผสาน ได้การออกแบบปั๊มน้ำความร้อนพลังงานผสมผสานสำหรับผลิตน้ำร้อน 2 ระบบ ระบบแรกใช้พลังงานจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ 2.1 ตารางเมตร ปริมาตร 2.3 ลิตร ควบคุมกับพลังงานความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์ 2000 วัตต์ 4.7 ลิตร ถึงขับเคลื่อนน้ำขนาดเล็ก 9.5 ลิตร ใช้น้ำในการหล่อเย็นโดยตรง 300 มิลลิลิตร ความสูงในการสูบน้ำ 1 และ 3 เมตร การเติมปริมาตรอากาศในถังขับเคลื่อนน้ำร้อยละ 10 ระบบทำงานได้อัตโนมัติ พลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบมี 2 ทาง พลังงานหลักจากรังสีอาทิตย์ และพลังงานความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์ ดังนั้นจึงต้องสมดุลพลังงานในช่วงการให้ความร้อนให้เหมาะสมกับปริมาณความร้อนที่ต้องการในการขับเคลื่อนน้ำ ภายในถังขับเคลื่อนน้ำ มิฉะนั้นแล้วจะเป็นการสูญเสียความร้อนจากแหล่งความร้อนทั้ง 2 ที่ป้อนเข้าระบบ ส่วนในขั้นตอนการเติมอากาศเข้าสู่ระบบ เติมที่ถังขับเคลื่อน โดยให้ระบบสูบน้ำร้อยละ 90 ก่อนแล้วจึงดูดอากาศเข้าไปร้อยละ 10 (Moonsri, 2015) การออกแบบระบบวัฏจักรกำลังแอมโมเนียและน้ำที่ขับเคลื่อนด้วยความร้อนจากแรงโน้มถ่วง การประยุกต์ใช้วัฏจักรกำลังที่ขับเคลื่อนด้วยความร้อนกับหม้อไอน้ำชีวมวลสามารถเปลี่ยนพลังงานชีวมวลเป็นไฟฟ้าได้ เทคโนโลยีดังกล่าวมีประโยชน์อย่าง



ยิ่งสำหรับจัดการฟางในพื้นที่ชนบท ในขณะที่เดียวกันก็ช่วยอนุรักษ์พลังงานด้วย โดยใช้ฟางเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล 645 กิโลกรัม ในเผาไหม้ให้ความร้อนกับน้ำจนเมื่อไอน้ำอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จะได้ไฟฟ้า 10.68 กิโลวัตต์ ถ้าคริวเรือมีความต้องการด้านพลังงานไฟฟ้า 20 กิโลวัตต์ ชั่วโมง การนำระบบ GTP มาประยุกต์ใช้สามารถรองรับได้ 12 คริวเรือ (Wang, 2020) จากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและปริมาณน้ำหล่อเย็น การลดอุณหภูมิและเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็นส่งผลให้เกิดความดันสุญญากาศมากขึ้นทำให้ระบบสามารถสูบน้ำได้เร็ว และสูบน้ำในระดับความลึกที่มากขึ้นตามไปด้วย แต่การลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นให้มีความต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมต้องใช้พลังงานมากขึ้นกว่าเดิม และการเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็นให้มากขึ้นจะส่งผลกระทบต่อตรงกับปริมาณน้ำสุทธิต่ำที่สุดได้ (ฉัตรชัย และคณะ, 2564) จากงานวิจัยที่ผ่านมาการสูบน้ำยังไม่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานของระบบสูบน้ำความร้อนด้วยไอน้ำแบบอัตโนมัติ โดยการควบคุมความดันเกจที่ใช้ในถังสูบน้ำ 0 กิโลปาสกาล และ 10 กิโลปาสกาล ที่ระดับความลึกในการสูบน้ำ 2 เมตร และศึกษาระยะเวลาที่ส่งผลต่อจำนวนรอบในการสูบน้ำ และปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ ภายใต้การควบคุมการทำงานของระบบให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของระบบสูบน้ำด้วยไอน้ำโดยใช้โปรแกรมควบคุมอัตโนมัติ
- 2.2 เพื่อศึกษาความดันเกจที่ส่งผลการทำงานระบบสูบน้ำด้วยไอน้ำแบบอัตโนมัติ

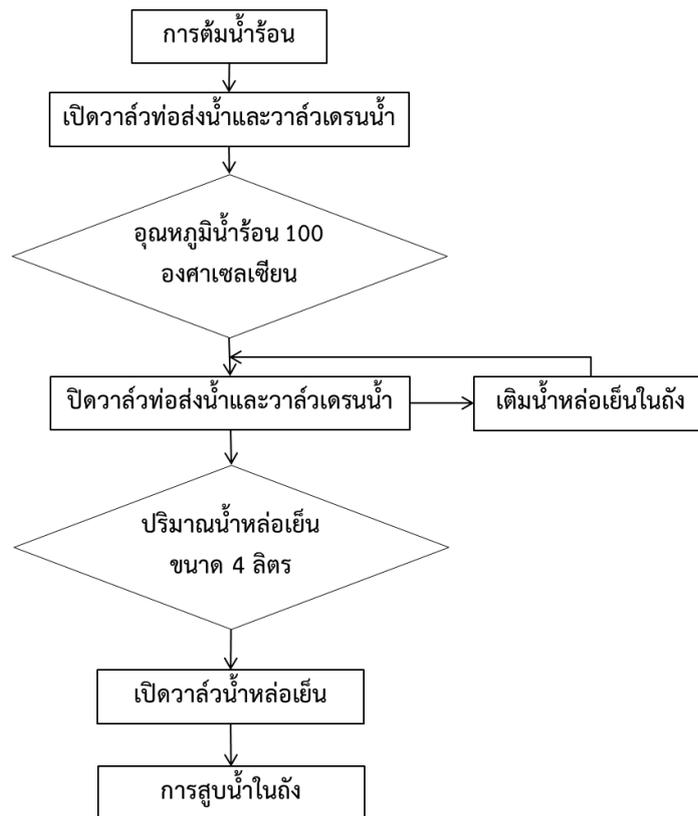
## 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการทำงานของปั๊มน้ำสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะทำให้การทดลองใช้น้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิแวดล้อม และปริมาณน้ำหล่อเย็น 3 ลิตร และขนาดของปริมาตรในการบรรจุน้ำ 204 ลิตร จำนวน 2 ถัง โดยจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความดันสุญญากาศ อุณหภูมิเวลาในการสูบน้ำและปริมาตรในการสูบน้ำของระบบสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำโดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

### 3.1 หลักการทำงานของระบบการทดลอง

จากภาพที่ 1 เป็น Flow chart ของการทำงานของระบบสูบน้ำอัตโนมัติ ในช่วงแรกการทำงานการให้ความร้อนด้วยแหล่งพลังงานฮีตเตอร์ 2,500 วัตต์ แก่ถังผลิตไอน้ำช่วงให้ความร้อนกับถังผลิตไอน้ำ อากาศไอน้ำที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึง 100 องศาเซลเซียส ผ่านโซลินอยด์วาล์ว 1 ไอน้ำจะเข้ามาแทนที่อากาศภายในถังสูบน้ำจนอากาศไหลผ่านโซลินอยด์วาล์ว 2 จนอากาศไหลออกหมดเนื่องจากที่อุณหภูมิเท่ากันไอน้ำจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศ จึงลอยอยู่ที่สูงและขับดันอากาศออกทางด้านล่างของถัง ดังนั้นภายในถังสูบน้ำจะมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ (101.325 กิโลปาสกาล)

ช่วงหล่อเย็นเมื่ออุณหภูมิภายในถังสูบน้ำเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส จะไม่มีอากาศเหลืออยู่ภายใน น้ำหล่อเย็นที่ระดับความสูงมากกว่าในถังหล่อเย็นที่เตรียมไว้ก็จะถูกเปิดให้ไหลเข้าสู่ถังสูบน้ำด้วย ค่าแรงโน้มถ่วงโลก ผ่านโซลินอยด์วาล์ว 3 ช่วงสูบน้ำเมื่อน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิแวดล้อม น้ำจะไหลเข้า ถังสูบน้ำด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีไอน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จึงเกิดการควบแน่นภายในถัง จนเกิดเป็นสุญญากาศและเริ่มสูบน้ำผ่านโซลินอยด์วาล์ว 4 จากถังพักน้ำขึ้นมายังถังสูบน้ำ



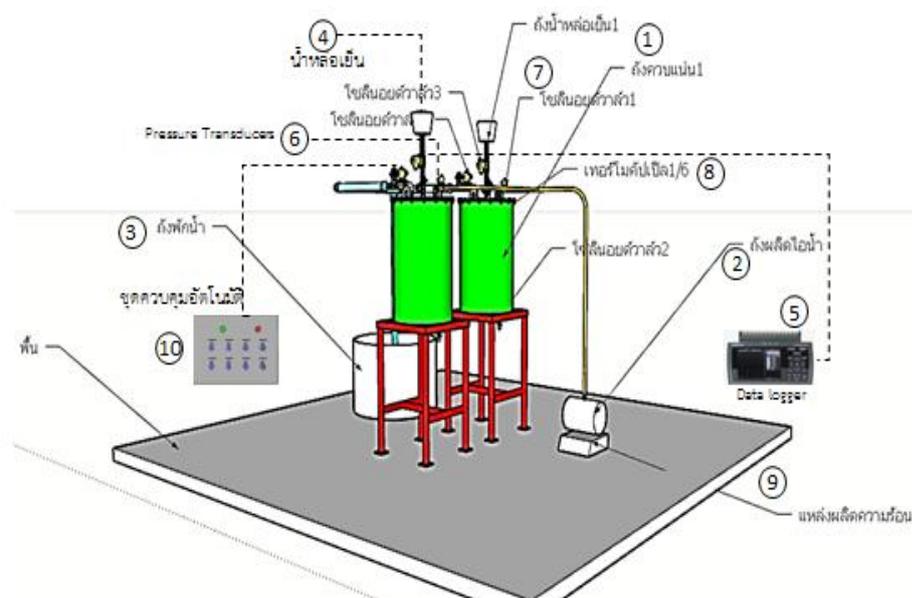
ภาพที่ 1 Flow chart ของการทำงานระบบสูบน้ำอัตโนมัติ

### 3.2 วัสดุและอุปกรณ์

เครื่องสูบน้ำอัตโนมัติจากภาพที่ 2 เป็นเครื่องเครื่องสูบน้ำอัตโนมัติระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

- 1) ถังสูบน้ำ (Condenser tank) ลักษณะของถังสูบน้ำเป็นถังทรงกระบอกแนวตั้งทำจากเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 540 มิลลิเมตร ความสูงของถังสูบน้ำ 895 มิลลิเมตร ปริมาตรในการบรรจุน้ำ 204 ลิตร ความหนาของวัสดุที่ใช้ทำถัง 10 มิลลิเมตร จำนวน 2 ถัง

- 2) ถังผลิตไอน้ำ (Steam tank) เป็นถังทรงกระบอกแนวนอน ทำจากสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 มิลลิเมตร ความยาวของถังผลิตไอน้ำ 350 มิลลิเมตร ปริมาตรในของถัง 17.18 มิลลิเมตร ความหนาของวัสดุ 2 มิลลิเมตร
- 3) ถังพักน้ำ ภาพทรงกระบอกแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 900 มิลลิเมตร ความสูงของถัง 40 มิลลิเมตร ปริมาตรในการบรรจุน้ำ 400 มิลลิเมตร วัสดุปูนซีเมนต์ฉาบเรียบ จำนวน 2 ถัง
- 4) ถังน้ำหล่อเย็น ภาพทรงกระบอกแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ความสูงของถัง 400 มิลลิเมตร ปริมาตรในการบรรจุน้ำ 3 ลิตร ทำจากพลาสติก
- 5) เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความดัน (Data logger) บริษัทผู้ผลิต GRAPHTEC รหัสรุ่น (Model) GL820 ช่องสัญญาณ 20 ช่อง ค่าความคลาดเคลื่อน (แรงคลื่นไฟฟ้า) ร้อยละ  $\pm 0.05$  ค่าความคลาดเคลื่อน (อุณหภูมิ) ร้อยละ  $\pm 0.15$
- 6) ตัวแปลงสัญญาณแรงดัน (Pressure transducers) บริษัทผู้ผลิต ZEGA รหัสรุ่น (Model) ZG-PT9200 ประเภทของตัวตรวจจับแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแสไฟฟ้า ย่านการวัด -100 ถึง 100 กิโลปาสคาล (-1 ถึง + 1 บาร์) อุณหภูมิของสารทำงาน 40 ถึง 100 องศาเซลเซียส สารทำงานไอน้ำ และอากาศ
- 7) โซลินอยด์วาล์ว 12 ตัว
- 8) เทอร์โมคัปเปิล type K 7 ตัว
- 9) แหล่งผลิตความร้อน ฮีตเตอร์ 2,500 วัตต์
- 10) ชุดควบคุมอัตโนมัติโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC)



ภาพที่ 2 เครื่องสูบน้ำอัตโนมัติ



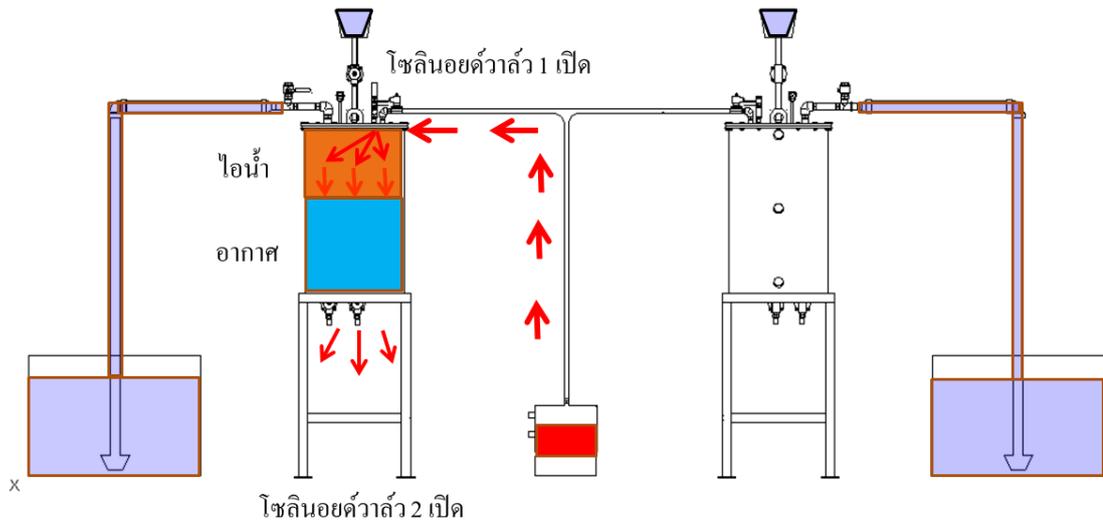
### 3.3 วิธีการวิจัย

ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ และการถ่ายเทความร้อนของระบบ โดยมีการปฏิบัติงานในการทดลองการสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำด้วยอุณหภูมิปริมาณและระดับความสูงที่ 2 เมตร ตามลำดับดังนี้

- 1) ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบด้วยฮีตเตอร์ 2,500 วัตต์ สำหรับต้มน้ำ ถึงสูบน้ำ ถึงพักน้ำ และถังผลิตไอน้ำ
- 2) ติดตั้งท่อส่งไอน้ำท่อสูบน้ำโซลินอยด์วาล์วต่างๆ รวมทั้งสายวัดอุณหภูมิและเครื่องวัดความดัน
- 3) ติดตั้งเครื่องมือบันทึกอุณหภูมิและความดัน
- 4) เตรียมน้ำเข้าถังพักน้ำ (แหล่งน้ำ) จำนวน 400 ลิตร
- 5) เติมน้ำเข้าถังผลิตไอน้ำ 15 ลิตร ปิดโซลินอยด์วาล์วทั้งระบบโดยอัตโนมัติ
- 6) เติมน้ำหล่อเย็นไว้ที่ถังหล่อเย็นจำนวน 3 ลิตรโดยอัตโนมัติ
- 7) เติมน้ำเข้าไปในท่อดูดน้ำที่พุทวาล์วให้เต็ม
- 8) เปิดระบบอัตโนมัติให้ทำงาน
- 9) ให้ความร้อนกับระบบโดยใช้ฮีตเตอร์ เพื่อต้มน้ำที่ถังผลิตไอน้ำระหว่างนี้ต้องเปิดชุดควบคุมอัตโนมัติและโซลินอยด์วาล์ว 1 (ท่อส่งไอน้ำ และ โซลินอยด์วาล์ว 2 ระบายไอ) ที่ด้านล่างถังสูบน้ำเพื่อไล่อากาศภายในถังสูบน้ำ A
- 10) ระบบอัตโนมัติทำงานจนอุณหภูมิไอน้ำภายในถังสูบน้ำ A เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส
- 11) ระบบอัตโนมัติทำงานปิดโซลินอยด์วาล์ว 1 และโซลินอยด์วาล์ว 2 จากถังผลิตไอน้ำเพื่อไม่ให้ไอน้ำเข้าถังสูบน้ำ A อีก และระบบอัตโนมัติโยนเปิดโซลินอยด์วาล์ว 7 และ 8 ของ ถังสูบน้ำ B
- 12) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 3 น้ำหล่อเย็น 3 ลิตร เป็นเวลา 10 วินาที และปิดวาล์วที่ 3 ช่วงนี้ถังสูบน้ำ เกิดการควบแน่นและเกิดความดันสูญญากาศ
- 13) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 4 เพื่อสูบน้ำเข้าถังสูบน้ำ A
- 14) ระบบอัตโนมัติทำงานรอจนถังสูบน้ำหยุดสูบน้ำ โดยตรวจสอบจากความดันภายในถัง
- 15) ระบบอัตโนมัติทำงานปิดโซลินอยด์วาล์ว 4 จบขั้นตอนของถังสูบน้ำ A
- 16) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 5 บนถังสูบน้ำ A และโซลินอยด์วาล์ว 6 ด้านล่างถังสูบน้ำ A ระบายน้ำผ่านมาตรวัดน้ำและบันทึกค่า
- 17) ระบบอัตโนมัติทำงานควบคุมถังสูบน้ำ B โซลินอยด์วาล์ว 7 (ท่อส่งไอน้ำ และ โซลินอยด์วาล์ว 8 ระบายไอ) ที่ด้านล่างถังสูบน้ำเพื่อไล่อากาศภายในถังสูบน้ำ B

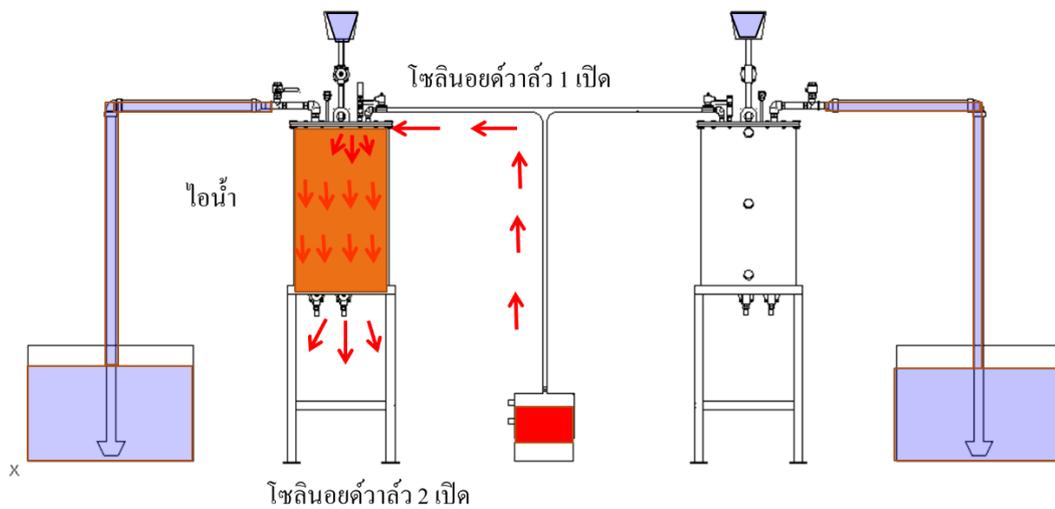


- 18) ระบบอัตโนมัติทำงานจนอุณหภูมิไอน้ำภายในถังสูบน้ำ B เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส
- 19) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 7 และโซลินอยด์วาล์ว 8 จากถังผลิตไอน้ำเพื่อไม่ให้ไอน้ำเข้าถังสูบน้ำ B อีก และระบบอัตโนมัติโยนเปิดโซลินอยด์วาล์ว 1 และ 2 ของ ถังสูบน้ำ A
- 20) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 9 น้ำหล่อเย็น 3 ลิตร เป็นเวลา 10 วินาที และปิดวาล์วที่ 9 ช่วงนี้ถังสูบน้ำเกิดความดันสูญญากาศ
- 21) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 10 เพื่อสูบน้ำเข้าถังสูบน้ำ B
- 22) ระบบอัตโนมัติทำงานรอจนถังสูบน้ำหยุดสูบน้ำ โดยตรวจสอบจากความดันภายในถังสูบน้ำ
- 23) ระบบอัตโนมัติทำงานปิดโซลินอยด์วาล์ว 10 จบขั้นตอนของถังสูบน้ำ B
- 24) ระบบอัตโนมัติทำงานเปิดโซลินอยด์วาล์ว 11 และโซลินอยด์วาล์ว 12 ด้านล่างระบายน้ำผ่านมาตรวัดน้ำและบันทึกค่า
- 25) ระบบอัตโนมัติทำงานขั้นตอนที่ 9 ถึง ขั้นตอนี่ 24 ตามรอบการทำงานโดยใช้เวลา 10 hr
- 26) ทดลองที่ความดันแกจ (0 กิโลปาสคาล) 3 ครั้ง
- 27) ทดลองที่ความดันแกจ (10 กิโลปาสคาล) 3 ครั้ง
- 28) นำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์และสรุปผล
- หลักการการทำงานของระบบสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำอัตโนมัติ ประกอบด้วยช่วงผลิตไอน้ำและขับเคลื่อนอากาศช่วงระบายไอ ช่วงหล่อเย็น และช่วงสูบน้ำ
- ช่วงผลิตไอน้ำและขับเคลื่อนอากาศ เริ่มต้นเปิด โซลินอยด์วาล์ว 1 และ โซลินอยด์วาล์ว 2 โซลินอยด์วาล์ว 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ปิดทั้งหมด เมื่อน้ำในถังผลิตไอน้ำ ได้รับความร้อนจากฮีตเตอร์ จนกระทั่งมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะเกิดไอน้ำขึ้นภายในถังผลิตไอน้ำ และเคลื่อนผ่านท่อส่งไอ และ โซลินอยด์วาล์ว 1 ไปยังด้านบนของถังสูบน้ำ A และขับเคลื่อนอากาศ ออกทางด้านล่างผ่านโซลินอยด์วาล์ว 2 ดังภาพที่ 3



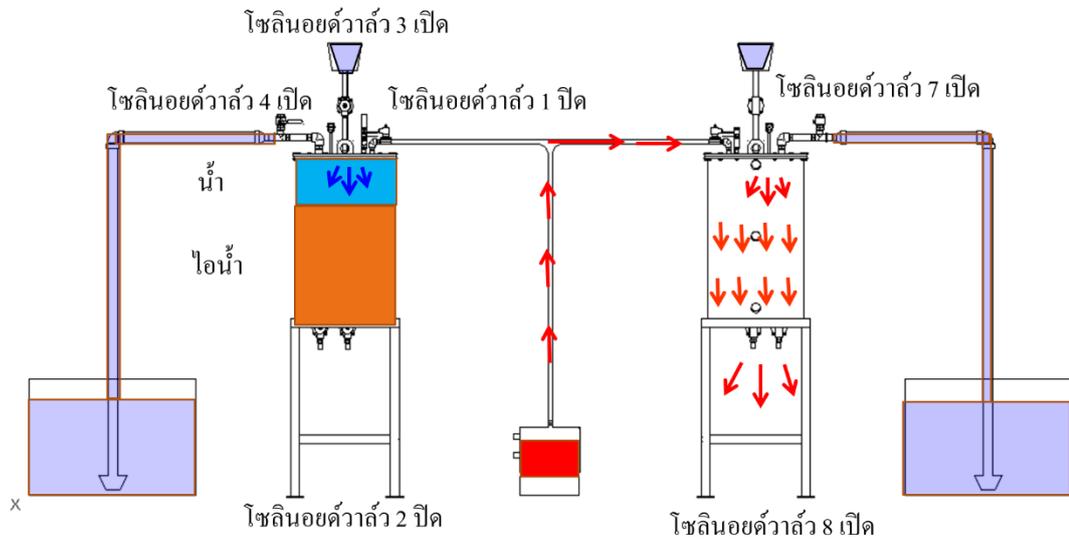
ภาพที่ 3 ช่วงผลิตไอน้ำและขั้บตันอากาศ

เมื่อไอน้ำขั้บตันอากาศภายในถังสูบน้ำจนหมด หรือจนกระทั่งไอน้ำจะแทนที่อากาศภายในถังสูบน้ำหมด ดังภาพที่ 4



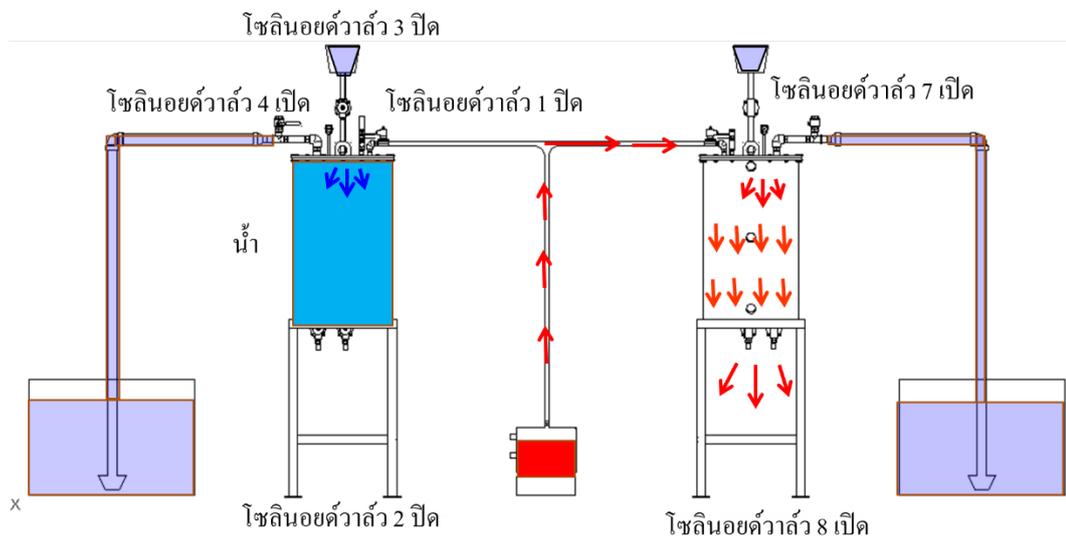
ภาพที่ 4 ช่วงระบายไอน้ำ

ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โซลีนอยด์วาล์ว 1 และโซลีนอยด์วาล์ว 2 จะปิดอัตโนมัติ โย่นไปเปิดโซลีนอยด์วาล์ว 7 และ 8 ของถังสูบน้ำ B ในช่วงเวลาเดียวกัน ถังสูบน้ำ A โซลีนอยด์วาล์ว 3 เปิด เพื่อหล่อเย็น และเปิดโซลีนอยด์วาล์ว 4 เปิดดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ช่วงหล่อเย็น

โซลिनอยด์วาล์ว 3 เปิดเป็นเวลา 10 วินาที จะปิดโดยอัตโนมัติ ไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ผสมกับน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จึงทำให้เกิดการควบแน่นภายในถังสูบน้ำ เป็นสุญญากาศ และสูบน้ำจากบ่อน้ำ ผ่านโซลिनอยด์วาล์ว 4 ดังภาพที่ 6



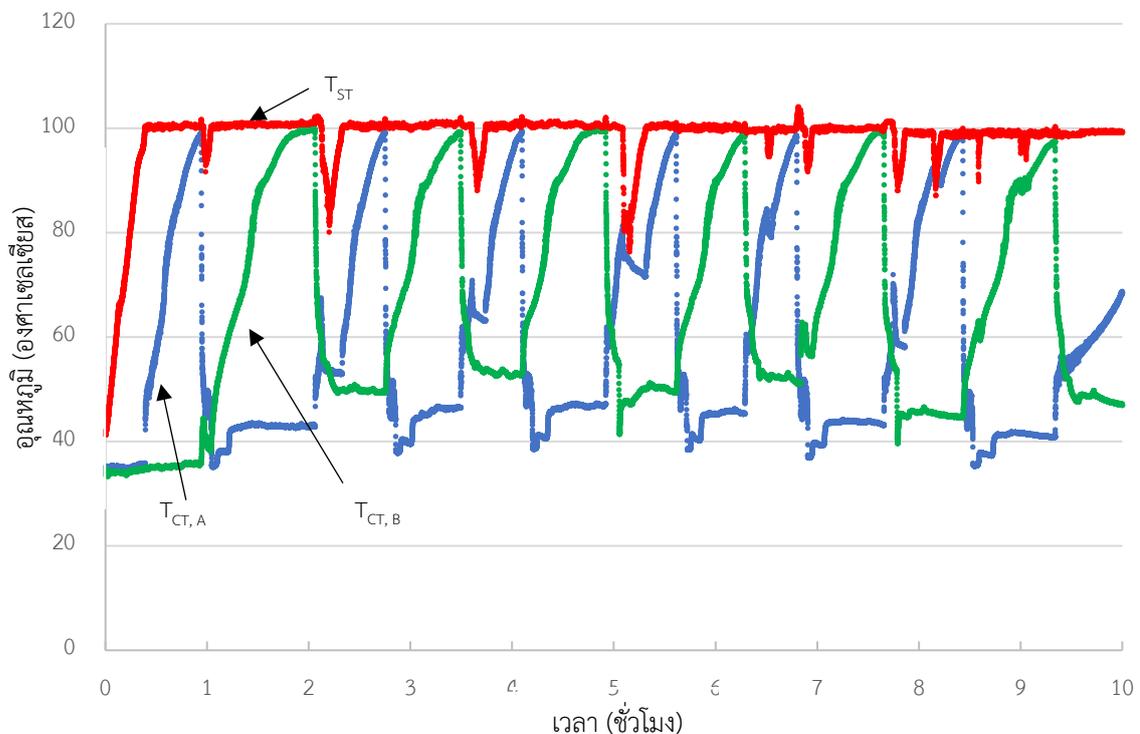
ภาพที่ 6 ช่วงสูบน้ำ

เมื่อสูบน้ำจนความดันสูญญากาศเหลือ -18 กิโลปาสคาล ระบบอัตโนมัติ สั่งให้โซลินอยด์ วาล์ว 5 เปิด และโซลินอยด์วาล์ว 6 เปิด เพื่อระบายน้ำออกจากถังสูบน้ำผ่านมาตรวัดน้ำ แล้วทำการ เก็บบันทึกข้อมูล ระบบอัตโนมัติจะสั่งให้ถังสูบน้ำ B ระบบจะทำงานสลับไปมาจนครบ 10 ชั่วโมง

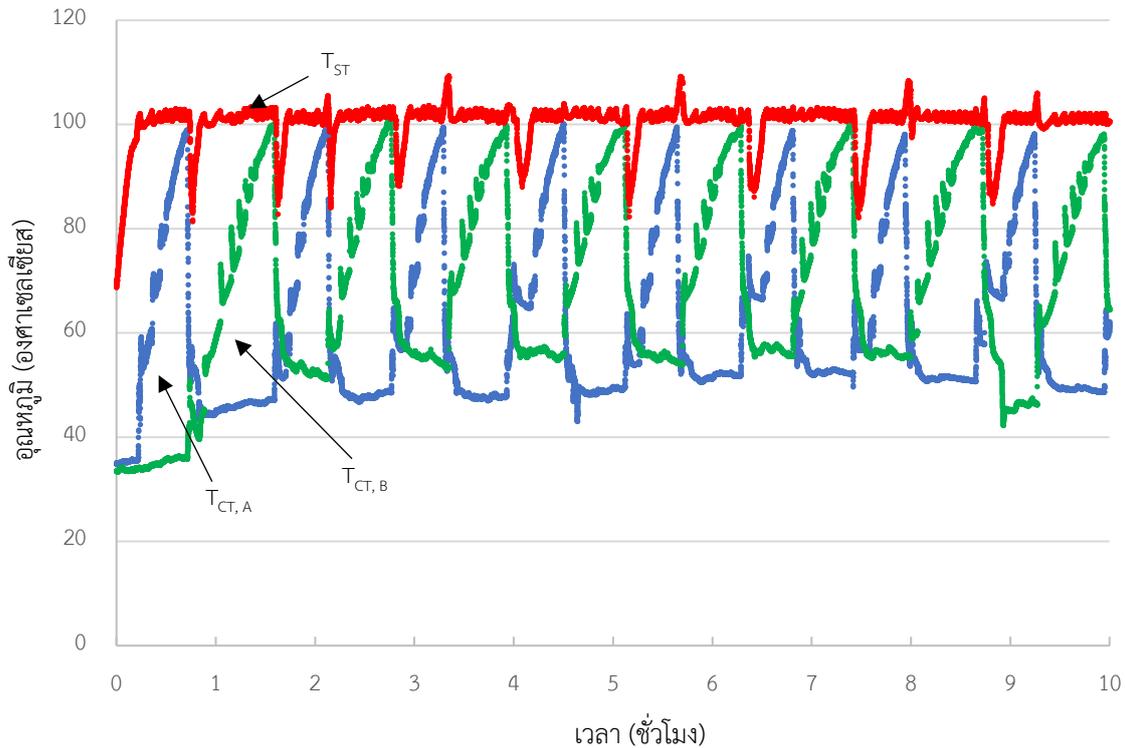
#### 4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองระบบสูบน้ำด้วยไอน้ำแบบอัตโนมัติ ที่ระดับความสูงในการสูบน้ำ 2 เมตร เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง โดยควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ เพื่อศึกษาการควบคุมการทำงาน ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และความดันภายในถังสูบน้ำ A และ B และถังผลิตไอน้ำ การทำงานของระบบสามารถพิจารณาได้จากลักษณะของอุณหภูมิ และความดันภายในถังสูบน้ำ โดยมีผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

สัญลักษณ์	$T_{ST}$	=	Temperature steam tank (อุณหภูมิถังผลิตไอน้ำ)
	$T_{CT,A}$	=	Temperature condenser tank (อุณหภูมิถังสูบน้ำ A)
	$T_{CT,B}$	=	Temperature condenser tank (อุณหภูมิถังสูบน้ำ B)
	$P_{ST}$	=	Pressure steam tank (ความดันภายในถังผลิตไอน้ำ)
	$P_{CT,A}$	=	Pressure condenser tank (ความดันภายในถังสูบน้ำ A)
	$P_{CT,B}$	=	Pressure condenser tank (ความดันภายในถังสูบน้ำ B)

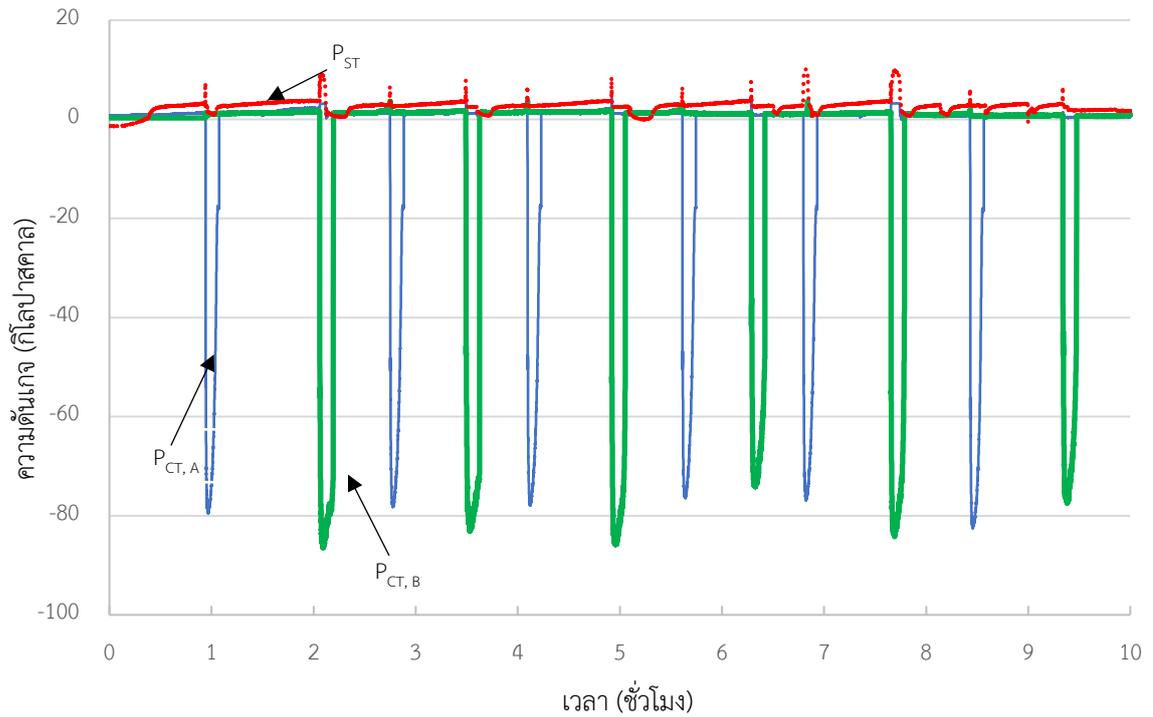


ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในถังผลิตไอน้ำและถังสูบน้ำ ที่ความดันเกจ 0 กิโลปาสคาล

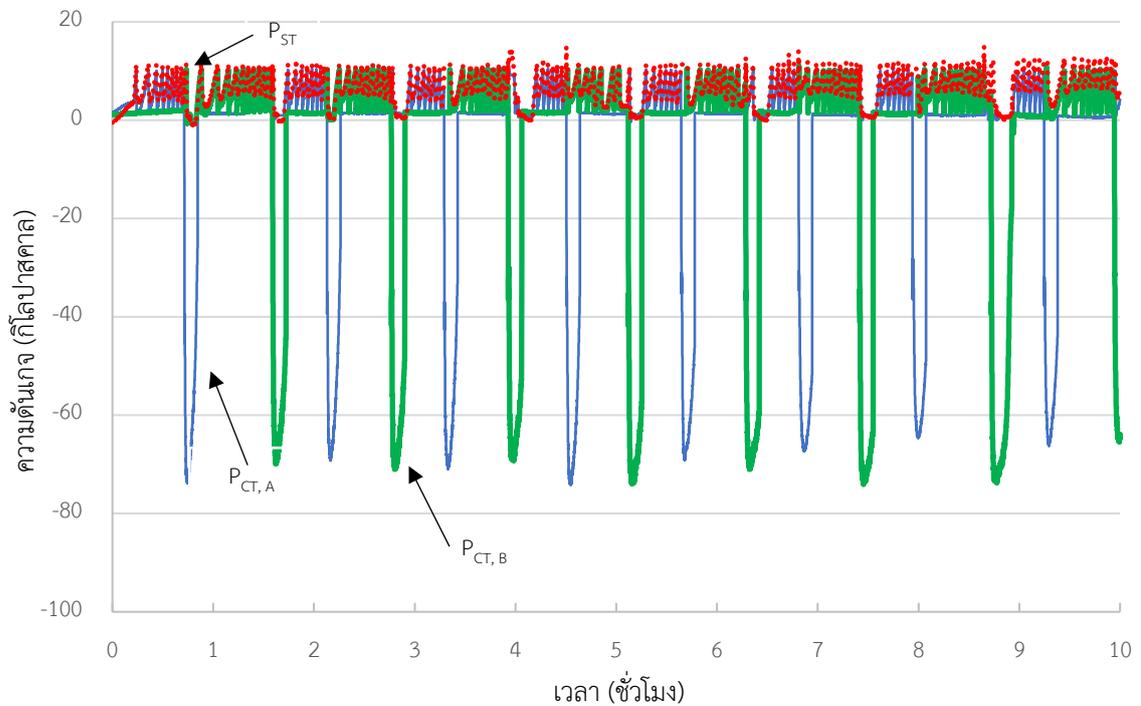


ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในถังผลิตไอน้ำและถังสูบน้ำ ที่ความดันเกจ 10 กิโลปาสกาล

การขึ้นลงสลับไปมาของอุณหภูมิภายในถังสูบน้ำ A และ B เป็นจังหวะรอบการทำงานที่เกิดการขับดันอากาศออกจากถังสูบน้ำ และหล่อเย็นเพื่อทำให้เกิดความดันสูญญากาศจึงทำให้เกิดการสูบน้ำ ดังภาพที่ 7 และ 8 โดยความดันเกจที่ถังผลิตไอน้ำที่ 0 กิโลปาสกาล ระบบทำงานแบบอัตโนมัติตาม เซ็นเซอร์ที่ป้อนค่าเข้าสู่โปรแกรมเพื่อควบคุมวาล์วต่างในการเปิด-ปิด การเพิ่มความดันเกจถังผลิตไอน้ำ 10 กิโลปาสกาล ส่งผลให้จุดเดือดของน้ำภายในถังผลิตไอน้ำสูงขึ้นเป็น 102.56 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิในถังผลิตไอน้ำสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เมื่อเคลื่อนที่ไปยังถังสูบน้ำที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนสูงไปแหล่งความร้อนต่ำ จนมีค่าใกล้เคียงกัน จากภาพที่ 8 จะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในถังสูบน้ำได้เร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในถังสูบน้ำจะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นเร็วกว่าเมื่อถังผลิตไอน้ำมีอุณหภูมิของไอน้ำที่สูงขึ้นตามความดันเกจ ดังนั้นเมื่อความดันเกจถังผลิตไอน้ำสูงขึ้น อุณหภูมิของไอน้ำก็สูงขึ้นตาม ส่งผลให้เมื่อไอน้ำเคลื่อนที่ผ่านถังสูบน้ำจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนได้เร็วขึ้นตามลำดับ โดยระยะเวลาเฉลี่ยในการถ่ายเทความร้อนของถังสูบน้ำจมน้ำอุณหภูมิเข้าใกล้จุดเดือด ที่ความดันเกจ 0 กิโลปาสกาล ใช้เวลา 48 นาที/รอบ และที่ความดันเกจ 10 กิโลปาสกาล ใช้เวลา 36.7 นาที/รอบ



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ของความดันแกวภายในถังผลิตไอน้ำและถังสูบน้ำ  
ที่ความดันแกว 0 กิโลปาสคาล



ภาพที่ 3.10 ความสัมพันธ์ของความดันแกวภายในถังผลิตไอน้ำและถังสูบน้ำ  
ที่ความดันแกว 10 กิโลปาสคาล

ความดันเกจภายในถังผลิตไอน้ำมีค่าตามที่ตั้งค่าไว้ นั่นคือ 0 กิโลปาสกาล และ 10 กิโลปาสกาล แต่ความดันเกจภายในถังสูบน้ำที่เปิดสู่บรรยากาศมีค่าใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศ เมื่อระบบหล่อเย็นปล่อยน้ำหล่อเย็นอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตามปริมาตรควบคุมเข้าสู่ถังสูบน้ำที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับจุดเดือดของน้ำ ไอน้ำภายในถังสูบน้ำจึงมีอุณหภูมิตกลงอย่างรวดเร็ว และเกิดการยุบตัวหรือเกิดความดันสุญญากาศ เมื่อความดันสุญญากาศมีค่ามากกว่า ความดันเกจที่เกิดจากระดับความลึกในการสูบน้ำ และการสูญเสียของไหลภายในท่อ ความดันเกจภายในถังสูบน้ำจึงสามารถสูบน้ำที่ระดับความลึก 2 เมตรได้ ความดันสุญญากาศภายในถังสูบน้ำในการทดลองที่ความดันเกจถังผลิตไอน้ำ 0 กิโลปาสกาล มีค่าสูงกว่าการทดลองที่ความดันเกจถังผลิตไอน้ำ 10 กิโลปาสกาล ดังภาพที่ 9 และ 10 โดยมีค่าสูงกว่า 10-15 กิโลปาสกาล เมื่อระยะเวลาให้ความร้อนถังสูบน้ำลดลง ดังนั้นการควบคุมให้ระบบเริ่มต้นทำงานในรอบถัดไปสำหรับถังสูบน้ำที่ต้องระบายน้ำออกจากถังหลังการสูบน้ำจึงต้องกระทำอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับไอน้ำจากถังผลิตไอน้ำ จึงทำให้รอบการทำงานในถังสูบน้ำ A และ B เร็วขึ้นตามไปด้วย โดยการทดลองที่ความดันเกจถังผลิตไอน้ำ 0 กิโลปาสกาล มีรอบการทำงาน 12 รอบ และการทดลองที่ความดันเกจถังผลิตไอน้ำ 10 กิโลปาสกาล มีรอบการทำงาน 16 รอบ ความดันเกจในถังผลิตไอน้ำและถังสูบน้ำ ในช่วงการผลิตไอน้ำ และชั้นต้นอากาศจะมีความดันเกจใกล้เคียงกัน และมีลักษณะเป็นฟองปลา เนื่องจากการควบคุมความดันเกจ ที่เปิดปิดวาล์วตามความดันเกจที่ตั้งค่าไว้ที่ 10 กิโลปาสกาล

**ตารางที่ 1** การเปรียบเทียบผลการทดลองของอุณหภูมิ ความดันเกจ จำนวนรอบ และปริมาตรน้ำที่สูบน้ำได้

Item	$P_{ST}$ (kPa)	$P_{vacuum}$ (kPa)	$T_{ST}$ (°C)	$T_{CT}$ (°C)	Number (cycle)	Pumped water (l)	
0 kPa	Mean	4.8	80.02	100.3	11.3	2,134.66	
	Min	3.8	77.34	100.1	10.0	1,888.00	
	Max	6.2	82.60	100.6	99.6	12.0	2,279.00
	S.D.	1.249	2.631	0.264	0.115	1.154	0.214
10 kPa	Mean	10.4	72.08	102.9	15.0	2,803.33	
	Min	10.1	70.98	102.5	100.8	14.0	2,583.00
	Max	10.7	73.18	103.3	101.4	16.0	3,006.00
	S.D.	0.410	1.555	0.565	0.424	1.555	0.212

การควบคุมความดันเกจของถังสูบน้ำให้ค่าสูงกว่าความดันบรรยากาศส่งผลให้จุดเดือดของน้ำในถังผลิตไอน้ำสูงขึ้น โดยที่ความดันเกจ 10 กิโลปาสกาล อุณหภูมิในถังผลิตไอน้ำสูงขึ้นถึง 102.9 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อุณหภูมิของถังสูบน้ำสูงขึ้นตามไปด้วยแต่ไม่สูงเท่ากับถังผลิตไอน้ำ เนื่องจาก

เกิดการสูญเสียความร้อน และสูญเสียความดันเกจในถังสุบ จึงทำให้ในถังสุบน้ำมีอุณหภูมิ 101.1 ทำ ให้ระบบสามารถทำอุณหภูมิในถังสุบน้ำจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมให้สูงจนถึงจุดเดือดของน้ำได้อย่าง รวดเร็ว โดยการควบคุมความดันเกจสามารถเพิ่มรอบการทำงานได้ 33% จากความดันบรรยากาศ โดยแต่ละรอบใช้ระยะเวลาในการทำงาน 36.7 นาที เมื่อควบคุมความดันเกจ ดังนั้นเมื่อจำนวนรอบ เพิ่มขึ้นปริมาตรน้ำที่สุบได้ก็เพิ่มขึ้นตาม โดยปริมาตรน้ำเพิ่มขึ้นถึง 31% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าจำนวนรอบ ดังตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าน้ำที่สุบได้ต่อรอบมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากความดันสุญญากาศที่มีการ ควบคุมความดันเกจ 10 กิโลปาสคาล มีค่าความดันเกจในการสุบน้ำน้อยกว่า 12%

## 5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการทดลองที่ความดันเกจถังสุบน้ำที่ 0 กิโลปาสคาล และ 10 กิโลปาสคาล ที่ความสูงใน การสุบน้ำ 2 เมตร เป็นเวลา 10 ซึ่งโง่งพบว่า การควบคุมความดันเกจของถังสุบน้ำสามารถช่วยเพิ่ม จำนวนรอบ และเพิ่มปริมาตรในการสุบน้ำ โดยมีจำนวนรอบในการสุบน้ำมากที่สุด 16 รอบ เพิ่มขึ้น 33% และมีปริมาตรสุบในถังสุบน้ำสูงสุด 3,006 ลิตร เพิ่มขึ้น 31% ดังนั้นการควบคุมความดันเกจ ภายในถังสุบน้ำสามารถเพิ่มอุณหภูมิในถังสุบน้ำ และทำให้อุณหภูมิภายในถังสุบน้ำจากอุณหภูมิ สิ่งแวดล้อมมีค่าถึงจุดเดือดของน้ำอย่างรวดเร็ว ทำให้ระบบสามารถสุบน้ำได้ในปริมาตรสุบที่สูงขึ้น การทำงานสลับไปมาระหว่างถังสุบน้ำ A และ B โดยการควบคุมวาล์วต่างๆ ด้วย โปรแกรมเมเบิล ลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable logic control: PLC) ทำให้ระบบสุบน้ำด้วยไอน้ำแบบ อัตโนมัติ ทำงานได้อย่างอัตโนมัติและทำงานต่อเนื่องภายใต้ระยะเวลาและเงื่อนไขที่กำหนดได้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะอาจารย์ สาขาเทคโนโลยีพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และ นวัตกรรมที่ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทาง รวมถึงให้อุปกรณ์เครื่องมือในการทำวิจัยและขอขอบคุณคณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่อนุเคราะห์สถานที่เก็บผลการทดลองครั้งนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- จิรวัดน์ สิตรานนท์, กิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์ และณัฐพล รุ่งประแสง. (2563). แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์สำหรับการศึกษาระดับความสูงในการสุบน้ำของระบบสุบน้ำร้อนด้วยกำลังไอน้ำ แบบต่อเนื่อง. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 15(3), 89-100
- ฉัตรชัย อุ่นวิเศษ, จิรวัดน์ สิตรานนท์ และกิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์. (2564). การศึกษาอุณหภูมิและ ปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ ส่งผลต่อความดันสุญญากาศของปั๊มสุบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ. *วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน*, 4(3), 107-120.



- Bandaru, R., Muraleedharana, C., & Kumarb, P.M.V. (2019). Modelling and dynamic simulation of solar-thermal energy conversion in an unconventional solar thermal water pump. **Energy Procedia**, 134, 292-305.
- Kurhea, N., Funde, A., Gokhale, P., Jadkara, S., Ghaisasa, S., & Date, A. (2017). Development of low temperature heat engine for water pumping application. **Energy Procedia**, 110, 292-297.
- Moonsri, P., Kunchornrat, J.; & Namprakai, P. (2015). Hybrid energy thermal water pump for producing hot water from a shallow well in Thailand. **Energy Engineering Journal**, 142, 1-15.
- Wang, Z.X., Du, S., Wang, L.W., & Chen, X. (2020). Parameter analysis of an ammonia-water power cycle with a gravity assisted thermal driven “pump” for low-grade heat recover. **Renewable Energy Journal**, 146, 651-661.