



JOURNAL OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND

ENGINEERING

PIBULSONGKRAM RAJABHAT UNIVERSITY



ISSN 3057 - 0093 (Print) ISSN 3057 - 0107 (Online)



วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ปีที่ 7 ฉบับที่ 2

พฤษภาคม - สิงหาคม ปี 2568





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 รวมถึงประโยชน์ในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ 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) ก็ดำเนินการส่งกลับไปยังผู้เขียนให้แก้ไข 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 : 3057-0093, E-ISSN : 3057-0107 ฉบับนี้เป็นปีที่ 7 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

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริเดช กุลหิรัญบวร
บรรณาธิการ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ความปลอดภัยทางถนนสำหรับท่องเที่ยว กรณีศึกษาตำบลทุ่งหลวง อำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัยพนณกร ทองหลิม, ศุจินธร ทรงสิทธิเดช, สรรัรัตน์ โพธิ์ขำ, สิริยากร กลัดค้ำ, สิริรัตน์ รอดหุ่น, พรระษกร ขวัญกลาง	118-130
การพัฒนาส่วนผสมผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัยจุมพฏ พงศ์ศักดิ์ศรี, วสุธา ครุทสอน	131-149
การพัฒนาระบบตรวจสอบและควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงนอนทหารในช่วงฤดูร้อนโดยใช้โปรโตคอลการสื่อสารไร้สายที่ไม่พึ่งพา Wi-Fiสทาร์ชวี โพธิ์ชัยรัตน์, วนารัตน์ จุฬพันธ์ทอง, นพดล สีสุข	150-161
SUPPLY CHAIN OF ORGANIC VEGETABLE GARDEN BUSINESS: CASE STUDY OF RAK KASET SOMDUL COMPANY, LIMITED Channarong Tantiwattanodom, Alongkorn Muangwai, Thanida Khanongnuch, Aphiwat Wangwiwat, Noppadol Amdee	162-181
A STUDY IN IMPROVEMENT OF PRODUCTION PROCESS OF THE COMMUNITY ENTERPRISES IN PHAI CHUMPHON SUBDISTRICT, MUEANG DISTRICT, PHITSANULOK PROVINCE Payungsak Klasantia, Alongkorn Muangwai, Thanida Khanongnuch, Noppadol Amdee	182-195
SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN THE GREEN TEA INDUSTRY OF HANGZHOU, CHINA Jie Wang, Chertchai Thurapaeng, Tongtang Tonglim, Noppadol Amdee	196-214
ANALYSIS OF ACTIVITY-BASED COSTING IN PRODUCTION PROCESSES: A CASE STUDY	215-226



- Niparat Boongun, Choat Inthawongse, Thanida Khanongnuch,
Alongkorn Muangwai, Thanthap Saensamran, Thippawan Keawsaard,
Thiwan Phetthong, Pantisa Pongpaw
- การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการออสเทมเปอริงของเหล็กกล้า
เครื่องมืองานเย็นด้วยวิธีการทากูชิ 227-238
.....เสกสรรค์ สุชัยพร, นริศรา สุวิเชียร, มนตรี วิมล
- การศึกษาความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA ของกลุ่มผู้เรียนจากการใช้เทคโนโลยี
บทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่งเพื่อส่งเสริมความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี 239-255
.....ผกามาศ พุกอินทร์
- การออกแบบหุ่นยนต์สำหรับเคลื่อนที่ตามแสงด้วยการระบุตำแหน่ง 256-267
.....มณฑล พิกเอม, เกียรติชัย บรรลุผลสกุล, กิตติศักดิ์ คงสีไพร, วรวัช พาหา,
ปิยะพงษ์ โอบารทิตาชาต, ธราทิพย์ ศรีสัตตบุตร, เทวินทร์ พิกเอม
- การออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอด์ กูรูตุร์ จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร 268-280
.....ชาติชาย จันทร์ประทีป, วิมลมณี บัวโต, ศุภวัฒน์ วิจิตรพงษา, ชัชวาลิต แก้วลาด
วงษ์, สุรียา สุรียาทิพย์
- มาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม คณะ 281-296
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
.....สุทธิเกียรติ แข็งแรง, วรเมธ หินอ่อน, สรวิต สอนสารี, เอื้อบุญ ที่พึ่ง,
สาธิต การุณบุญญานันท์, สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์



ความปลอดภัยทางถนนสำหรับท่องเที่ยว
กรณีศึกษาตำบลทุ่งหลวง อำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย
ROAD SAFETY FOR TOURISM CASE STUDY OF THUNG LUANG
SUBDISTRICT, KHIRIMAT DISTRICT, SUKHOTHAI PROVINCE

พณณกร ทองหลิม¹, ศุจินธร ทรงสิทธิเดช^{2*}, สรรรัตน์ โพธิ์ขำ², สิริยากร กลัดคำ²,
สิริรัตน์ รอดหุ่น², พรชกร ขวัญกลาง²

Pannakorn Tonglim¹, Suchinthorn Songsittidet^{2*}, Saranrat PhoKham²,
Siriya Korn Klatkham², Sirirat Rodhun², Phatsakon Khwanklang²

¹คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20131

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Faculty of Logistics, Burapha University, Muang, Chonburi, Thailand, 20131

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: suchinthorn.s@psru.ac.th

วันที่เข้าระบบ 5 เมษายน 2568

วันที่แก้ไขบทความ 18 กรกฎาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 18 กรกฎาคม 2568

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานการณ์ด้านความปลอดภัยเส้นทางการท่องเที่ยว วิเคราะห์สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุทางถนน และเสนอแนวทางการจัดการความปลอดภัยในการท่องเที่ยวทางถนน เพื่อรองรับนโยบายการท่องเที่ยวของจังหวัดสุโขทัย โดยผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูล การเกิดอุบัติเหตุจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและการมีส่วนร่วมกับประชาชนในพื้นที่ด้วยเทคนิค Hiyari Hatto พบว่า จุดเสี่ยงทั้งหมด 15 จุด การเกิดอุบัติเหตุจาก 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัจจัยทางถนนและ สภาพแวดล้อม สาเหตุประกอบด้วย ขาดป้ายเตือนทางแยก ขาดสัญญาณไฟเตือนและป้ายเตือนทางแยก ไฟฟ้าส่องสว่างไม่เพียงพอ เส้นจราจรไม่ชัดเจน ต้นไม้บดบังการมองเห็น พื้นผิวถนนชำรุด เป็นต้น ปัจจัยด้านผู้ขับขี่ ประกอบด้วย การใช้ด้วยความเร็วเกินกำหนด ไม่ปฏิบัติตามกฎจราจร เป็นต้น และนำเสนอแนวทางปรับปรุงจุดเสี่ยงแต่ละปัจจัย ได้แก่ การอบรมความรู้ให้แก่คนในชุมชน ป้าย ควบคุมความเร็วหรือป้ายจราจรที่เกี่ยวข้อง รวมถึงลักษณะทางกายภาพถนนเส้นทางการท่องเที่ยว ทางถนนภายในตำบลทุ่งหลวงให้สามารถป้องกันการเกิดอุบัติเหตุได้

คำสำคัญ: การท่องเที่ยว, อุบัติเหตุทางถนน, ความปลอดภัยทางถนน, Hiyari Hatto

Abstract

This study aims to investigate the safety conditions of tourist routes, analyze the causes of road accidents, and propose safety management measures to support the tourism policy of Sukhothai Province. The researcher collected accident data from relevant agencies and engaged with local communities using the Hiyari-Hatto technique. The findings identified 15 high-risk locations, with accidents primarily caused by two main factors: road and environmental conditions, and driver behavior. Road and environmental factors included a lack of warning signs at intersections, absence of traffic signals and intersection signs, insufficient street lighting, unclear lane markings, obstructed visibility due to trees, and damaged road surfaces. Driver-related factors included speeding and non-compliance with traffic regulations. The study proposes targeted improvements for each risk factor, including community education and training, installation of speed control or relevant traffic signs, and enhancements to the physical infrastructure of roadways in the Thung Luang Subdistrict to help prevent future accidents.

Keywords: Tourism, Road accidents, Road safety, Hiyari Hatto.

1. บทนำ

ในปัจจุบันการเดินทางบนถนนเป็นปัจจัยสำคัญในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นการเดินทางไปทำงานหรือการเดินทางไปท่องเที่ยว โดยจำนวนการใช้รถที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีโอกาสเกิดอุบัติเหตุเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน โดยในปี พ.ศ. 2566 องค์การอนามัยโลกด้านความปลอดภัยทางถนน มีเป้าหมายการลดจำนวนผู้เสียชีวิต ให้เหลือเท่ากับ 12 คนต่อประชากรแสนคน ความสูญเสียทางเศรษฐกิจในช่วงปีที่ผ่านมาเกิดจากกรณีเกิดอุบัติเหตุทางถนน คนไทยเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนเฉลี่ยปีละ 19,246 ราย ทางองค์การอนามัยโลกได้มีการวางแผนยุทธศาสตร์ด้านความปลอดภัยทางถนน ซึ่งเริ่มต้นในปี พ.ศ. 2565 - พ.ศ. 2570 รวมไปถึงการลดจำนวน ผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บสาหัสของผู้เดินทาง ประกอบด้วย คนเดิน ผู้ใช้รถจักรยาน และ ผู้สูงอายุ จึงต้องดำเนินการเพื่อลดจำนวนผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บลง อุบัติเหตุทางถนนไม่ได้ส่งผลกระทบต่อผู้ที่ประสบภัยเท่านั้น ยังก่อให้เกิดความสูญเสียต่อเศรษฐกิจอย่างมาก (ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุเพื่อเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนน, 2567)

พ.ศ. 2566 คณะกรรมการนโยบายการท่องเที่ยวแห่งชาติได้มีการจัดแผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติ ช่วงปี พ.ศ. 2566 - พ.ศ.2570 มุ่งส่งเสริมการท่องเที่ยวภายในประเทศ ส่งเสริมการท่องเที่ยวให้มีความทันสมัยผ่านการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล เป็นการยกระดับการพัฒนาการท่องเที่ยว ใน



การพัฒนาศักยภาพในชุมชนมีภาครัฐที่หลากหลายเข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งภาคเอกชนและภาควิชาการ โดยเฉพาะภาคประชาชนจำเป็นต้องร่วมคิด วางแผน และปฏิบัติ ร่วมรับผิดชอบ ร่วมรับผลประโยชน์ ที่เกิดจากการพัฒนาการท่องเที่ยวในชุมชนท้องถิ่น เนื่องจากปัญหาด้านความปลอดภัยทางถนน สามารถส่งผลต่อการเกิดอุบัติเหตุเพิ่มมากขึ้น

ตำบลทุ่งหลวงเป็นตำบลหนึ่งในอำเภอศีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย มีวิถีชีวิตแบบคนสุโขทัยดั้งเดิมตามวิถีชีวิตชาวพุทธ ซึ่งมีการสืบทอดการทำเครื่องปั้นดินเผาจากรุ่นสู่รุ่นมานาน เป็นงานศิลปะพื้นบ้านที่ทำขึ้นเพื่อประโยชน์ใช้สอยในครัวเรือน มีจำนวนครัวเรือน จำนวน 1,821 ครัวเรือน จำนวนประชากร จำนวน 4,673 คน (เทศบาลตำบลทุ่งหลวง, 2567) ด้วยเสน่ห์ของวิถีชีวิตแบบท้องถิ่นที่สืบทอดกันมา ทำให้มีนักท่องเที่ยวมีความสนใจท่องเที่ยวตำบลทุ่งหลวง ซึ่งมีทิศทางในการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์สนับสนุนให้นักท่องเที่ยวในรูปแบบเรียนรู้ด้านสังคม วัฒนธรรมและสภาพแวดล้อมของชุมชนผ่านประสบการณ์ของคนในชุมชน เช่น เครื่องปั้นดินเผา การตีมีด เครื่องจักรสาน เป็นต้น มีศูนย์เรียนรู้ชุมชน ศูนย์ข้อมูลเพื่อการท่องเที่ยว พิพิธภัณฑ์ แหล่งเรียนรู้ด้านเครื่องปั้นดินเผาและเตาเผา ซึ่งเป็นอัตลักษณ์สำคัญของชุมชน รวมถึงแหล่งท่องเที่ยวสำคัญทางวัฒนธรรม เช่น วัดบึงทุ่งหลวง วัดคูสิตดาราม วัดลาย เป็นต้น ในการส่งเสริมการท่องเที่ยวที่จะเกิดขึ้นในอนาคตมีความจำเป็นต้องเตรียมความพร้อมในการรองรับการเดินทางของนักท่องเที่ยว โดยเฉพาะลักษณะและความปลอดภัยของถนนที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานสำคัญ การเพิ่มขึ้นของปริมาณการขนส่งและการเดินทางบนถนนอาจทำให้เกิดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุสูงขึ้น นักท่องเที่ยวที่มาเยือนชุมชนอาจไม่คุ้นเคยกับเส้นทางหรือสถานที่ท่องเที่ยวทำให้เกิดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ คณะผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของการเกิดอุบัติเหตุทางถนนที่อาจกระทบต่อการท่องเที่ยว การศึกษาความปลอดภัยทางถนน จึงเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านความปลอดภัยทางถนนอย่างเพียงพอจะเพิ่มความปลอดภัยให้กับทั้งนักท่องเที่ยวและชุมชนในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาสถานการณ์การเกิดอุบัติเหตุทางถนนในพื้นที่ศึกษา

2.2 เพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุในพื้นที่ศึกษาและเสนอแนวทางการจัดการความปลอดภัยในการท่องเที่ยวทางถนน

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษาข้อมูลด้านอุบัติเหตุและความปลอดภัยทางถนนในการท่องเที่ยวพื้นที่ตำบลทุ่งหลวง อำเภอศีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ทั้งสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุทางถนนและวิเคราะห์จุดเสี่ยงอันตราย เพื่อเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาในการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุทางถนน ดังนี้

3.1 การรวบรวมข้อมูลอุบัติเหตุทางถนน

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลสถิติอุบัติเหตุจราจรทางถนนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และรวบรวมข้อมูลจุดเสี่ยงในพื้นที่ที่ศึกษา และการหาจุดเสี่ยงด้วยเทคนิค Hiyari Hatto จากการประชุมการมีส่วนร่วมของคนในพื้นที่

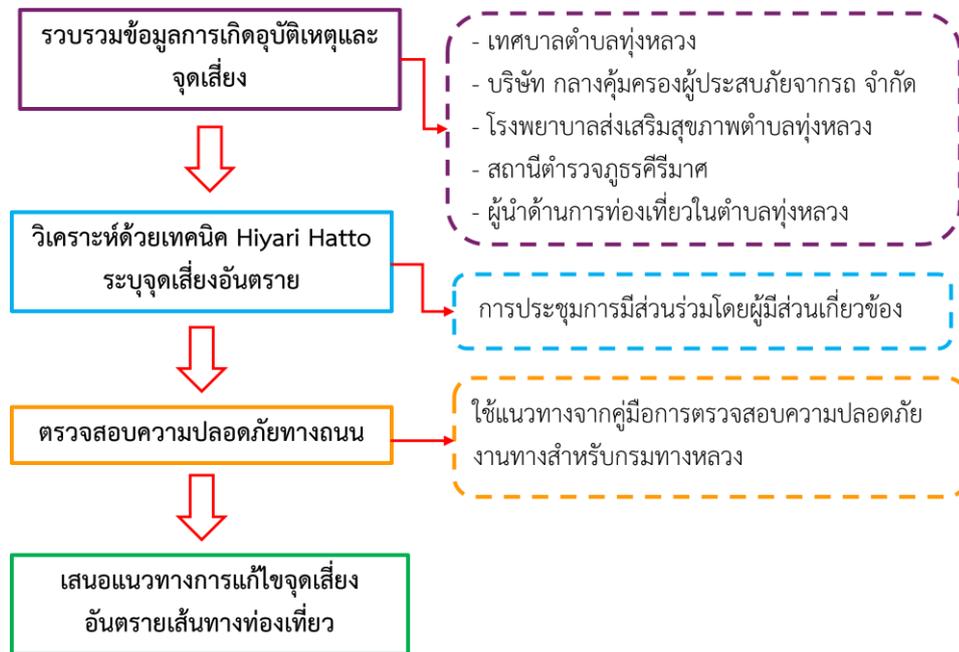
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านอุบัติเหตุในพื้นที่ศึกษา จาก 3 ส่วน คือ

3.2.1 ข้อมูลพื้นฐานที่รวบรวมจากหน่วยงานต่างๆ ประกอบด้วย เทศบาลตำบลทุ่งหลวง บริษัท กลางคุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทุ่งหลวง สถานีตำรวจภูธรศรีมาศ และผู้นำด้านการท่องเที่ยวในตำบลทุ่งหลวง

3.2.2 ข้อมูลจากการตรวจสอบความปลอดภัย จากการสำรวจจุดเสี่ยงด้วยการเปรียบเทียบจุดเกิดอุบัติเหตุจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

3.2.3 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Hiyari Hatto ระบุจุดเสี่ยงอันตราย มี 2 ขั้นตอนหลัก คือ 1) การสร้างแผนที่จุดเสี่ยงอันตรายโดยคนในชุมชน และ 2) การศึกษาและสำรวจจุดเสี่ยงอันตรายเพื่อหามาตรการป้องกัน มีความสำคัญยิ่งในการปรับปรุงบริเวณเสี่ยงอันตรายบนถนน เนื่องจากข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุมีน้อยและหาได้ยากการระบุจุดเสี่ยงบนถนนโดยให้ชุมชนมีส่วนร่วม ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการเก็บข้อมูลบริเวณเสี่ยงอันตราย ซึ่งสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้เร็วและเป็นกระบวนการที่ให้ชุมชนได้เข้ามามีส่วนร่วมคิดร่วมใช้ความรู้ประสบการณ์ในการระบุจุดเสี่ยงยังเป็นการสร้างกระบวนการเผยแพร่แลกเปลี่ยนข้อมูลความคิดเห็น เพื่อเสริมสร้างการรับรู้ การเรียนรู้ รวมถึงให้ชุมชนมีตื่นตัวในด้านการป้องกันอุบัติเหตุจราจร

การรวบรวมข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุและจุดเสี่ยงทางถนนดังกล่าวนำมาสู่การวิเคราะห์ผลและวางแผนการเพื่อปรับปรุงแก้ไขในด้านลักษณะทางถนน ให้เกิดความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้รถใช้ถนนนำมาเป็นข้อเสนอแนะแนวทางการแก้ไขประเด็นปัญหาบริเวณจุดเสี่ยงที่พบ โดยเริ่มจากบริเวณที่มีประวัติการเกิดอุบัติเหตุ นำแนวทางการแก้ไขปัญหาเสนอแก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุเส้นทางท่องเที่ยว และเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้รถใช้ถนน



ภาพที่ 1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

4. ผลการวิจัย

4.1 การรวบรวมสถิติอุบัติเหตุทางถนน

การเก็บข้อมูลให้สอดคล้องกับจำนวนข้อมูลจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง เนื่องจากบางแหล่งข้อมูลมีการเก็บข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุจำนวนต่างกัน คณะผู้วิจัยจึงรวบรวมข้อมูลอุบัติเหตุทางถนนย้อนหลัง 3 ปี ในพื้นที่ตำบลทุ่งหลวง อำเภอศรีมาศ จังหวัดสุโขทัย จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง พบจำนวนการเกิดอุบัติเหตุดังนี้

ตารางที่ 1 จำนวนการเกิดอุบัติเหตุจากการจราจรในตำบลทุ่งหลวง

ปี พ.ศ.	จำนวนการเกิดอุบัติเหตุ (ครั้ง)
2565	2
2566	3
2567	1

ที่มา: สถานีตำรวจภูธรศรีมาศ (2567)

จากตารางที่ 1 พบว่าอัตราการเกิดอุบัติเหตุ ข้อมูล ณ วันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2567 ภายในตำบลทุ่งหลวงมีจำนวนไม่มากนัก เนื่องมาจากในบางครั้งสามารถเจรจาไกล่เกลี่ยได้ไม่เป็นคดีความ จึงมีการเก็บรวบรวมข้อมูลหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

ตารางที่ 2 จำนวนการเกิดอุบัติเหตุจากโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทุ่งหลวง

ปี พ.ศ.	จำนวนการเกิดอุบัติเหตุ (ครั้ง)
2565	33
2566	40
2567	24

ที่มา: โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทุ่งหลวง (2567)

จากตารางที่ 2 แสดงรายงานอุบัติเหตุจากการรักษาผู้ที่ได้รับการบาดเจ็บและสงเคราะห์ต่อไปยังโรงพยาบาลอำเภอศรีมหาศ พบว่า สาเหตุการบาดเจ็บเล็กน้อยจากการใช้ยานพาหนะในการขับขี่ เช่น ฝนตก ถนนลื่น ล้มเอง การเฉี่ยวชน สุนัขตัดหน้ารถ เป็นต้น

การรวบรวมข้อมูลจากสถานีตำรวจศรีมหาศและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทุ่งหลวง ดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น พบว่า จำนวนการเกิดอุบัติเหตุไม่มีความสอดคล้องของข้อมูล เนื่องจากลักษณะการเกิดเหตุมีรายละเอียดที่ต่างกัน เช่น การดำเนินคดีทางกฎหมาย ลักษณะการบาดเจ็บของผู้ประสบอุบัติเหตุ ตำแหน่งการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งมีผลต่อความรับผิดชอบของหน่วยงาน คณะผู้วิจัยจึงจัดเก็บข้อมูลจากบริษัท กลางคุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด เพื่อทราบถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นของอุบัติเหตุ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนอุบัติเหตุในตำบลทุ่งหลวงจากบริษัท กลางคุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด

ปี พ.ศ.	จำนวนผู้ประสบอุบัติเหตุ (คน)	บาดเจ็บ (คน)	เสียชีวิต (คน)	เพศชาย (คน)	เพศหญิง (คน)
2565	8	8	-	5	3
2566	6	6	-	5	1
2567	5	5	-	5	-

ที่มา: บริษัท กลางคุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด (2567)

จากตารางที่ 3 พบว่าข้อมูลจำนวนผู้ประสบอุบัติเหตุ ย้อนหลัง 3 ปีโดยข้อมูล ณ วันที่ 11 มิถุนายน พ.ศ. 2567 นั้นเป็นอุบัติเหตุที่มี พรบ.คุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ ซึ่งอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมีสาเหตุจากทั้งปัจจัยจากผู้ขับขี่และลักษณะกายภาพถนน สามารถจำแนกจุดเกิดอุบัติเหตุ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 พื้นที่การเกิดอุบัติเหตุในตำบลทุ่งหลวง

บริเวณจุดเสี่ยง	บาดเจ็บ (คน)	เสียชีวิต (คน)	สาเหตุ
1. แยกทางเข้าวัดบึง	2	-	- ไฟฟ้าส่องสว่างไม่เพียงพอ - พื้นผิวถนนชำรุด ขรุขระ
2. แยกทางเข้าตลาด แปลงทรัพย์	4	-	- พื้นผิวถนนชำรุด ขรุขระ - ใช้ความเร็วเกินกฎหมายกำหนด - ไม่มีกำหนดเส้นหยุด
3. แยกทางเข้าวัดลาย	1	-	- ไม่มีทัศนวิสัยในการมองเห็นที่ดี
4. สี่แยกวัดลาย	4	-	- ไม่มีป้ายและสัญญาณไฟเตือน - ใช้ความเร็วเกินกฎหมายกำหนด
5. ซอยท่ามะเกลือ	1	-	- สุนัขตัดหน้ารถ
6. แยกทางเข้าเทศบาล	2	-	- ไม่มีทัศนวิสัยในการมองเห็นที่ดี - ไฟฟ้าส่องสว่างไม่เพียงพอ
7. แยกหน้าโรงเรียน	3	-	- ใช้ความเร็วในการขับขี่ - ผนตก ถนนลื่น
8. แยกหน้าวัดลาย	2	-	- ไม่มีป้ายและสัญญาณไฟเตือน - ใช้ความเร็วเกินกฎหมายกำหนด

ที่มา: บริษัท กลางคุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด (2567)

4.2 การสำรวจจุดเสี่ยงด้วยเทคนิค Hiyari Hatto

คณะผู้วิจัยจึงจัดทำการระบุจุดเสี่ยงด้วยเทคนิค Hiyari Hatto ในพื้นที่ตำบลทุ่งหลวง อำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย จากการประชุมการมีส่วนร่วม ประกอบด้วย นายกเทศมนตรี รองนายกเทศมนตรี สำนักพัฒนาชุมชนคีรีมาศ ตัวแทนกลุ่มท่องเที่ยว ตัวแทนผู้นำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา และตัวแทนคนในพื้นที่ ทั้งหมด 20 คน ดังภาพที่ 2



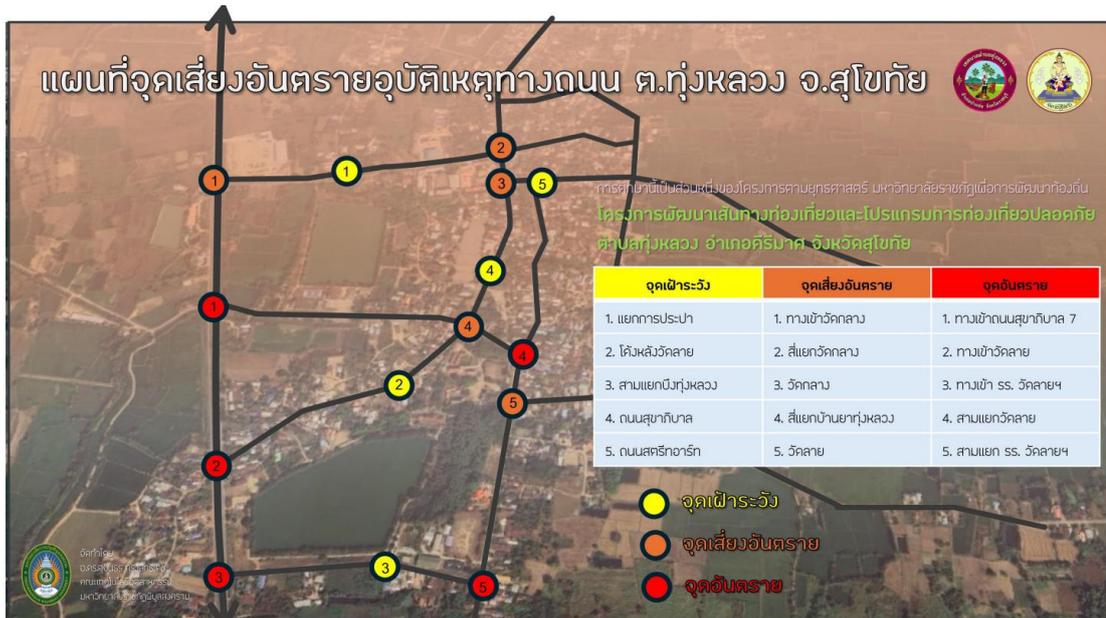
ภาพที่ 2 การประชุมการมีส่วนร่วมด้านอุบัติเหตุตำบลทุ่งหลวง

จากภาพที่ 2 พบว่าจากการมีส่วนร่วมในการทำแผนที่จุดเสี่ยง ด้วยเทคนิค Hiyari Hatto แบ่งระดับความรุนแรงของอุบัติเหตุเป็น 3 ระดับ ดังนี้ ● จุดที่ระดับความรุนแรงสูง ● จุดที่ระดับความรุนแรงเบาเจ็บเล็กน้อย และ ● จุดที่ระดับความรุนแรงที่ต้องเฝ้าระวังที่จะเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุ โดยสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจาก 1) สภาพผิวถนนชำรุด 2) พฤติกรรมของผู้ขับขี่ 3) สภาพแวดล้อมของถนนทำให้วิสัยทัศน์ของผู้ขับขี่ไม่ดี และ 4) ป้ายและสัญญาณเตือนชำรุดเสียหาย

การจัดทำแผนที่จุดเสี่ยงด้วยความร่วมมือของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในพื้นที่ในการระบุจุดเสี่ยง ชุมชนด้วยการประยุกต์ใช้แผนที่จุดเสี่ยง โดยคณะผู้วิจัยจึงลงพื้นที่เพื่อสำรวจจุดเสี่ยงในบริเวณเส้นทางท่องเที่ยวซึ่งพบปัญหาในเส้นทางที่อาจเป็นต้นเหตุของการเกิดอุบัติเหตุทางถนน ดังภาพที่ 3

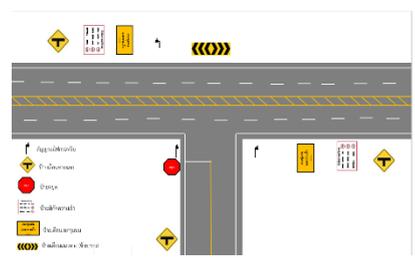
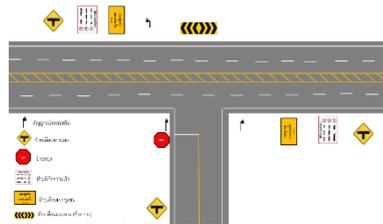
4.3 พื้นที่จุดอันตรายและแนวทางการแก้ไข

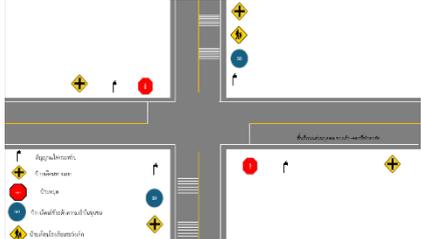
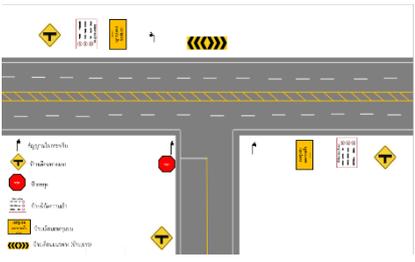
จากการรวบรวมสถิติอุบัติเหตุและข้อมูลการระบุจุดอันตรายในเส้นทางท่องเที่ยวพื้นที่ตำบลทุ่งหลวง เพื่อตรวจสอบความปลอดภัยทางถนนและค้นหาสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ ด้วยคู่มือการตรวจสอบความปลอดภัยงานทางสำหรับกรมทางหลวง รายการตรวจสอบความปลอดภัยสำหรับถนนที่เปิดให้บริการแล้วเป็นแนวทางในการตรวจสอบ เพื่อเสนอแนวทางแก้ไขและป้องกันการเกิดเหตุซ้ำ โดยนำเสนอแนวทางการแก้ไขจุดอันตราย ดังแสดงในตารางที่ 5



ภาพที่ 3 แผนที่จุดเสี่ยงอันตรายอุบัติเหตุทางถนนตำบลทุ่งหลวง

ตารางที่ 5 ปัญหาและแนวทางการแก้ไขจุดอันตรายเส้นทางท่องเที่ยวตำบลทุ่งหลวง

ลักษณะปัญหา	แนวทางการแก้ไข
<p>1) ทางเข้าถนนสุขาภิบาล 7 (วัดบึง)</p>  <p>เป็นทางแยกเข้าหมู่บ้านเชื่อม ทล.101 ลักษณะ 4 ช่องจราจร มีเกาะสี่สำหรับแบ่งทิศทางจราจรและเป็นผิวจราจรลาดยาง ถนนทางเข้าหมู่บ้านไม่มีไหล่ทาง</p>	 <p>ควรปรับปรุงแก้ไขตีเส้นจราจร และเส้นหยุดให้ชัดเจน ความปลอดภัย และติดตั้งป้ายเตือนทางแยก และป้ายเตือนเขตชุมชนบริเวณถนน 101</p>
<p>2) ทางเข้าวัดลาย</p> 	

ลักษณะปัญหา	แนวทางการแก้ไข
<p>เป็นทางแยกเข้าหมู่บ้านเชื่อม ทล.101 ลักษณะ 4 ช่องจราจร มีเกาะสี่สำหรับแบ่งทิศทางจราจรและเป็นผิวจราจรลาดยาง ถนนทางเข้าหมู่บ้านไม่มีไหล่ทาง</p>	<p>ควรปรับปรุงตีเส้นจราจรให้ชัดเจน ปรับระดับพื้นทางให้เท่ากันและไหล่ทาง ซ่อมแซมผิวถนน และเพิ่มป้ายเตือนทางแยก เส้นหยุดในบริเวณที่ต้องหยุด</p>
<p>3) แยกหน้าวัดลาย</p>  <p>ทางสามแยกในหมู่บ้าน ลักษณะ 2 ช่องจราจร มีบ้านเรือน ร้านค้า และตลาด ตลอด 2 ฝั่งถนน มีต้นไม้ใหญ่บดบังการมองเห็น</p>	 <p>ควรปรับปรุงแก้ไขเส้นจราจรให้ชัดเจนและติดตั้งป้ายชะลอความเร็ว สัญญาณไฟเตือนทางแยก เพิ่มไฟส่องสว่าง ปรับปรุงทัศนียภาพข้างทางให้ปลอดภัย</p>
<p>4) แยกหน้าโรงเรียนวัดลาย</p>  <p>ทางแยกเข้าหมู่บ้านเชื่อม ทล.101 ลักษณะ 4 ช่องจราจร มีเกาะกลางแบบเกาะสี่สำหรับแบ่งทิศทางจราจร ผิวจราจรลาดยาง ถนนทางเข้าหมู่บ้านไม่มีไหล่ทาง</p>	 <p>ควรเพิ่มไฟส่องสว่าง ทาสีตีเส้นจราจรและเส้นหยุดในบริเวณที่ต้องหยุดให้ชัดเจน ปรับปรุงถนนให้มีไหล่ทาง</p>
<p>5) ทางเข้าโรงเรียน</p>  <p>ทางแยกเชื่อม ทล.101 ลักษณะ 4 ช่อง มีเกาะสี่สำหรับแบ่งทิศทางจราจรและเป็นผิวจราจรลาดยาง ถนนทางเข้าไม่มีไหล่ทาง</p>	 <p>ควรปรับปรุงแก้ไขเส้นจราจรให้ชัดเจน เพิ่มป้ายเตือนสัญญาณไฟเตือนและเส้นหยุดในบริเวณที่ต้องหยุดรถ ปรับระดับพื้นทาง ซ่อมแซมผิวถนน ปรับปรุงถนนให้มีไหล่ทาง เพิ่มป้ายเตือนทางแยก และไฟส่องสว่าง</p>



5. สรุปผลและการอภิปรายผล

ในการศึกษาความปลอดภัยทางถนนสำหรับท้องเที่ยวในพื้นที่ตำบลทุ่งหลวง อำเภอคีรีมาศ มีแนวโน้มจำนวนการเกิดอุบัติเหตุที่มีโอกาสเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งนโยบายการส่งเสริมท้องเที่ยวของจังหวัดสุโขทัยที่ส่งผลให้ปริมาณนักท่องเที่ยวในจังหวัดมีเพิ่มมากขึ้น การศึกษาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุและเสนอแนวทางแก้ไขปรับปรุงปัจจัยต่าง ๆ เพื่อลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในการเดินทางในเส้นทางท้องเที่ยวตำบลทุ่งหลวง ซึ่งการเกิดอุบัติเหตุทางถนนในพื้นที่ตำบลทุ่งหลวง ส่วนใหญ่มีสาเหตุจากลักษณะทางกายภาพของถนนที่ส่งผลต่อพฤติกรรมรถขับขี่ ผู้ประสบอุบัติเหตุมักเป็นผู้ใช้รถใช้ถนนที่ไม่ใช่ประชาชนในพื้นที่ จึงใช้แนวคิดในการแก้ไขลักษณะถนนทางกายภาพ ได้แก่ การติดตั้งป้ายเตือนจุดเสี่ยง ป้ายเตือนความเร็ว สัญญาณไฟทางแยก การปรับปรุงพื้นผิวจราจร เป็นต้น ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการเกิดอุบัติเหตุที่สามารถส่งผลต่อพฤติกรรมรถขับขี่ได้

การศึกษาปัญหาด้านความปลอดภัยทางถนนด้วยการมีส่วนร่วมของประชาชน ร่วมคิด ร่วมทำ สามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ นำไปประยุกต์ใช้ในถนนต่างๆ ได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ ศิริธงชัย (2558) ดังนั้น การรวบรวมข้อมูลสำรวจจำนวนและสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุในพื้นที่ศึกษาตำบลทุ่งหลวง อำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ซึ่งมีถนนที่เชื่อมโยงถนนสายหลักคือ ทล.101 และผู้ขับขี่มักใช้ความเร็วเกินกำหนดแม้ว่าจะอยู่เขตชุมชน หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงควรเร่งปรับปรุงแก้ไขเพื่อไม่ให้เกิดอุบัติเหตุได้อีก และช่วยกระตุ้นเตือนให้ผู้ขับขี่มีความตระหนักถึงความปลอดภัยมากขึ้น ด้วยป้ายและเครื่องหมายบนผิวจราจร เพื่อช่วยลดปัญหาอุบัติเหตุ สอดคล้องกับการศึกษาของ อำพล (2561) ที่เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ ได้แก่ การแก้ไขระดับพื้นทาง ซ่อมแซมผิวทาง ติดตั้งป้ายเตือน สัญญาณเตือน แก้ไขเส้นจราจรและเส้นหยุดที่ถูกต้อง เพิ่มไฟส่องสว่าง ป้ายกำหนดการใช้ความเร็ว รวมทั้งการปรับปรุงสภาพแวดล้อมที่ส่งผลเสียต่อทัศนวิสัยการมองเห็นของผู้ขับขี่และการใช้เทคโนโลยีช่วยด้านความปลอดภัย เช่น กล้อง CCTV ไฟฟ้าส่องสว่างด้วยระบบโซล่าเซลล์ เป็นต้น ซึ่งการใช้เทคโนโลยีช่วยในการจัดการความปลอดภัย วางแผนจราจร สามารถช่วยลดอุบัติเหตุได้ดี (ดลชญา, 2560) โดยมาตรการเหล่านี้ควรกำหนดเป็นแผนตามระยะเร่งด่วน นำสู่ไปศึกษาและพิจารณาถึงงบประมาณ การปรับปรุงถนนสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อส่งเสริมและยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่ให้ดียิ่งขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการศึกษาความปลอดภัยทางถนนสำหรับท้องเที่ยวในพื้นที่ตำบลทุ่งหลวงในครั้งนี้เป็นการศึกษาลักษณะทางกายภาพของถนนที่ส่งผลต่อพฤติกรรมรถขับขี่ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการเกิดอุบัติเหตุทางถนน ดังนั้นการศึกษปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุทางถนนด้านอื่น ๆ จะส่งผลให้การศึกษาด้านความปลอดภัยทางถนนอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้แก่ การศึกษาพฤติกรรมของผู้ขับขี่

เช่น ทักษะคนดี ความรู้ด้านกฎหมายจราจร รวมทั้งโครงการส่งเสริมความปลอดภัย การประเมิน มาตรการต่อการลดอุบัติเหตุที่สามารถใช้ดำเนินการในพื้นที่ชุมชน การนำเทคโนโลยี นวัตกรรม ด้าน การจราจรเพื่อประยุกต์ใช้ช่วยให้สามารถเฝ้าระวังและวิเคราะห์ความเสี่ยงได้ อีกทั้งการศึกษา ด้าน ต้นทุนและงบประมาณการก่อสร้างเพื่อใช้เป็นแผนการบริหารเชิงกลยุทธ์ทั้งแผนระยะสั้นและแผน ระยะยาวตามลำดับความสำคัญของจุดเสี่ยงและจุดอันตรายให้สามารถปรับใช้ในการพัฒนาความ ปลอดภัยทางถนนได้

7. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการตามยุทธศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพื่อการพัฒนา ท้องถิ่น โครงการพัฒนาเส้นทางท่องเที่ยวและโปรแกรมการท่องเที่ยวปลอดภัยตำบลทุ่งหลวง อำเภอ ศิริมาศ จังหวัดสุโขทัย คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ พิบูลสงคราม นายกเทศมนตรีเทศบาลตำบลทุ่งหลวงและเจ้าหน้าที่ทุกท่าน โรงพยาบาลส่งเสริม สุขภาพตำบลตำบลทุ่งหลวง และวิทยาลัยไต้ฝุ่นบ้าน ชุมชนท่องเที่ยวเครื่องปั้นดินเผา ที่มีความ อนุเคราะห์ให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้

8. เอกสารอ้างอิง

- คณะกรรมการนโยบายการท่องเที่ยวแห่งชาติ. (2566). **แผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติ ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2566 - 2570)**. ค้นจาก <https://www.tat.ro.th>
- ดลชญา ธิติชัยกวิน. (2560). **ปัจจัยและการพัฒนาการจัดระบบรักษาความปลอดภัยภายใน มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี**. โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงิน ทุนอุดหนุนรัฐบาล. มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
- บริษัท กลางคุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด. (ม.ป.ป.). **ข้อมูลจำนวนการเกิดอุบัติเหตุพื้นที่ตำบล ทุ่งหลวง**. ค้นจาก <https://www.rvp.co.th/>
- เทศบาลตำบลทุ่งหลวง. (2567). **จำนวนครัวเรือนและจำนวนประชากร**. ค้นจาก <https://www.thungluangsk.go.th>
- ศิริธงชัย ชูนาค. (2559). **การศึกษาปลอดภัยทางถนนในชุมชนเมือง:กรณีศึกษาบ้านคลองแวง อำเภอสระเตา จังหวัดสงขลา**. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต)มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุเพื่อเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนน. (2567). **การเปรียบเทียบสถิติ การเกิดอุบัติเหตุทางถนนในประเทศไทย**. ค้นจาก <https://www.thairsc.com>



อำพล การุณสุนทวงษ์. (2561). การศึกษาการลดความเสี่ยงอุบัติเหตุจากการชนท้าย: กรณีศึกษา
ทาง หลวงแผ่นดินหมายเลข 35. (รายงานฉบับสมบูรณ์). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.



การพัฒนาส่วนผสมผลิตภัณฑ์สโตนแวร์
จากดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย
DEVELOPMENT OF STONEWARE PRODUCTS COMPONENT FROM
BAN THUNG LUANG CLAY, SUKHOTHAI

จุมพฏ พงศ์ศักดิ์ศรี*, วสุธา ครุทสอน
Jumpot Phongsaksri*, Wasutha Krutsorn
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000
Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: jumpot_ph@psru.ac.th

วันที่เข้ารับ 28 กุมภาพันธ์ 2568

วันที่แก้ไขบทความ 4 สิงหาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 5 สิงหาคม 2568

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาอัตราส่วนผสม และศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ 2) เพื่อสร้างเกณฑ์เป็นแนวทางการพัฒนาสโตนแวร์ และคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมตามเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ ทดลองการวิจัยโดยใช้วัตถุดิบในการทดลองได้แก่ 1) ดินบ้านทุ่งหลวง 2) ดินขาวลำปาง และ 3) ทรายระยอง สุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งด้วยเครื่องชั่งระบบดิจิทัล บดผสมด้วยเครื่องบดความเร็วสูง และเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียสด้วยเตาไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่า สูตรส่วนผสมที่ตรงกับเกณฑ์และมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์สโตนแวร์มากที่สุดมีส่วนผสมของ ดินบ้านทุ่งหลวง ร้อยละ 60 ดินขาวลำปาง ร้อยละ 10 และทรายระยอง ร้อยละ 30 โดยมีค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 2.70 มีค่าความแข็งแรง 255.02 kg/cm² และมีค่าการหดตัว ร้อยละ 9.50

คำสำคัญ: สโตนแวร์, ดินบ้านทุ่งหลวง, ดินขาวลำปาง, ทรายระยอง

Abstract

This research is an experimental study with the following objectives: To develop mixing ratios and study the physical properties of stoneware products. To establish selection criteria as a guideline for stoneware development and determine the most suitable mixing ratio according to the product standards. The experiment utilized three main raw materials: Thung Luang clay, Lampang clay, and Rayong sand. Samples were selected using a purposeful sampling method based on an equilateral triangular diagram, weighed with a digital balance, mixed using a high-speed mixer, and fired at 1230°C in an electric kiln. The research results showed that the formulation which best met the criteria and was most suitable for stoneware products consisted of 60% Thung Luang clay, 10% Lampang white clay, and 30% Rayong sand. This composition exhibited a water absorption of 2.70%, a flexural strength of 255.02 kg/cm², and a firing shrinkage of 9.50%.

Keywords: Stoneware, Thung Luang clay, Lampang clay, Rayong sand

1. บทนำ

บ้านทุ่งหลวง อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย เป็นชุมชนเครื่องปั้นดินเผาที่ได้รับการถ่ายทอดจากบรรพบุรุษมาอย่างยาวนาน จนเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของจังหวัดสุโขทัย มีนักท่องเที่ยวจำนวนมากเข้ามาในชุมชน ผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาบ้านทุ่งหลวงส่วนใหญ่ขึ้นรูปด้วยมือบนแป้นหมุน และขึ้นรูปด้วยการหล่อพิมพ์ รูปแบบผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์หม้อต้มอาหาร และกระถางต้นไม้ รายได้ส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 10,000-15,000 บาทต่อเดือน กลุ่มลูกค้าส่วนใหญ่อยู่ภาคเหนือ และภาคกลาง จากผลการศึกษาทิศทางการพัฒนาเครื่องปั้นดินเผาบ้านทุ่งหลวง อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย พบว่า ควรเร่งสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ให้มีมูลค่าสูงมากยิ่งขึ้น เช่น เครื่องตกแต่งบ้านหรือของสะสมเฉพาะกลุ่ม ไปพร้อมกับการสร้างอัตลักษณ์ให้ผู้ผลิตแต่ละครัวเรือนที่ไม่เกิดความซ้ำซ้อนกันในด้านรูปแบบ ปรับรูปแบบผลิตภัณฑ์ปรับเปลี่ยนรูปร่าง รูปแบบ ลวดลาย และขนาด ให้มีน้ำหนักเบา สะดวกใน การจัดเก็บ หรือจัดแสดงโชว์ หาวัตถุดิบในการปั้นที่เป็นการลดต้นทุนแต่คุณภาพยังคงเดิม และมีความแข็งแรงให้เหมาะสมกับการใช้งานตามความต้องการของตลาดสมัยใหม่ รวมถึงการออกแบบ และพัฒนาบรรจุภัณฑ์ เพื่อส่งเสริมให้สินค้ามีมูลค่าสูงขึ้น ในปัจจุบันอุณหภูมิการเผาอยู่ในช่วง 800-900 องศาเซลเซียส (จุมพฏ และคณะ, 2566) และเมื่อนำไปทดลองเผาที่อุณหภูมิสูง พบว่าเนื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาและดินบ้านทุ่งหลวงสามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิ



สูงได้ดี ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ที่เผาอุณหภูมิสูงขึ้นได้จึงมีแนวคิดนำดินบ้านทุ่งหลวงมาพัฒนาเป็นเนื้อสโตนแวร์ขึ้น

สโตนแวร์ (Stoneware) เป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีเนื้อดินเป็นส่วนผสมผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิสูงระหว่าง 1200-1300 องศาเซลเซียส มีการดูดซึมน้ำประมาณร้อยละ 3-5 เนื้อผลิตภัณฑ์หลังการเผาจะมีลักษณะที่บดแข็งแต่ยังคงมีความพรุนเล็กน้อย โดยปกติสโตนแวร์สามารถแบ่งออกเป็นสองลักษณะคือเนื้อละเอียดและเนื้อหยาบ เนื้อละเอียดมักใช้ในการผลิตภาชนะที่ต้องการความสวยงามและการใช้งานที่มีคุณภาพสูง ส่วนเนื้อหยาบมักใช้ผลิตภาชนะขนาดใหญ่หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการรักษารูปร่างระหว่างการเผา คุณสมบัติทางกายภาพของสโตนแวร์ที่สำคัญ ได้แก่ การดูดซึมน้ำประมาณร้อยละ 3-5 ภายหลังจากการเผา ซึ่งทำให้สามารถบรรจุน้ำได้โดยไม่รั่วซึม สโตนแวร์มีจุดเด่นในด้านการปั้นที่ง่ายทั้งวิธีการปั้นมือและการใช้แป้นหมุน สีของสโตนแวร์มีหลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดของดินและส่วนผสม ตั้งแต่โทนสีขาวครีม สีเนื้ออ่อนไปจนถึงสีน้ำตาลเข้ม ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงและความสวยงาม เหมาะสำหรับใช้งานทั่วไปและการตกแต่ง (สมศักดิ์, 2549; สุขุมาล, 2548) และโดยทั่วไปสโตนแวร์มักจะใช้ดินขาวและหินเขียวหูนุมาหรือทรายเข้ามาเป็นส่วนผสมหลักเพื่อพัฒนาสูตรส่วนผสมให้มีคุณภาพสูงเหมาะกับการใช้งาน โดยอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผานิยมใช้ดินขาวเป็นวัตถุดิบในการผลิตสโตนแวร์เนื่องจากดินขาวมีปริมาณเหล็กต่ำ ให้สีขาว มีความทนไฟและสุกตัวที่อุณหภูมิสูง ส่วนทรายระยองเป็นที่นิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องปั้นดินเผาเนื่องจากมีปริมาณของซิลิกาสูงถึงประมาณ ร้อยละ 99.40 เมื่อนำไปเป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นจะช่วยทำให้เกิดความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ทรงตัวได้ดี ทำหน้าที่เป็นเสมือนเป็นโครงกระดูก ลดการหดตัวป้องกันการแตกร้าวและการบิดเบี้ยวของผลิตภัณฑ์ (โกมล, 2538; ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ, ม.ป.ป.; สมศักดิ์, 2549) ซึ่งปัจจุบันความต้องการทางตลาดของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสโตนแวร์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานที่หลากหลาย และมีราคาไม่สูง

จากข้อมูลข้างต้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาส่วนผสมของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยมีความสนใจในการพัฒนาวัตถุดิบท้องถิ่นเพื่อยกระดับศักยภาพของอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาชุมชน โดยมุ่งเน้นการใช้ ดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์ ประเภทสโตนแวร์ ซึ่งเป็นกลุ่มเซรามิกที่มีคุณสมบัติแข็งแรง ทนความร้อน และเหมาะสำหรับการใช้งานในชีวิตประจำวัน การวิจัยนี้มุ่งพัฒนาสูตรส่วนผสมเนื้อดินที่เหมาะสมสำหรับการเผาในอุณหภูมิสูง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน ทั้งในด้านความแข็งแรง การดูดซึมน้ำ และความคงตัวของเนื้อดินหลังการเผา ซึ่งการพัฒนาดังกล่าวมีเป้าหมายเพื่อเสริมสร้างศักยภาพอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาท้องถิ่น ควบคู่กับการ ส่งเสริมเศรษฐกิจสร้างสรรค์ของชุมชน

โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว และสามารถตอบสนองความต้องการของตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

2.วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาอัตราส่วนผสม และศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากส่วนผสมของดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ดินขาวลำปาง และทรายระยอง ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส

2.2 เพื่อสร้างเกณฑ์เป็นแนวทางการพัฒนาสโตนแวร์ และคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมตามเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากส่วนผสมของดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ดินขาวลำปาง และทรายระยองภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส

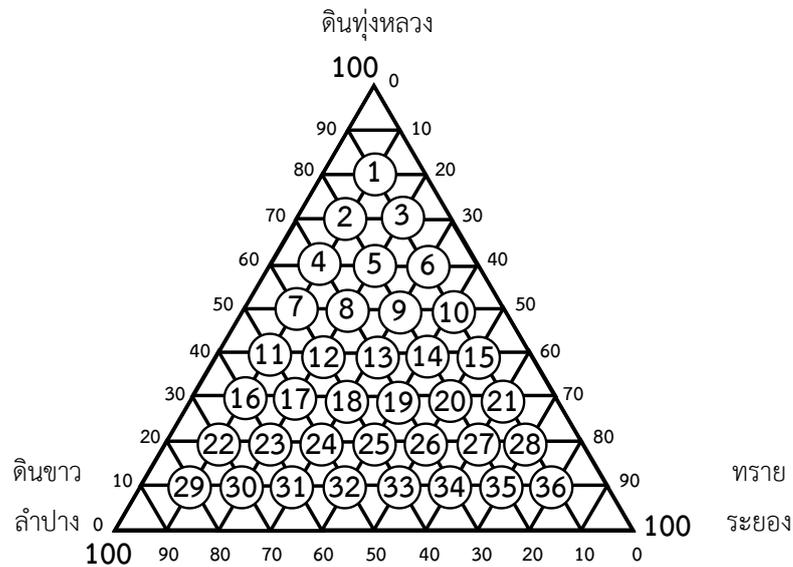
3.วิธีดำเนินงานวิจัย

การพัฒนาส่วนผสมผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการดำเนินการวิจัย โดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 พัฒนาอัตราส่วนผสมและศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากส่วนผสมของดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ดินขาวลำปาง และทรายระยอง ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียสซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้

1. กำหนดวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการพัฒนาอัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ ได้แก่ 1) ดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย 2) ดินขาวลำปาง และ 3) ทรายระยอง

2. กำหนดอัตราส่วนผสมโดยการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) จากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า (Triaxial diagram) (Singer, 1963) โดยกำหนดสูตรส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 36 สูตรส่วนผสม ดังภาพที่ 1 และ ตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าที่ใช้ในการพัฒนาส่วนผสม

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนผสมที่ได้จากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า

สูตรที่	ดินบ้านทุ่งหลวง	ดินขาวลำปาง	ทรายระยอง	สูตรที่	ดินบ้านทุ่งหลวง	ดินขาวลำปาง	ทรายระยอง
1	80	10	10	19	30	30	40
2	70	20	10	20	30	20	50
3	70	10	20	21	30	10	60
4	60	30	10	22	20	70	10
5	60	20	20	23	20	60	20
6	60	10	30	24	20	50	30
7	50	40	10	25	20	40	40
8	50	30	20	26	20	30	50
9	50	20	30	27	20	20	60
10	50	10	40	28	20	10	70
11	40	50	10	29	10	80	10
12	40	40	20	30	10	70	20
13	40	30	30	31	10	60	30
14	40	20	40	32	10	50	40
15	40	10	50	33	10	40	50
16	30	60	10	34	10	30	60
17	30	50	20	35	10	20	70
18	30	40	30	36	10	10	80

3. การเตรียมดินตัวอย่าง เมื่อได้ดินตัวอย่างมาแล้วทำการตากแห้งจากนั้นนำมาบดให้มีความละเอียดด้วยหม้อบด (Ball mill) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปผ่านตะแกรงร่อนขนาด 120 Mesh เมื่อได้ดินตัวอย่างแล้วนำไปอบที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. ชั่งส่วนผสมของวัตถุดิบสูตรส่วนผสมละ 500 กรัม ด้วยเครื่องชั่งระบบดิจิทัลบริษัท Mettler Toledo (0.001g) รุ่น PG203-S ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ และบดผสมกับน้ำด้วยเครื่องบดผสมความเร็วสูง (Hi-speed mixer) ขนาดเล็กสูตรละ 5 นาที



ภาพที่ 2 การบดผสมด้วยเครื่องบดผสมความเร็วสูง (Hi-speed mixer)

5. ขึ้นรูปเป็นแท่งทดลองด้วยวิธีการอัดในแม่พิมพ์ ขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 7 เซนติเมตร และหนา 1 เซนติเมตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
6. เผาที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบออกซิเดชัน (Oxidation firing) ด้วยเตาเผาชนิดไฟฟ้าบริษัท Carbolite Gero Ltd. รุ่น CWF1300 ประเทศอังกฤษ ทำการเผาขึ้นไฟเป็นเวลา 15 นาที วัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบไพโรเมตริกเทอร์โมคัพเปิล (Pyrometric thermocouple) และนำแผ่นทดลองออกจากเตาเมื่ออุณหภูมิภายในเตาต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3 แท่งทดลองเนื้อสโตนแวร์จากส่วนผสมของดินบ้านทุ่งหลวง ดินชาวลำปาง และทรายระยอง



7. กำหนดขอบเขตในการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ 1) การหดตัว 2) การดูดซึมน้ำ 3) ความแข็งแรง 4) ความทนไฟ 5) การเกิดสี 6) ค่าความสว่าง และ 7) ค่าสี ซึ่งมีรายละเอียดการทดสอบ ดังนี้

7.1 ทดสอบการหดตัว (Shrinkage of clay) โดยการอัดขึ้นรูปเป็นแท่งสี่เหลี่ยมตัน ขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 7 เซนติเมตร และหนา 1 เซนติเมตร นำแท่งทดลองไปผึ่งให้แห้ง นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส วัดความยาวที่ได้หลังจากเผา และคำนวณค่าร้อยละการหดตัว โดยใช้สูตรดังนี้

$$\frac{\text{ความยาวเปียก} - \text{ความยาวหลังการเผา}}{\text{ความยาวเปียก}} \times 100$$

7.2 ทดสอบการดูดซึมน้ำ โดยนำแท่งทดลองที่ผ่านการเผา อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และรอให้แท่งทดลองมีอุณหภูมิห้อง ให้นำมาชั่งหาค่าน้ำหนักก่อนต้ม และจดบันทึกเป็น ค่าน้ำหนักแห้ง นำแท่งทดลองไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง และแช่ทิ้งไว้ในน้ำอีก 24 ชั่วโมง โดยที่แท่งทดลองต้องไม่ติดกับพื้นภาชนะที่ต้มและแต่ละชิ้นต้องวางห่างจากกัน เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ให้นำแท่งทดลองเช็ดด้วยผ้าหมาด ซับผิวให้ทั่วแล้วชั่งน้ำหนัก จดบันทึกเป็นน้ำหนักเปียก และคำนวณค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ โดยใช้สูตรดังนี้

$$\frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

7.3 ทดสอบความแข็งแรง (MOR : Modulus of rupture) คือค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงต่อการตัดหรือโค้งงอของเซรามิกส์ใช้การทดสอบแบบ 3 Point bending test วางแท่งทดสอบบนจุดรองรับ 2 จุด และให้แรงกดตรงกลาง โดยตั้งระยะห่างที่รองรับ 7 เซนติเมตร เพิ่มแรงกดจนกระทั่งแท่งทดสอบแตกหัก บันทึกแรงกดที่ใช้ในการหักแท่งทดลอง คำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{MOR} = \frac{3FL}{2bd^2}$$

โดยที่ F คือ แรงที่ทำให้แตกหักหรือค่าน้ำหนักแรงกดที่หัก

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับแท่งทดลอง

b คือ ความกว้างของแท่งทดลอง

d คือ ความหนาของแท่งทดลอง



ภาพที่ 4 การทดสอบความแข็งแรงโดยใช้เทคนิค 3 Point bending test

7.4 ทดสอบความทนไฟ (Refractories) มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ นำส่วนผสมทำเป็นแท่งวัดอุณหภูมิ โดยทำมุมเอียง 82 องศา ให้มีขนาดเท่ากับท่อนวัดอุณหภูมิขนาดใหญ่ตามมาตรฐานของออร์ตัน (Orton Cone) ที่มา (Orton, 2014) แล้วนำไปฝังให้แห้งสนิท แล้วนำแท่งทดสอบไปเผาตามอุณหภูมิที่กำหนด

7.5 ทดสอบการเกิดสีของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ทำโดยการสแกน (Scan) ด้วยเครื่อง Colorimeter Linshang รุ่น LS171 ประเทศจีน ได้แก่ รูปแบบรหัสสีตามเฉดสีของ RAL-LS Color Chart (RAL Color Standard) ซึ่งเป็นระบบมาตรฐานสีที่พัฒนาโดยสถาบัน RAL (Reichsausschuss für Lieferbedingungen)



ภาพที่ 5 แท่งทดสอบความทนไฟ

7.6 ทดสอบค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ ด้วยเครื่อง Chroma Meter รุ่น CR-400 บริษัท Konica Minolta ประเทศญี่ปุ่น โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนไปถึง $-L^*$ แสดงถึงสี

7.7 ทดสอบค่าสีของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ ด้วยเครื่อง Chroma meter รุ่น CR-400 บริษัท Konica Minolta ประเทศญี่ปุ่น ในระบบสเกลสี (Color scale) a^* , และ b^* ของ Hunter lab scale ซึ่งเป็นระบบการวิเคราะห์สีแบบ 3 มิติ โดยที่ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$)



ภาพที่ 6 การทดสอบค่าความสว่างและค่าสี

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเกณฑ์เพื่อใช้เป็นแนวทางการพัฒนาสโตนแวร์ และคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมตามเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากส่วนผสมของดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอศรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ดินขาวลำปาง และทรายระยอง ภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกส่วนผสมผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ โดยที่เกณฑ์ที่สร้างขึ้นนี้จะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเนื้อดินสโตนแวร์จากวัตถุดิบท้องถิ่น สามารถใช้เป็นเกณฑ์เบื้องต้นในการคัดกรองสูตรก่อนเข้าสู่กระบวนการพัฒนาเชิงลึกเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการส่งทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตเนื้อหาในการกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกส่วนผสม ได้แก่ 1) งานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาสโตนแวร์จากดินท้องถิ่น 2) มาตรฐานผลิตภัณฑ์สโตนแวร์

1.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาสโตนแวร์จากดินท้องถิ่น สรุปได้ดังนี้ 1) เพียรพิน (2560) ได้สูตรส่วนผสมที่มี ดินบ้านหนองหัวยาง ร้อยละ 30 ทราย ร้อยละ 20 และดินขาวระนองร้อยละ 50 โดยมีค่า การหดตัว ร้อยละ 11.08 ค่าความแข็งแรง 190.30 Kg/cm^2 และมีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 1.27 และทนไฟที่ 1230 องศาเซลเซียส 2) เลิศชาย (2554) ได้ส่วนผสมที่มีดินพื้นบ้านร้อยละ 60 ดิน



ขาลำปางร้อยละ 20 และทรายร้อยละ 20 โดยมีค่าการหดตัว ร้อยละ 13.57 ค่าความแข็งแรง 35.98 kg/cm² และมีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 6.27 และทนไฟที่ 1230 องศาเซลเซียส 3) นฤดม (2565) ได้ส่วนผสมที่มีดินหนองบัวระเหว ร้อยละ 30 ดินขาวร้อยละ 30 และหินเขี้ยวหนุมาน ร้อยละ 40 โดยมีค่าการหดตัว ร้อยละ 11.00 ค่าความแข็งแรง 427.43 kg/cm² และมีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0.00 และทนไฟที่ 1200 องศาเซลเซียส 4) วิมล (2561) ได้ส่วนผสมที่มีดินบ้านปลักแรด ร้อยละ 30 ดินขาลำปาง ร้อยละ 30 และเฟลด์สปาร์ ร้อยละ 40 โดยมีค่าการหดตัว ร้อยละ 0.00 - 9.48 ค่าความแข็งแรง 81.46 - 237.84 kg/cm² และมีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0.00 - 12.32 และทนไฟที่ 1230 องศาเซลเซียส และ 5) ปราโมทย์ ปิ่นสกุล และกฤษฎากร เชื้อมกลาง (2559) ได้ส่วนผสมที่มีดินพื้นบ้านอำเภอบ้านกรวด ร้อยละ 50 ดินดำ ร้อยละ 50 โดยมีค่าการหดตัว ร้อยละ 9.80 ค่าความแข็งแรง 461.21 kg/cm² และมีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 3.70 และทนไฟที่ 1230 องศาเซลเซียส

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ ดังนี้ 1) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหาร: สโตนแวร์. มอก. 602-2546 2) มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง เครื่องปั้นดินเผา สโตนแวร์. มพช. 930/2548 และ 3) มาตรฐานอุตสาหกรรมเอส เครื่องปั้นดินเผา สโตนแวร์. มอก. เอส 49-2562.

2. สังเคราะห์เนื้อหาสรุปเป็นเกณฑ์ที่ใช้เป็นแนวทางการพัฒนาสโตนแวร์ที่เหมาะสม และนำข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมผลิตภัณฑ์สโตนแวร์มาวิเคราะห์ตามเกณฑ์ที่ได้

3. สรุปและรายงานผลการคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

4. ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาส่วนผสมผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ในครั้งนี้ ภายหลังจากดำเนินการทดลองมีผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 หัวข้อตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

1. ผลการพัฒนาอัตราส่วนผสม และผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากส่วนผสมของดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ดินขาลำปาง และทรายระยอง ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ได้ผลการวิจัยดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมและสมบัติทางกายภาพผลิตภัณฑ์สโตนแวร์

สูตร ที่	อัตราส่วนผสม			สมบัติทางกายภาพภายหลังการทดสอบ				
	ดินบ้านทุ่ง หลวง	ดินขาว ลำปาง	ทราย ระยอง	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความแข็งแรง (kg/cm ²)	ความ ทนไฟ	การเกิดสี (RAL)
1	80	10	10	14.29	1.37	182.75	ทนไฟ	LS8025
2	70	20	10	13.80	2.15	201.25	ทนไฟ	LS8025
3	70	10	20	13.20	2.41	221.42	ทนไฟ	LS8025
4	60	30	10	11.43	3.51	184.89	ทนไฟ	LS7008
5	60	20	20	10.50	2.97	226.05	ทนไฟ	LS8025
6	60	10	30	9.50	2.70	255.02	ทนไฟ	LS7002
7	50	40	10	8.57	4.70	151.54	ทนไฟ	LS7002
8	50	30	20	9.00	3.55	183.52	ทนไฟ	LS1036
9	50	20	30	8.57	3.35	150.79	ทนไฟ	LS1036
10	50	10	40	7.50	3.54	244.57	ทนไฟ	LS7034
11	40	50	10	7.14	4.51	143.36	ทนไฟ	LS8000
12	40	40	20	7.54	4.09	153.31	ทนไฟ	LS8029
13	40	30	30	7.20	3.02	169.15	ทนไฟ	LS8029
14	40	20	40	6.78	3.38	198.6	ทนไฟ	LS1036
15	40	10	50	6.51	3.84	228.96	ทนไฟ	LS1036
16	30	60	10	2.86	5.30	124.1	ทนไฟ	LS1036
17	30	50	20	5.82	4.23	188.91	ทนไฟ	LS1011
18	30	40	30	5.50	4.16	198.18	ทนไฟ	LS1011
19	30	30	40	4.95	3.70	207.45	ทนไฟ	LS1011
20	30	20	50	4.50	3.51	286.7	ทนไฟ	LS1011
21	30	10	60	4.00	3.94	218.92	ทนไฟ	LS1036
22	20	70	10	1.43	6.57	135.69	ทนไฟ	LS1011
23	20	60	20	2.86	7.45	130.48	ทนไฟ	LS1011
24	20	50	30	4.85	5.26	130.58	ทนไฟ	LS1036
25	20	40	40	4.51	5.83	125.16	ทนไฟ	LS1000
26	20	30	50	3.95	4.61	133.36	ทนไฟ	LS1014
27	20	20	60	3.52	5.24	184.24	ทนไฟ	LS1014
28	20	10	70	2.56	5.36	257.45	ทนไฟ	LS1001
29	10	80	10	2.52	7.50	150.78	ทนไฟ	LS1014
30	10	70	20	1.98	7.20	130.46	ทนไฟ	LS1014
31	10	60	30	1.57	6.15	127.2	ทนไฟ	LS1014
32	10	50	40	1.34	6.39	136.59	ทนไฟ	LS1014

สูตร ที่	อัตราส่วนผสม			สมบัติทางกายภาพภายหลังการทดสอบ				
	ดินบ้านทุ่ง หลวง	ดินขาว ลำปาง	ทราย ระยอง	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความแข็งแรง (kg/cm ²)	ความ ทนไฟ	การเกิดสี (RAL)
33	10	40	50	1.41	4.74	155.27	ทนไฟ	LS1014
34	10	30	60	1.25	4.52	171.52	ทนไฟ	LS1015
35	10	20	70	1.20	5.29	134.82	ทนไฟ	LS1015
36	10	10	80	0.87	6.72	114.6	ทนไฟ	LS1015

จากตารางที่ 2 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมและสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สีโทนแฉวี พบว่า 1) การหดตัวของส่วนผสมมีค่าลดลงเมื่อปริมาณดินบ้านทุ่งหลวงลดลงและปริมาณดินขาวลำปางเพิ่มขึ้น สูตรที่มีดินบ้านทุ่งหลวงสูง (สูตรที่ 1-6) มีค่าการหดตัวสูง (9.5% - 14.29%) ในขณะที่สูตรที่มีดินขาวลำปางสูง (สูตรที่ 22-36) มีค่าการหดตัวต่ำลง (0.87% - 5.30%) 2) การดูดซึมน้ำ สูตรที่มีดินขาวลำปางสูงจะมีความดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น สูตรที่มีสัดส่วนของดินบ้านทุ่งหลวงและทรายระยองมากจะมีความดูดซึมน้ำต่ำลง ได้แก่ สูตรที่ 5 (2.97%) สูตรที่ 6 (2.70%) และ 20 (3.51%) 3) ความแข็งแรง พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัดส่วนของทรายระยองมากขึ้น สูตรที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดคือสูตรที่ 20 (286.7 kg/cm²) ซึ่งมีสัดส่วนของดินบ้านทุ่งหลวงต่ำและทรายระยองสูง 4) การเกิดสี มีการเปลี่ยนแปลงของสีในแต่ละสูตรตามระบบ RAL โดยมีโทนสีที่หลากหลาย เช่น LS8025, LS1036, LS1014 เป็นต้น โดยสูตรที่มีปริมาณดินขาวลำปางสูงมีแนวโน้มให้สีที่อ่อนลง ขณะที่สูตรที่มีดินบ้านทุ่งหลวงสูงมักให้สีที่เข้มกว่า

จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าความสว่าง (L*) และค่าสี (a*, b*) ของเนื้อสีโทนแฉวีดินบ้านทุ่งหลวง พบว่าค่าความสว่าง (L*) มีช่วงค่าตั้งแต่ 38.67 ถึง 61.65 โดยสูตรที่มีค่าความสว่างสูงสุดคือสูตรที่ 34 (61.65) และต่ำสุดคือสูตรที่ 11 (38.67) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของระดับสีในเนื้อสีโทนแฉวีอย่างชัดเจน ส่วน ค่าสี a* มีค่าตั้งแต่ 3.42 ถึง 10.55 และค่าสี b* มีค่าตั้งแต่ 8.24 ถึง 15.92 และจากข้อมูลในตารางที่ 3 พบว่าค่าความสว่าง (L*) มีความสัมพันธ์ผกผันกับค่าสี a* ซึ่งเมื่อค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ค่าสีแดง (a*) มีแนวโน้มลดลง โดยค่าความสว่างสูงสุดที่ 61.65 (สูตรที่ 34) มีค่า a* เพียง 4.10 ในขณะที่ค่าความสว่างต่ำสุดที่ 38.67 (สูตรที่ 11) มีค่า a* สูงถึง 9.71 แสดงให้เห็นว่าเนื้อสีโทนแฉวีที่มีสีเข้มขึ้นจะมีองค์ประกอบสีแดงมากกว่า สำหรับค่าสี b* ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้สีเหลือง พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความสว่างเพิ่มขึ้นในช่วงระดับกลาง แต่ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ชัดเจน

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความสว่าง (L^*) และค่าสี (a^*) (b^*)

สูตรที่	ค่าความสว่าง (L^*)	ค่าสี a^*	ค่าสี b^*	สูตรที่	ค่าความสว่าง (L^*)	ค่าสี a^*	ค่าสี b^*
1	41.54	5.57	8.77	19	49.14	6.84	13.59
2	43.03	4.96	8.24	20	48.5	6.54	14.33
3	44.65	4.18	8.99	21	51.53	6.77	14.47
4	40.16	6.2	9.77	22	38.84	10.55	13.58
5	43.03	4.61	9.35	23	42.61	9.33	13.22
6	47.07	3.42	9.56	24	48.33	8.14	15.83
7	40.94	7.59	10.57	25	55.08	6.14	15.45
8	44.64	5.96	11.18	26	58.12	5.46	15.92
9	48.49	6.97	13.08	27	58.16	4.48	13.81
10	50.5	3.98	11.96	28	57.64	4.5	12.59
11	38.67	9.71	11.53	29	47.55	9.49	13.35
12	43.52	8.15	13.02	30	56.43	5.79	13.67
13	44.05	8.04	13.59	31	59.15	5.06	13.85
14	46.94	5.24	12.42	32	59.99	4.74	13.55
15	48.29	5.49	12.75	33	58.52	4.97	14.92
16	40.13	9.12	12.62	34	61.65	4.1	13.54
17	40.81	10.14	13.33	35	46.32	6.09	11.75
18	39.61	6.68	11.05	36	60.81	4.1	12.88

2. ผลการสร้างเกณฑ์ซึ่งเป็นแนวทางการพัฒนาสโตนแวร์ และผลการคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมตามเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากส่วนผสมของดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอศรีมหาศ จังหวัดสุโขทัย ดินขาวลำปาง และทรายระยอง ภายหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีรายละเอียดดังนี้

2.1 ผลการสร้างเกณฑ์เป็นแนวทางการพัฒนาสโตนแวร์ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปผลเกณฑ์ในการคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์

คุณสมบัติ	ค่าตามมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยจากงานวิจัย	เกณฑ์การคัดเลือก
1.ค่าการดูดซึมน้ำ (%)	$\leq 3.0\%$	4.71%	$\leq 3.0\%$
2.ค่าการหดตัว (%)	ไม่ระบุ	10.99%	$\leq 10\%$
3.ค่าความแข็งแรง (kg/cm^2)	ไม่ระบุ	279.28 kg/cm^2	$\geq 280 \text{ kg/cm}^2$
4.สัดส่วนดินพื้นบ้าน (%)	ไม่ระบุ	40% (ช่วงที่พบ: 30% - 60%)	40-60 %
5.อุณหภูมิการเผา ($^{\circ}\text{C}$)	ไม่ระบุ	1,200 - 1,230 $^{\circ}\text{C}$	1,200 - 1,230 $^{\circ}\text{C}$



จากตารางที่ 4 ข้อมูลที่ได้จะเป็นเกณฑ์แนวทางการพัฒนาสโตนแวร์ที่เหมาะสม ดังนี้ อัตราส่วนผสมดินสโตนแวร์สามารถใช้ดินพื้นบ้าน ร้อยละ 40-60 ค่าการดูดซึมน้ำ \leq ร้อยละ 3.0 ค่าการหดตัว \leq ร้อยละ 10 ค่าความแข็งแรง $\geq 280 \text{ kg/cm}^2$ และเผาที่อุณหภูมิ 1,200 - 1,230 องศาเซลเซียส

2.2 ผลการคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมตามเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากส่วนผสมของดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ดินขาวลำปาง และทรายระยอง โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 2 เทียบกับเกณฑ์การคัดเลือกจากตารางที่ 4 สูตรที่เข้าเกณฑ์ ได้แก่

1) ค่าการดูดซึมน้ำ $\leq 3.0\%$ สูตรที่เข้าเกณฑ์ ได้แก่ สูตรที่ 1 (1.37%), สูตรที่ 2 (2.15%), 3 (2.41%) สูตรที่ 5 (2.97%) สูตรที่ 6 (2.70%)

2) ค่าการหดตัว $\leq 10\%$ สูตรที่เข้าเกณฑ์ ได้แก่ สูตรที่ 6 (9.50%) สูตรที่ 7 (8.57%) สูตรที่ 8 (9.00%) สูตรที่ 9 (8.57%)

3) ค่าความแข็งแรง $\geq 280 \text{ kg/cm}^2$ สูตรที่เข้าเกณฑ์ ได้แก่ สูตรที่ 20 (286.7 kg/cm^2)

4) สัดส่วนดินพื้นบ้าน 40-60 % สูตรที่เข้าเกณฑ์ ได้แก่ สูตรที่ 4-15

5) อุณหภูมิการเผา 1,200-1,230°C พบว่าทุกสูตรสามารถทนความร้อนจากการเผาที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียสได้

ซึ่งเมื่อพิจารณาข้อมูลรวมทุกปัจจัยแล้วพบว่า สูตรที่ 6 เป็นสูตรที่ตรงกับเกณฑ์มากที่สุด และมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจาก 1) มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่า ร้อยละ 2.70 (ผ่านเกณฑ์ $\leq 3.0\%$) 2) มีค่าการหดตัวอยู่ในช่วงมาตรฐานคือ ร้อยละ 9.50 (ผ่านเกณฑ์ $\leq 10\%$) 3) มีค่าความแข็งแรงสูงใกล้เคียงกับเกณฑ์คือ 255.02 kg/cm^2 4) สัดส่วนดินพื้นบ้าน ร้อยละ 60 (อยู่ในช่วง 40-60% ตามเกณฑ์) และ 5) สามารถทนความร้อนจากการเผาที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียสได้

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาส่วนผสมผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ในครั้งนี้ ภายหลังจากดำเนินการทดลองสามารถสรุปผลและอภิปรายผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 หัวข้อตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้ดังนี้

สรุปผล

1. ผลการพัฒนาอัตราส่วนผสม และผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากส่วนผสมของดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ดินขาวลำปาง และทรายระยอง ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส สามารถสรุปได้ดังนี้ พบว่าอัตราส่วนผสมมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์อย่างมีนัยสำคัญ โดยสูตรที่มีดินบ้านทุ่งหลวงสูงให้ค่าการหดตัวสูง ขณะที่สูตรที่มีดินขาวลำปางสูงให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัดส่วนของทรายระยองมากขึ้น โดยสูตรที่ 20 ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด นอกจากนี้ สีของสโตนแวร์

จะเปลี่ยนแปลงตามองค์ประกอบของดิน โดยดินบ้านทุ่งหลวงให้สีเข้มกว่า ขณะที่ดินขาวลำปางให้สีอ่อนลง และผลการทดสอบค่าความสว่าง (L^*) และค่าสี (a^* , b^*) ของเนื้อสโตนแวร์ดินบ้านทุ่งหลวง พบว่าค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 38.67 - 61.65 โดยสูตรที่ 34 มีค่าความสว่างสูงสุดและสูตรที่ 11 มีค่าต่ำสุด ค่าสีแดง (a^*) มีความสัมพันธ์กับค่าความสว่าง โดยเนื้อสโตนแวร์ที่มีสีเข้มขึ้นจะมีค่า a^* สูงขึ้น ส่วนค่าสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความสว่างเพิ่มขึ้นในระดับกลางแต่ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ชัดเจน ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลของอัตราส่วนผสมที่มีต่อระดับสีของสโตนแวร์

2. ผลการสร้างเกณฑ์ซึ่งเป็นแนวทางการพัฒนาสโตนแวร์ และผลการคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมตามเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากส่วนผสมของดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอศรีนคร จังหวัดสุโขทัย ดินขาวลำปาง และทรายระยอง ภายหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

2.1 เกณฑ์การพัฒนาอัตราส่วนผสมดินสโตนแวร์ พบว่า อัตราส่วนผสมดินสโตนแวร์สามารถใช้ดินพื้นบ้าน ร้อยละ 40-60 ค่าการดูดซึมน้ำ \leq ร้อยละ 3.0 ค่าการหดตัว \leq ร้อยละ 10 ค่าความแข็งแรง $\geq 280 \text{ kg/cm}^2$ และเผาที่อุณหภูมิ 1,200 - 1,230 องศาเซลเซียส

2.2 ผลการคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมตามเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากส่วนผสมของดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอศรีนคร จังหวัดสุโขทัย ดินขาวลำปาง และทรายระยอง พบว่าสูตรที่ 6 เป็นสูตรที่ตรงกับเกณฑ์มากที่สุด และมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจาก 1) มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่า ร้อยละ 2.70 (ผ่านเกณฑ์ $\leq 3.0\%$) 2) มีค่าการหดตัวอยู่ในช่วงมาตรฐานคือ ร้อยละ 9.50 (ผ่านเกณฑ์ $\leq 10\%$) 3) มีค่าความแข็งแรงสูงใกล้เคียงกับเกณฑ์คือ 255.02 kg/cm^2 4) สัดส่วนดินพื้นบ้าน ร้อยละ 60 (อยู่ในช่วง 40-60% ตามเกณฑ์) และ 5) สามารถทนความร้อนจากการเผาที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียสได้

การอภิปรายผล

1. ผลการพัฒนาอัตราส่วนผสม และผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากส่วนผสมของดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอศรีนคร จังหวัดสุโขทัย ดินขาวลำปาง และทรายระยอง ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราส่วนผสมมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับงานวิจัยของ เลิศชาย (2554) ซึ่งพบว่าการเพิ่มปริมาณดินพื้นบ้านและดินขาวส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางกายภาพของสโตนแวร์ เช่น การหดตัวและการดูดซึมน้ำ โดยสูตรที่มีดินบ้านทุ่งหลวงสูงจะให้ค่าการหดตัวสูง มีผลตรงกับงานวิจัยของ เพียรพิน (2560) ที่ระบุว่าดินพื้นบ้านบางชนิด เช่น ดินบ้านหนองหัวยาง มีอัตราการหดตัวสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนของดินเพิ่มขึ้น ขณะที่สูตรที่มีดินขาวลำปางสูงให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิมล (2561) ที่พบว่าดินขาวลำปางช่วยเพิ่มความพรุนของเนื้อดิน ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นหลังการเผา ส่วน



ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัดส่วนของทรายระยองมากขึ้น โดยสูตรที่ 20 ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด สนับสนุนข้อมูลจากงานของ ปราโมทย์ และกฤษดากร (2559) ที่ระบุว่าการใช้ดินพื้นบ้านร่วมกับทรายสามารถเพิ่มความแข็งแรงของเนื้อดิน โดยทรายทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงมากขึ้น และสอดคล้องกับงานของ นฤตม (2565) ที่ศึกษาเนื้อดินเซรามิกส์จากแร่ดินเหนียวสี ตำบลหนองบัวระเหว และพบว่าอัตราส่วนที่มีทรายและดินขาวที่เหมาะสมสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงสุดได้ นอกจากนี้ สีของสโตนแวร์จะเปลี่ยนแปลงตามองค์ประกอบของดิน โดยดินบ้านทุ่งหลวงให้สีเข้มกว่า ขณะที่ดินขาวลำปางให้สีอ่อนลง สอดคล้องตรงกับงานวิจัยของ อนุรัตน์ (2563) ที่ศึกษาเนื้อดินด่านเกวียนและพบว่าปริมาณเหล็กออกไซด์ในดินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีหลังเผา และผลการทดสอบค่าความสว่าง (L^*) และค่าสี (a^* , b^*) ของเนื้อสโตนแวร์ดินบ้านทุ่งหลวง พบว่าค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 38.67 - 61.65 โดยสูตรที่ 34 มีค่าความสว่างสูงสุด และสูตรที่ 11 มีค่าต่ำสุด ส่วนค่าสีแดง (a^*) มีความสัมพันธ์กับค่าความสว่าง โดยเนื้อสโตนแวร์ที่มีสีเข้มขึ้นจะมีค่า a^* สูงขึ้น และพบว่าค่า a^* มีความสัมพันธ์ผกผันกับค่าความสว่าง ส่วนค่าสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความสว่างเพิ่มขึ้นในระดับกลางแต่ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ชัดเจน

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปรับอัตราส่วนผสมของ ดินบ้านทุ่งหลวง ดินขาวลำปาง และทรายระยอง มีผลต่อ ค่าการหดตัว ค่าการดูดซึมน้ำ ความแข็งแรง และค่าความสว่างของสี ของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาเนื้อดินสโตนแวร์สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ผลการสร้างเกณฑ์ซึ่งเป็นแนวทางการพัฒนาสโตนแวร์ และผลการคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมตามเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากส่วนผสมของดินบ้านทุ่งหลวง อำเภอศรีมหาศ จังหวัดสุโขทัย ดินขาวลำปาง และทรายระยอง ภายหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

2.1 เกณฑ์การพัฒนาอัตราส่วนผสมดินสโตนแวร์ พบว่า สามารถใช้ดินพื้นบ้าน 40-50% สอดคล้องกับงานของ เลิศชาย (2554) ที่พบว่าการใช้ดินพื้นบ้านในสัดส่วน 40-60% สามารถให้สมบัติที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสโตนแวร์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ เพียรพิน (2560) ที่ใช้ดินพื้นบ้านร่วมกับดินขาวและทรายเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ส่วนค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่าร้อยละ 3.00 ผลการศึกษาพบว่าค่าการดูดซึมน้ำขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของดินขาวและทรายในสูตรผสม สูตรที่มีปริมาณดินขาวลำปางสูงขึ้นไปมีแนวโน้มเพิ่มค่าการดูดซึมน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับ งานของ วิมล (2561) และสนับสนุนผลการวิจัยของ นฤตม (2565) ที่ระบุว่าเนื้อดินที่ผ่านการพัฒนาสามารถลดค่าการดูดซึมน้ำลงได้เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยที่ค่าการหดตัวที่เหมาะสมของสโตนแวร์น้อยกว่าร้อยละ 10 ส่วนค่าความแข็งแรงค่าความแข็งแรงมากกว่า 280 kg/cm^2 และเผาที่อุณหภูมิ 1200 - 1230 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับ เลิศชาย (2554) ปราโมทย์ และกฤษดากร (2559) และ



อนุรัตน์ (2563) ที่ระบุว่าอุณหภูมิการเผาสำหรับสโตนแวร์ที่มีส่วนผสมของดินเหนียวพื้นบ้านในช่วง 1200-1230 องศาเซลเซียส

2.2 สูตรที่ 6 เป็นสูตรที่ตรงกับเกณฑ์มากที่สุด และมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจาก มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่า ร้อยละ 2.70 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ ต้องมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำเพื่อเพิ่มความหนาแน่นและลดการซึมผ่านของของเหลว สอดคล้องกับงานของ นฤตม (2565) ที่พบว่า การเพิ่มปริมาณดินขาวในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถช่วยลดค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินได้และผลการศึกษาของ เพียรพิน (2560) พบว่าดินบ้านหนองห้วยางที่มีสัดส่วนของทรายสูงมีค่าการดูดซึมน้ำลดลง ซึ่งสนับสนุนว่าการใช้ ทรายระยะยง ร้อยละ 30 ในส่วนผสมของสูตรที่ 6 จะช่วยลดค่าการดูดซึมน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และแม้ว่าค่าความแข็งแรงที่กำหนดเป็นเกณฑ์จะมีค่าความแข็งแรง มากกว่า 280 kg/cm^2 แต่ค่าความแข็งแรงของสูตรที่ 6 คือ 255.02 kg/cm^2 ถือว่าใกล้เคียงกับเกณฑ์ แต่ยังคงอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง เมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐานจากงานวิจัยหลายฉบับ เช่น เลิศชาย (2554): 35.98 kg/cm^2 วิมล (2561): $81.46 - 237.84 \text{ kg/cm}^2$ และปราโมทย์ (2559): 461.21 kg/cm^2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้ยังอยู่ในช่วงที่สามารถใช้งานได้จริง ในกลุ่มผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ที่ไม่เน้นรับแรงกระแทกโดยตรง เช่น จาน ชาม แก้ว หรือภาชนะสำหรับอาหารทั่วไป และสามารถเพิ่มความแข็งแรงขึ้นได้โดยการปรับแต่งส่วนผสมเพิ่มเติมได้ เช่น งานวิจัยของ ปราโมทย์ และกฤษดากร (2559) ที่ระบุว่า การใช้ทรายร่วมกับดินพื้นบ้านจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์และตรงกับแนวทางของ สมใจ (2563) ที่ศึกษาเนื้อดินด่านเกวียน พบว่าการเผาที่อุณหภูมิสูงช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเนื้อดินโดยเฉพาะเมื่อใช้ทรายและดินขาวเป็นส่วนผสม และสูตรที่ 6 มีค่าการหดตัวคือ ร้อยละ 9.50 เป็นไปตามเกณฑ์ คือ ค่าการหดตัวน้อยกว่า ร้อยละ 10 สอดคล้องกับงานของ วิมล (2561) ที่พบว่าดินขาวลำปางสามารถช่วยควบคุมค่าการหดตัวของผลิตภัณฑ์เซรามิกสีโคนที่และลดการแตกร้าวขณะเผา และสูตรที่ 6 สัดส่วนดินบ้านทุ่งหลวง ร้อยละ 60 เป็นไปตามเกณฑ์และสอดคล้องงานของ เลิศชาย (2554) พบว่าการใช้ดินพื้นบ้าน ร้อยละ 60 ร่วมกับดินขาว โดยสรุปสูตรที่ 6 เป็นสูตรที่มีความเหมาะสมซึ่งมีส่วนผสมของดินบ้านทุ่งหลวง ร้อยละ 60 ดินขาวลำปาง ร้อยละ 10 และทรายระยะยง ร้อยละ 30 และสามารถทนความร้อนจากการเผาที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียสได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย และขอขอบคุณกลุ่มวิทยาลัยใต้ถุนบ้านผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาหน้าวัดลาย ตำบลทุ่งหลวง

อำเภอศรีมาต จังหวัดสุโขทัยที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบในการทดลอง ซึ่งทำให้การดำเนินการวิจัยสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยขอขอบคุณ มา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- โกมล รัชชวงศ์.(2538). **น้ำเคลือบ**. กรุงเทพฯ: สถาบันราชภัฏพระนคร.
- จุมพฏ พงศ์ศักดิ์ศรี, เกพรา พงศ์ศักดิ์ศรี, และณริศรา พฤกษ์วัน. (2566). การศึกษาศักยภาพการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อแนวทางการพัฒนาเครื่องปั้นดินเผาชุมชนบ้านทุ่งหลวง อำเภอศรีมาต จังหวัดสุโขทัย. **วารสารวิทยาการจัดการมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม**, 5(3), 40-53.
- นฤตม ปิ่นทอง. (2565). การพัฒนาเนื้อดินเซรามิกสีให้เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจากแร่ดินเหนียวสีบัวระเหว. **วารสารศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น**, 14(1), 1-20.
- ปราโมทย์ ปิ่นสกุล, และกฤษดากร เชื่อมกลาง. (2559). การพัฒนาเนื้อดิน อ.บ้านกรวด จ.บุรีรัมย์ เพื่อใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแบบใบมีด. **รมยสาร**, 14(พิเศษ), 147-153.
- เพียรพิน ก่อวุฒิพงศ์. (2560). การพัฒนาส่วนผสมของเนื้อดินปั้นโดยใช้แหล่งดินบ้านหนองห้วยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์สโตนแวร์. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**, 10(1), 60-74.
- เลิศชาย สถิตพนาวงศ์. (2554). การพัฒนาเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ด้วยดินขาวและดินพื้นบ้าน. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม**, 7(2), 84-92.
- วิมล ทองดอนกลิ้ง. (2561). การพัฒนาสูตรเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากดินบ้านปลักแรด. **วารสารวิชาการ ศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร**, 9(2), 118-136.
- ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ. (ม.ป.ป). **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซรามิกส์**. ลำปาง: กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สมใจ มะหมื่น. (2563). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาท้องถิ่นภาคใต้เตาเผาไฟสูง. **วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น**, 12(1), 100-113.
- สมศักดิ์ ขวาลาววัลย์. (2549). **เซรามิกส์**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- สุขุมล เล็กสวัสดิ์. (2548). **เครื่องปั้นดินเผา พื้นฐานการออกแบบและปฏิบัติงาน**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2546). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหาร: สโตนแวร์ (มอก. 602-2546)**. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2548). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง เครื่องปั้นดินเผา สโตนแวร์ (มผช. 930/2548)**. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.



- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2562). **มาตรฐานอุตสาหกรรมเอส เครื่องปั้นดินเผา
สโตนแวร์ (มอก. เอส 49-2562)**. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- อนูรัตน์ ภูวานคำ. (2563). **การพัฒนาเนื้องดินด้านเกวียนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องใช้บนโต๊ะ
อาหาร**. (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- อายุวัฒน์ สว่างผล. (2536). **เซรามิกส์เบื้องต้น**. กำแพงเพชร: สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร.
- Singer, S.S. (1963). **Industrial Ceramics**. London: Champan and Hall Ltd.,

การพัฒนาระบบตรวจสอบและควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงนอนทหาร
ในช่วงฤดูร้อนโดยใช้โปรโตคอลการสื่อสารไร้สายที่ไม่พึ่งพา Wi-Fi
DEVELOPMENT OF AN ENVIRONMENTAL MONITORING AND
CONTROL SYSTEM FOR MILITARY DORMITORIES IN SUMMER
USING A WI-FI-INDEPENDENT WIRELESS
COMMUNICATION PROTOCOL

สทาร์ชวี โพธิ์ชัยรัตน์¹, วณารัตน์ จุฬพันธ์ทอง², นพดล สีสุข^{2*}

Satarat Pochairat¹, Wanarat Juraphanthong², Noppadon Sisuk^{2*}

¹กองบัญชาการช่วยรบที่ 3 อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

^{1,3rd} Army support command, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: noppadon.s@psru.ac.th

วันที่เข้าระบบ 3 เมษายน 2568

วันที่แก้ไขบทความ 29 กรกฎาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 4 สิงหาคม 2568

บทคัดย่อ

ในช่วงฤดูร้อน สภาพอากาศภายในโรงนอนทหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและประสิทธิภาพการพักผ่อนของกำลังพล บทความนี้นำเสนอระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ออกแบบให้ทำงานได้โดยไม่ต้องพึ่งพาเครือข่าย Wi-Fi เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและเสถียรภาพในการใช้งาน โดยระบบใช้การสื่อสารไร้สายระหว่างอุปกรณ์ ESP32 สำหรับส่งข้อมูลจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นไปยังหน่วยควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ โดยสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ ซึ่งระบบนี้ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งประหยัดพลังงานมากกว่าวิธีดั้งเดิม การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทดสอบประสิทธิภาพของระบบสื่อสาร ซึ่งพบว่าสามารถทำงานได้ต่อเนื่องแม้ในพื้นที่ที่ไม่มี Wi-Fi และการทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ โดยเปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน พบค่าความแม่นยำที่ 98.12% สำหรับอุณหภูมิ และ 97.07% สำหรับความชื้น จากผลการศึกษาระบบนี้มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้กับอาคารประเภทอื่นที่ต้องการระบบควบคุมอัตโนมัติต้นทุนต่ำ ใช้งานง่าย และประหยัดพลังงาน

คำสำคัญ: การควบคุมสภาพแวดล้อม, โปรโตคอลการสื่อสารที่ไม่พึ่ง Wi-Fi, โรงนอนทหาร, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

During the summer, temperatures inside military barracks can rise significantly, affecting both the health and rest efficiency of personnel. This article presents an indoor environmental control system designed to operate without relying on a Wi-Fi network, thereby enhancing flexibility and system stability. The system employs wireless communication between ESP32 devices to transmit data from temperature and humidity sensors to a control unit that manages the operation of a water pump. It responds to environmental changes in real time and displays live data. This system effectively reduces indoor temperatures while consuming less energy than traditional methods. The evaluation consisted of two parts: communication performance testing, which showed that the system operated continuously even in areas without Wi-Fi, and sensor accuracy testing, which compared the results to standard instruments. The system demonstrated an accuracy of 98.12% for temperature and 97.07% for humidity. Based on the findings, this system shows strong potential for application in other types of buildings requiring low-cost, user-friendly, and energy-efficient automatic control solutions.

Keywords: Environmental control, Communication protocols independent of Wi-Fi, Military dormitories, Internet of things

1. บทนำ

เนื่องจากช่วงฤดูร้อนในประเทศไทยตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคมมีอุณหภูมิสูงมากขึ้นทุกปีและประกอบกับเป็นช่วงการฝึกหลักสูตรทหารใหม่ของทหารใหม่ผลัดที่ 1 โดยเป็นช่วงต้นเดือนถึงกลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นการฝึกเพื่อปรับสภาพร่างกายจากพลเรือนสู่การเป็นทหารอาชีพ ดังนั้นการฝึกและการดูแลสุขภาพของทหารใหม่ในช่วงนี้จึงต้องดูแลอย่างใกล้ชิดเป็นพิเศษ ซึ่งอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการฝึกและสุขภาพของทหารใหม่คือความเป็นอยู่ในช่วงพักจากการฝึก ซึ่งภายในอาคารโรงนอนทหารถึงแม้จะถูกออกแบบและมีการจัดวางตู้และเตียงนอนได้อย่างเหมาะสมมีพื้นที่และช่องว่างเพียงพอให้มีอากาศถ่ายเทได้ดี แต่ด้วยสภาพอากาศร้อนก็ยังส่งผลกระทบต่อการนอนหลับของทหารใหม่ โดยผู้บัญชาการทหารบกกรุณามอบหมายให้กรมการทหารช่างเตรียมความพร้อมในการรับทหารใหม่ผลัดที่ 1 โดยมีการปรับปรุงโรงนอนและระบบสุขาภิบาลของหน่วยฝึกทหารใหม่ได้แก่การติดตั้งระบบสปริงเกอร์บนหลังคาอาคารเพื่อระบายความร้อน เพิ่มพัดลมขนาดใหญ่ และติดตั้งมุ้งลวดภายในอาคาร อย่างไรก็ตามสำหรับ



การเปิด-ปิดปั๊มน้ำเพื่อให้สปริงเกอร์ทำงานนั้นในทางปฏิบัติจะเป็นการใช้กำลังพลที่ปฏิบัติหน้าที่รักษาการณ์ประจำห้วงเวลาต่างเป็นผู้เปิดปิดซึ่งจะอาศัยความรู้สึกลงในการตัดสินใจเปิดปิดการทำงาน

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำเทคโนโลยีระบบตรวจวัดและควบคุมการทำงานของสปริงเกอร์แบบอัตโนมัติมาใช้แทนการทำงานของกำลังพล ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา การประยุกต์ใช้ เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ร่วมกับ บอร์ดประมวลผล ESP32 ได้รับความสนใจอย่างมากในงานด้านการตรวจสอบสภาพแวดล้อม ทั้งในพื้นที่พัฒนาแล้วและพื้นที่กำลังพัฒนา โดยระบบเหล่านี้มีจุดเด่นด้านการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ ความประหยัดต้นทุน และความสามารถในการทำงานแบบไร้สายเช่น Alam *et al.* (2025) พัฒนาระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ในพื้นที่กำลังพัฒนา โดยใช้ ESP32 เป็นแกนหลักในการรวบรวมและส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ Satria *et al.* (2025) พัฒนา Weather station แบบต้นทุนต่ำ โดยใช้เซนเซอร์ BMP280 และ DHT11 กับ ESP32 เพื่อวัดอุณหภูมิ ความชื้น และความดัน Lloys *et al.* (2024) เสนอระบบบริหารจัดการทรัพยากรน้ำโดยใช้ ESP32 ร่วมกับ MicroPython เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำอย่างยั่งยืน Muhammad *et al.* (2023) สร้างสถานีวัดอากาศขนาดเล็กโดยใช้ ESP32 ที่สามารถรวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อมได้แบบเรียลไทม์ในระดับท้องถิ่น Megantoro *et al.* (2021) สร้างสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและสภาพอากาศ โดยเก็บข้อมูลเช่น CO₂ CH₄ อุณหภูมิ และความชื้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เชิงสิ่งแวดล้อม Mohanta (2023) ผลงานการแจ้งเตือนผ่านแพลตฟอร์ม IFTTT เมื่อเกิดเหตุการณ์เกินค่ากำหนด เช่น อุณหภูมิสูง โดยส่งข้อมูลผ่าน ESP32 ไปยังแพลตฟอร์ม Paengkaew *et al.* (2023) พัฒนาเครื่องมือแจ้งเตือนสภาพอากาศร้อนจัดโดยใช้ดัชนีความร้อน (Heat Index) สำหรับประเทศไทย ซึ่งมีความสำคัญต่อสุขภาพประชาชน Pashic *et al.* (2020) ศึกษาโหมดการทำงานของ ESP32 ในรูปแบบ Wi-Fi station สำหรับการส่งข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ Wiczak & Szymoniak (2024) ทบทวนระบบควบคุมและตรวจสอบที่ใช้ IoT โดยเน้นการออกแบบระบบที่มีประสิทธิภาพและสามารถปรับใช้กับหลายสาขา Yaacob *et al.* (2025) นำเสนอระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์โดยใช้ ESP32 ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้ในชุมชนหรือพื้นที่ห่างไกล

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาระบบเฝ้าตรวจวัดและควบคุมสภาพแวดล้อมโดยอาศัยระบบ IoT และยังไม่มีการนำเสนอระบบตรวจวัดและควบคุมสภาพแวดล้อมของโรงนอนทหารในช่วงฤดูร้อนด้วยระบบสื่อสารไร้สายที่อิสระจาก Wi-Fi และเพื่อลดภาระของกำลังพลในการเปิด-ปิดระบบสปริงเกอร์ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอระบบควบคุมสภาพแวดล้อมอัตโนมัติแบบไร้สายโดยใช้ ESP32 ซึ่งไม่ต้องพึ่งพา Wi-Fi โดยระบบจะรับข้อมูลจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นเพื่อนำมาควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำที่เชื่อมต่อกับสปริงเกอร์และพัดลมแบบเรียลไทม์

จึงช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดพลังงาน และสามารถทำงานได้ในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านเครือข่าย WiFi

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

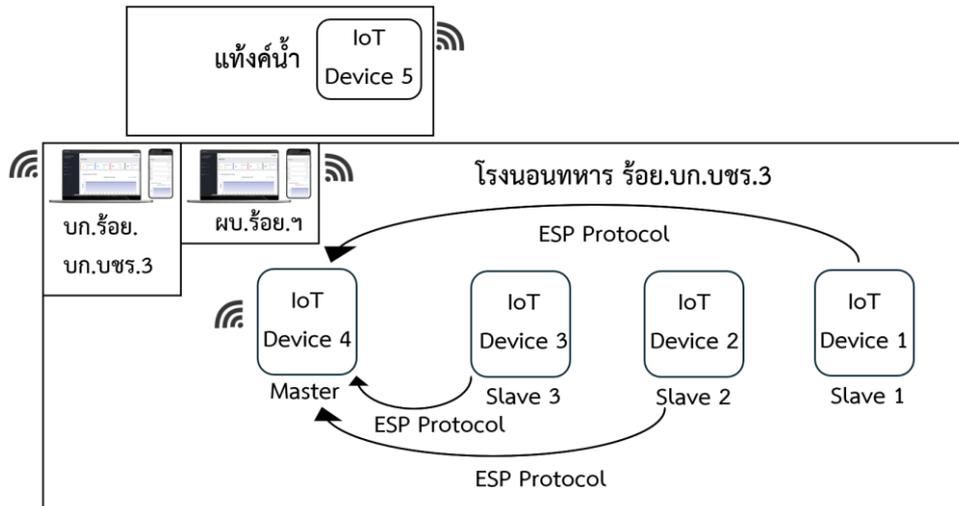
2.1 พัฒนาและออกแบบระบบตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และตรวจจับเปลวไฟ ที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องพึ่งพาเครือข่าย Wi-Fi

2.2 พัฒนาและออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับโรงนอนทหารด้วยระบบอัตโนมัติ และการแสดงข้อมูลผ่าน Web application

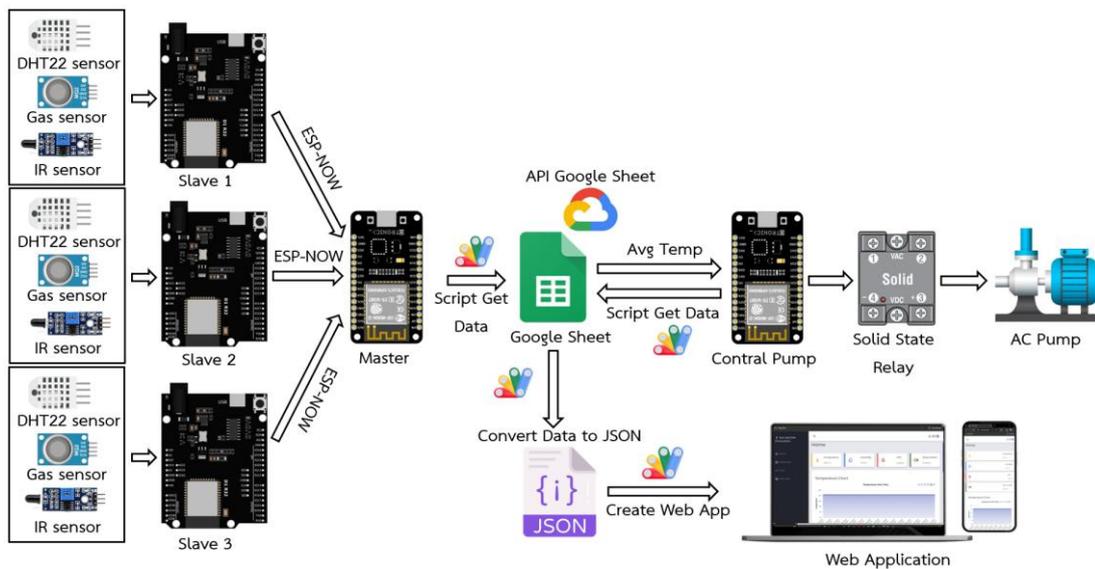
3. วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การออกแบบ พัฒนา และทดสอบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงนอนทหารที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องพึ่งพาเครือข่าย Wi-Fi เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและความเสถียรของระบบ โดยใช้ ESP32 เป็นอุปกรณ์หลักสำหรับการประมวลผลและการสื่อสารไร้สายผ่านโปรโตคอล ESP-NOW ระบบนี้จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลจากเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น และควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำและพัดลมแบบอัตโนมัติเพื่อช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมภาพรวมของระบบระบบตรวจวัดและควบคุมสภาพแวดล้อมของโรงนอนทหารในช่วงฤดูร้อนด้วยระบบสื่อสารไร้สายที่อิสระจาก Wi-Fi แสดงดังภาพที่ 1 และสถาปัตยกรรมของระบบที่นำเสนอแสดงดังภาพที่ 2 โดยการวิจัยนี้ประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังนี้ 1) การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อม 2) การพัฒนา Web application สำหรับการแสดงผลข้อมูล และ 3) การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ

3.1 การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อม ในส่วนนี้ได้ออกแบบโครงสร้างระบบโดยใช้ ESP32 เป็นตัวควบคุมหลักซึ่งใช้โปรโตคอล ESP-NOW ซึ่งเป็นระบบสื่อสารไร้สายที่อิสระจาก Wi-Fi สำหรับการสื่อสารระหว่าง ESP32 แต่ละตัว โดยในแต่ละโหนดจะมีการติดตั้งเซนเซอร์ DHT22 ซึ่งใช้สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลติดตั้งเซนเซอร์ MQ-2 สำหรับตรวจจับก๊าซ และติดตั้งเซนเซอร์ IR-Frame สำหรับตรวจจับเปลวไฟเมื่อมีเหตุการณ์ไฟลุกไหม้ นอกจากนั้นในงานวิจัยยังมีการพัฒนาโมดูลควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำและพัดลมให้ตอบสนองต่อค่าที่ได้รับจากเซนเซอร์แบบเรียลไทม์ ซึ่งระบบจะเปิด-ปิดปั๊มน้ำอัตโนมัติเพื่อลดภาระของเจ้าหน้าที่รักษาการณ์



ภาพที่ 1 ภาพรวมของระบบระบบตรวจวัดและควบคุมสภาพแวดล้อมของโรงนอนทหาร ในช่วงฤดูร้อนด้วยระบบสื่อสารไร้สายที่อิสระจาก Wi-Fi



ภาพที่ 2 สถาปัตยกรรมของระบบที่นำเสนอ

จากภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ในส่วนของโปรโตคอล ESP-NOW ซึ่งเป็นโปรโตคอลการสื่อสารไร้สายแบบใช้พลังงานต่ำกว่าการสื่อสารผ่าน Wi-Fi และมีเวลาหน่วงต่ำซึ่งช่วยให้ ESP32 สามารถส่งข้อมูลถึงกันโดยไม่ต้องใช้ Wi-Fi หรืออินเทอร์เน็ตนอกจากนี้ยังสามารถส่งข้อมูลได้โดยตรงระหว่างอุปกรณ์ โดยไม่ต้องมีเราเตอร์ ในงานวิจัยนี้จะใช้โปรโตคอล ESP-NOW ในโหมด One-Way Communication สำหรับการรับส่งข้อมูลจากโหนดเซนเซอร์ที่มีการติดตั้งจำนวน 3 จุด (Slave) ในโรงนอนซึ่งจะเป็นตัวส่งข้อมูลมายังฝั่งรับข้อมูล (Master) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์ จากนั้นข้อมูลที่

Master จะถูกส่งไปเก็บยังคลาวด์ของ Google sheet ข้อมูลจะถูกส่งไปแสดงผลและแจ้งเตือนบนหน้า Web Application ที่พัฒนาขึ้น และข้อมูลค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นจะถูกส่งไปควบคุมการเปิดปิดปั๊มน้ำที่เชื่อมต่อกับสปริงเกอร์ที่ใช้ลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นของโรงนอนทหาร

3.2 การพัฒนา Web application สำหรับการแสดงผลข้อมูล โดยการพัฒนา Web application ในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในโรงนอนได้แบบเรียลไทม์ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 ออกแบบอินเทอร์เฟซผู้ใช้ซึ่งจะออกแบบหน้าต่างผู้ใช้ (UI) ให้ใช้งานง่าย รองรับ การแสดงผลบนคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์พกพา โดยแบ่งส่วนแสดงผลเป็นกราฟข้อมูลสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแก๊ส การตรวจจับเปลวไฟ และสถานะของปั๊มน้ำ

3.2.2 การเชื่อมต่อ ESP32 กับ Web application โดยใช้ Google apps script และ HTTP requests กระบวนการเริ่มจากการสร้าง Google sheets และเขียน Apps script เพื่อรับค่าพารามิเตอร์ผ่าน URL เมื่อ ESP32 รวบรวมข้อมูลจากเซนเซอร์ ระบบจะส่งค่าผ่าน HTTP GET ไปยัง URL ของ Apps script ข้อมูลที่ได้รับจะถูกบันทึกลงใน Google sheets โดยอัตโนมัติซึ่งจะช่วยให้สามารถเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ โดยไม่ต้องใช้เซิร์ฟเวอร์เพิ่มเติม ซึ่งข้อมูลจะถูกบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลผ่านแพลตฟอร์มของ Google จากนั้นข้อมูลจะถูกนำไปแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์บนหน้า Web application

3.2.3 การออกแบบระบบแจ้งเตือนการเกิดไฟไหม้ โดยจะตั้งค่าการแจ้งเตือนผ่าน Web Application เมื่อเซนเซอร์ตรวจจับว่ามีเปลวไฟเกิดขึ้น

3.3 การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ

3.3.1 การทดสอบการสื่อสารไร้สายโดยทดสอบความสามารถในการส่งข้อมูลของ ESP-NOW ในระยะต่าง ๆ และตรวจสอบความเสถียรของระบบในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้าน Wi-Fi

3.3.2 การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์กับค่าที่ได้จากอุปกรณ์มาตรฐานที่เชื่อถือได้ หลังจากนั้นจะคำนวณ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (% Error) ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างสัมพัทธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริง โดยใช้สูตร

$$\text{Percent Error} = \frac{|\text{Measured Value} - \text{True Value}|}{\text{True Value}} \times 100\%$$

3.3.3 การทดสอบประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิ โดยทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องจำนวน 7 วัน จากนั้นทำการการวิเคราะห์ผลการทำงานของระบบโดยเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ลดลงกับเงื่อนไขสภาพแวดล้อมที่กำหนดไว้

4. ผลการวิจัย

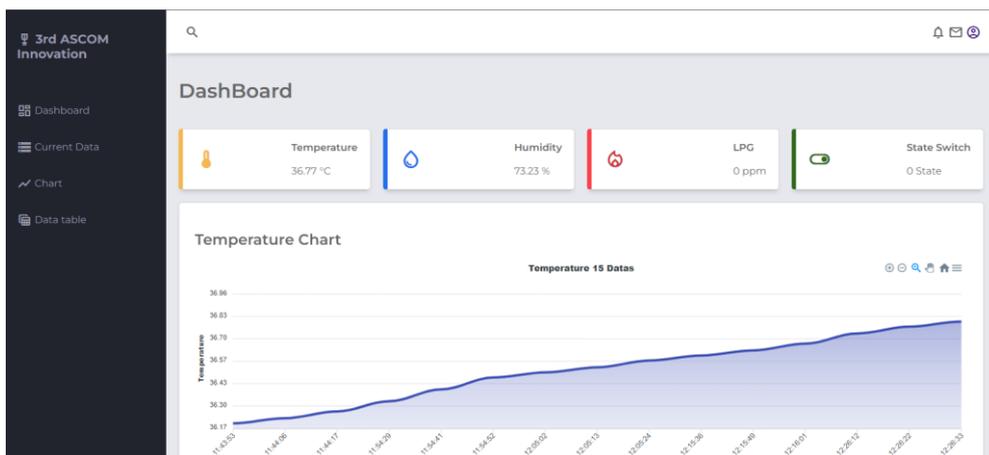
จากการดำเนินงานโดยเริ่มจากการออกแบบระบบตรวจสอบอุณหภูมิ ความชื้น คว้น แก๊ส และควบคุมการทำงานของปั้มน้ำด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติภายในอาคารโรงนอนทหารเพื่อลดอุณหภูมิในช่วงฤดูร้อน ระบบนทำงานโดยให้ ESP32 รับข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ แล้วส่งข้อมูลผ่านESP-NOW ไปยัง ESP32 ฝั่ง Server ซึ่งทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยัง Google sheets ผ่าน Wi-Fi เพื่อบันทึกผล นอกจากนี้ ESP32 ชุดควบคุมปั้มน้ำยังใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจาก Google sheet API เพื่อตรวจสอบเงื่อนไขการทำงานของระบบ โดยสามารถเปิด-ปิดสปริงเกอร์เพื่อลดอุณหภูมิได้แบบอัตโนมัติ โดยระบบยังรองรับการแสดงผลข้อมูลผ่าน Web application ที่พัฒนาโดยใช้ Google apps script และมีระบบแจ้งเตือนผ่าน Line group สำหรับเจ้าหน้าที่รักษาการณ์ ผู้บังคับบัญชา และญาติของทหารใหม่ เพื่อให้สามารถติดตามสภาพแวดล้อมภายในอาคารโรงนอนได้แบบเรียลไทม์ ในส่วนนี้จะนำเสนอผลการพัฒนาระบบ ผลการติดตั้งระบบและผลการใช้งานระบบตรวจสอบอุณหภูมิ ความชื้น คว้น แก๊ส และควบคุมการทำงานของปั้มน้ำด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติภายในอาคารโรงนอนทหารเพื่อลดอุณหภูมิในช่วงฤดูร้อน โดยติดตั้ง ณ อาคารโรงนอนทหาร กองร้อยกองบังคับการ กองบัญชาการช่วยรบที่ 3 โดยผลการติดตั้งระบบแสดงดังภาพที่ 3



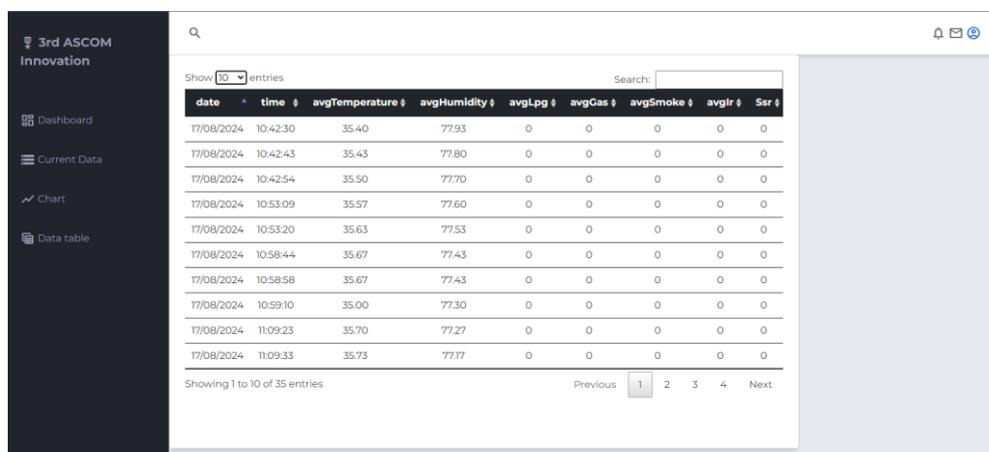
ภาพที่ 3 การติดตั้ง IoT device ของระบบที่นำเสนอ

จากภาพที่ 3 เมื่อ IoT Device ชุดควบคุมการทำงานของปั้มน้ำเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟแล้วจะเชื่อมต่อ Wi-Fi เพื่อเรียกใช้ข้อมูลอุณหภูมิค่าเฉลี่ยของโรงนอนทหารผ่าน Google sheet API เพื่อตรวจสอบเงื่อนไขและสั่งการทำงานของปั้มน้ำ โดยเมื่อมีอุณหภูมิมากกว่า 38 องศาเซลเซียสจะสั่งการให้ปั้มน้ำทำงานเป็นเวลา 5 นาที และปิด 5 นาที เพื่อรอรับค่าอุณหภูมิที่จะทำการวัดใหม่ทุกๆ

10 นาที โดยมีการแสดงผลผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน โดยหน้า Dashboard แสดงรายละเอียดของ อุณหภูมิ ความชื้น ก๊าซ และสถานะของปั้มน้ำ เป็นข้อมูลล่าสุด และกราฟแสดง 15 ค่าล่าสุด ดังแสดง ในภาพที่ 4 และภาพที่ 5 โดยภาพที่ 4 แสดงหน้าแดชบอร์ดหลักของระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมใน อาคารโรงนอนทหาร แสดงค่าพารามิเตอร์สำคัญที่มีผลต่อความสบายและความปลอดภัยของบุคลากร เช่น อุณหภูมิภายในอาคาร (36.77 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ (73.23%) ค่าก๊าซ LPG ที่อาจเป็นอันตราย สถานะของสวิตช์ควบคุมระบบต่าง ๆ นอกจากนี้ ยังมีกราฟเส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ย้อนหลัง 15 จุดข้อมูล เพื่อช่วยให้ผู้ดูแลระบบเห็นแนวโน้มของสภาพอากาศภายในโรงนอนได้อย่าง ชัดเจนและรวดเร็ว และภาพที่ 5 แสดงหน้าตารางแสดงข้อมูลรายละเอียดเชิงลึกของค่าที่วัดได้ในแต่ละ ช่วงเวลา เช่น วันที่ เวลา อุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นเฉลี่ย และค่าก๊าซต่าง ๆ ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละ รอบ ทำให้สามารถตรวจสอบย้อนหลังและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเทคนิคได้ง่ายขึ้น รองรับการแบ่งหน้า (Pagination) เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาข้อมูลในช่วงเวลาที่สนใจ



ภาพที่ 4 หน้า Dashboard แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับอาคารโรงนอนทหาร



date	time	avgTemperature	avgHumidity	avgLpg	avgGas	avgSmoke	avgIrr	Ssr
17/08/2024	10:42:30	35.40	77.93	0	0	0	0	0
17/08/2024	10:42:43	35.43	77.80	0	0	0	0	0
17/08/2024	10:42:54	35.50	77.70	0	0	0	0	0
17/08/2024	10:53:09	35.57	77.60	0	0	0	0	0
17/08/2024	10:53:20	35.63	77.53	0	0	0	0	0
17/08/2024	10:58:44	35.67	77.43	0	0	0	0	0
17/08/2024	10:58:58	35.67	77.43	0	0	0	0	0
17/08/2024	10:59:10	35.00	77.30	0	0	0	0	0
17/08/2024	11:09:23	35.70	77.27	0	0	0	0	0
17/08/2024	11:09:33	35.73	77.17	0	0	0	0	0

ภาพที่ 5 หน้า Dashboard แสดงตารางค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับอาคารโรงนอนทหาร



ในการทดสอบการเก็บสถิติข้อมูลจาก IoT device เข้าสู่ Google sheet จะได้ค่าอุณหภูมิ ภายในอาคารโรงนอนทหาร กองร้อยกองบังคับการ กองบัญชาการช่วยรบที่ 3 โดยเริ่มเก็บข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 3 กันยายน 2567 – 10 กันยายน 2567 ซึ่งข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1 และตารางสอบเทียบ ความแม่นยำของเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นที่ใช้ในงานวิจัยและอุปกรณ์มาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่เก็บตั้งแต่วันที่ 3 กันยายน 2567 – 10 กันยายน 2567

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิเฉลี่ย	ความชื้นเฉลี่ย	ค่าแก๊สเฉลี่ย	ตรวจจับเปลวไฟ
3 กันยายน 2567	34.62	66.88	0	Not Detect
4 กันยายน 2567	33.29	70.57	0	Not Detect
5 กันยายน 2567	33.20	68.49	0	Not Detect
6 กันยายน 2567	33.25	72.86	0	Not Detect
7 กันยายน 2567	33.01	69.75	0	Not Detect
8 กันยายน 2567	32.27	73.37	0	Not Detect
9 กันยายน 2567	32.15	74.67	0	Not Detect
10 กันยายน 2567	32.40	74.08	0	Not Detect
ค่าเฉลี่ย	32.90	71.33	0	

ตารางที่ 2 การสอบเทียบความแม่นยำของเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นที่ใช้ในงานวิจัยและอุปกรณ์มาตรฐาน

จำนวนครั้ง	อุณหภูมิ			ความชื้น		
	ค่าจากเซนเซอร์	ค่ามาตรฐาน	ร้อยละความถูกต้อง	ค่าจากเซนเซอร์	ค่ามาตรฐาน	ร้อยละความถูกต้อง
1	31.3	30.8	98.38	73.3	76	96.45
2	31.1	30.7	98.70	73.7	76	96.97
3	31.4	30.6	97.39	72.8	76.1	95.66
5	31.2	30.6	98.04	73.4	76.1	96.45
6	31.1	30.5	98.03	73.8	76.1	96.98
7	31	30.4	98.03	74	76.2	97.11
8	31	30.4	98.03	74.2	76.4	97.12
9	31	30.3	97.69	74.4	76.5	97.25
10	31	30.3	97.69	74.2	76.7	96.74
ค่าเฉลี่ย			98.12			97.07

จากตารางที่ 2 พบว่าเมื่อทำการสอบเทียบความแม่นยำของเซนเซอร์ที่ใช้งานในระบบที่นำเสนอและค่าจากอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับค่าอุณหภูมิและความชื้นพบว่าให้ค่าความแม่นยำของค่าที่อ่านได้อยู่ที่ร้อยละ 98.12 และ 97.07 ตามลำดับสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการส่งข้อมูลของระบบสื่อสารแบบไม่พึ่ง WiFi โพรโทคอล ESP-NOW สำหรับการสื่อสารของระบบ IoT สำหรับอ่านค่าข้อมูลของเซนเซอร์ภายในโรงนอนทหารจะทำการทดสอบด้วยการส่งข้อมูลของเซนเซอร์ด้วยการเพิ่มระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ส่งข้อมูลและรับข้อพบว่าระบบสามารถสื่อสารได้ระยะทางครอบคลุมระยะห่างระหว่างอุปกรณ์สูงสุดที่สามารถรับส่งข้อมูลโดยไม่ผิดพลาดอยู่ที่ 150 เมตร ซึ่งค่านี้อยู่ในย่านการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ตัวรับและตัวส่งซึ่งอยู่ที่ 220 เมตร ตามคุณสมบัติของอุปกรณ์

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การพัฒนาาระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมและควบคุมปั้มน้ำอัตโนมัติในโรงนอนทหารโดยใช้บอร์ด ESP32 ร่วมกับเซนเซอร์หลายประเภท แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานที่ดี ระบบสื่อสารแบบ ESP-NOW ช่วยให้ส่งข้อมูลได้รวดเร็วและแม่นยำโดยไม่ต้องพึ่งพา Wi-Fi เหมาะกับพื้นที่ที่สัญญาณอินเทอร์เน็ตไม่เสถียร ข้อมูลจากเซนเซอร์ถูกบันทึกลง Google sheets และแสดงผลผ่าน Web application แบบเรียลไทม์ โดยจากการทดสอบพบว่าเซนเซอร์ DHT22 มีความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิ 98.12% และความชื้นสัมพัทธ์ 97.07% ระบบสามารถสื่อสารได้เสถียรที่ระยะ 150 เมตรในพื้นที่โล่ง พร้อมระบบแจ้งเตือนผ่าน Web application นอกจากนี้ระบบควบคุมปั้มน้ำสามารถสั่งเปิด-ปิดสปริงเกอร์อัตโนมัติเมื่ออุณหภูมิเกิน 38°C ซึ่งช่วยลดอุณหภูมิในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังลดภาระเจ้าหน้าที่และส่งเสริมสุขภาวะของผู้พักอาศัย สะท้อนให้เห็นว่าระบบมีความพร้อมใช้งานจริง และสามารถต่อยอดสู่ระบบในบริบทอื่นได้ในอนาคต

6. ข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงานและการทดลองใช้งานระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมและควบคุมปั้มน้ำอัตโนมัติในเบื้องต้น พบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม เพื่อเพิ่มขีดความสามารถและรองรับการใช้งานในบริบทที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น จึงมีข้อเสนอแนะในการพัฒนาระบบเพิ่มเติมดังนี้ ประการแรก คือบูรณาการเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากเซนเซอร์ ช่วยให้ระบบสามารถคาดการณ์แนวโน้มอุณหภูมิได้แม่นยำยิ่งขึ้น ควบคุมได้เหมาะสม และลดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ประการที่สอง พัฒนาแดชบอร์ดให้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มข้อมูลในระยะยาว เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจและการวางแผน โดยเฉพาะในกรณีที่สภาพแวดล้อมมี

ความผันผวน และประการสุดท้ายขยายระบบให้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ IoT อื่น ๆ เช่น เซนเซอร์ควันไฟ หรือเสียง เพื่อเพิ่มความครอบคลุมในการตรวจสอบและรองรับเหตุฉุกเฉินได้ดียิ่งขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองบัญชาการช่วยรบที่ 3 ค่ายสมเด็จพระเอกาทศรถ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และสนับสนุนสิ่งอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการพัฒนาโครงการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- Alam, M., Islam, M.M., Nayan, N.M., & Uddin, J. (2025). An IoT based real-time environmental monitoring system for developing areas. **Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology**, 52(1), 106–121.
- Beni, S., Arum, R.M., Nugroho, R.A., & Putra, R.P. (2025). A development IoT-based real-time weather monitoring system using NodeMCU ESP32 and BMP280 DHT11 sensor. **INFOKUM**, 13(3), 698–710.
- Lloys, M., Guixà, J.L., Dragoste, C., Cots, J., Escobet, T., & Grau, S. (2024). Development of an Integrated System for Efficient Water Resource Management Using ESP32, MicroPython and the IoT. **Engineering Proceedings**, 69(1), 170.
- Muhammad, U., Irvawansyah, & Muhammad, D. (2023). Environmental condition measurement system with a mini weather station using ESP32. **Media Elektrik Journal**, 21(1), 34-43.
- Megantoro, P., Aldhama, S.A., Prihandana, G.S., & Vigneshwaran, P. (2021). IoT-based weather station with air quality measurement using ESP32 for environmental aerial condition study. **International Journal of Electrical and Computer Engineering**, 11(5), 3969-3976.
- Mohanta, G. (2023). Sensor data recording and alerts notification using IFTTT with ESP32. **International Journal of Engineering Research & Technology**, 12(3), 345–350.
- Paengkaew, W., Limsakul, A., Kokkaew, E., Sooktawee, S., Muangnim, P., Naban, O., Aroonchan, N., Patpai, A., Kitpakornsanti, K., & Kammuang, A. (2023). Development of a hot weather warning tool for heat index monitoring in Thailand. **Journal of Public Health and Development**, 21(3), 1–18.



- Pashic, R., Kuzmanov, I., & Atanasovski, K. (2020). ESPRESSIF ESP32 development board in WiFi station communication mode. **International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS)**, 4(1), 1–6.
- Witczak, D., & Szymoniak, S. (2024). Review of monitoring and control systems based on Internet of Things. **Applied Sciences**, 14(19).
- Yaacob, N., Samzulkamal, N. S.A., Abdul Rahman, A.A., Tajudin, N., Yusof, A.L., & Muhamad, W.N. (2025). IoT Water Quality Monitoring System Using ESP32. **Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology**, 65(1), 14–26.



SUPPLY CHAIN OF ORGANIC VEGETABLE GARDEN BUSINESS: CASE STUDY OF RAK KASET SOMDUL COMPANY, LIMITED

Channarong Tantiwattanodom^{1*}, Alongkorn Muangwai², Thanida Khanongnuch²,
Aphiwat Wangwiwat³, Noppadol Amdee¹

¹Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University,
Chombueng, Ratchaburi, Thailand, 70150

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

³Faculty of Humanities and Social Sciences, Muban Chombueng Rajabhat University,
Chombueng, Ratchaburi, Thailand, 70150

*Corresponding author e-mail: cnt.tantiwat@gmail.com

Submitted: 19 July 2025

Revision received: 16 August 2025

Accepted: 18 August 2025

Abstract

This study investigates the supply chain management practices of Rak Kaset Somdul Co., Ltd., a prominent organic vegetable producer in Phitsanulok Province, Thailand. The research employs the Supply Chain Operations Reference (SCOR) model, value chain analysis, and SWOT analysis to evaluate the company's supply chain performance. Rak Kaset Somdul Co., Ltd. operates a smart farming system using closed greenhouse technology and precision irrigation to cultivate 12 varieties of organic vegetables. Data were collected through participatory observations, interviews with key personnel, and analysis of internal documents. The study examines each phase of the supply chain, including seed procurement, soil preparation, planting, harvesting, packaging, and distribution.

The results show that the company maintains an integrated system that incorporates cold chain logistics and online sales platforms to ensure product quality and timely delivery. However, the research identifies several challenges. The company faces production limitations due to reliance on imported seeds, inadequate technological integration in farming processes, and shortages of skilled labor. These constraints lead to higher production costs and reduce supply chain efficiency. The value chain analysis highlights the company's efforts in producing its own organic fertilizers and hormones, alongside marketing through direct-to-consumer sales channels. The SWOT analysis reveals strengths in product diversity and organic



certification, with opportunities in expanding online markets to meet rising consumer demand for chemical-free vegetables. The study recommends that Rak Kaset Somdul Co., Ltd. invest in technological advancements, workforce development, and collaborative partnerships to strengthen supply chain resilience and ensure long-term business sustainability.

Keywords: Organic vegetable farming, Supply chain management, SCOR model, Value chain, SWOT analysis

1. Introduction

Organic vegetable farming is increasingly regarded as a sustainable approach to addressing global concerns over food safety, human health, and environmental preservation. In many developing nations, factors such as rapid urbanization, climate change, and the pressures of globalization have intensified food security challenges - especially in peri-urban areas (Ochoa *et al.*, 2020). Small-scale organic producers often face operational hurdles, including inadequate logistics infrastructure, limited market access, and inadequate technological support. Research in Spain shows that short food supply chains can overcome many of these obstacles by reducing intermediaries, lowering carbon emissions, boosting farmers' incomes, and reinforcing local food-system resilience (Raftowicz, 2024). In 2025, studies in Southern France examined how SFSCs are adapting to inflation and rising production costs by leveraging resilience strategies rooted in producer-consumer embeddedness (Deroche-Leydier, 2025).

In China, optimizing distribution networks for organic produce has become vital to meeting growing urban demand. The logistics model in Zhengzhou City, for instance, demonstrates that streamlined systems reduce costs, minimize waste, and improve delivery timeliness, critical factors for perishable goods (Wang *et al.*, 2021). At a global scale, the cold-chain logistics market is projected to grow from USD 393.2 billion in 2025 to over USD 1.6 trillion by 2035, reflecting the urgent need for infrastructure modernization, sustainable refrigeration, and end-to-end supply chain visibility (Future Market Insight, 2025). These insights directly inform the case of Rak Kaset Somdul Co., Ltd. in Phitsanulok Province, Thailand. By developing an integrated supply chain that

combines cold-chain logistics, digital monitoring, and direct-to-consumer channels, the company can enhance operational efficiency, reduce losses, and expand its market presence.

Despite the benefits of organic farming, producers in developing nations, including Lebanon, often face high production costs, certification expenses, and marketing difficulties (Abebe *et al.*, 2022). To overcome these barriers, alternative models such as agro-tourism and participatory guarantee systems have been proposed to reduce costs and improve profitability.

2. Research Objectives

2.1 To analyze the supply chain management of Rak Kaset Somdul Co., Ltd., identifying strengths, weaknesses, and opportunities for improvement in the production and distribution of organic vegetables.

2.2 To evaluate operational performance across all stages, from input procurement to final delivery, using the SCOR model, value chain analysis, and SWOT analysis.

2.3 To examine the impact of production costs, particularly those arising from the reliance on imported seeds, as well as technological, logistical, and human resource constraints that affect efficiency, increase expenses, and reduce supply chain resilience.

2.4 To propose strategic recommendations aimed at improving productivity, lowering costs, diversifying seed sourcing, and expanding market reach to ensure the company's long-term sustainability and competitiveness.

3. Literature Review

Supply Chain Management (SCM) is integral to the success of organic vegetable production and distribution, especially in developing countries. The SCM process encompasses the management of all operations involved in the production, transportation, storage, and delivery of organic vegetables to the market. According to Haddas *et al.* (2018), farmers who can directly sell to consumers capture higher profit margins than those relying on intermediaries. The success of SCM in organic agriculture



involves not only efficient logistics and transportation but also minimizing post-harvest losses and managing risks associated with perishable goods. The development of cooperative logistics networks and cold-chain infrastructure is recommended to enhance distribution efficiency (Wang *et al.*, 2021). An effective supply chain integrates farmers, suppliers, distributors, retailers, and consumers to ensure the delivery of high-quality, organic produce while minimizing costs and environmental impact.

The Supply Chain Operations Reference (SCOR) Model provides a framework for analyzing and improving the supply chain in the organic vegetable sector. The SCOR model categorizes operations into five key processes: Plan, Source, Make, Deliver, and Return. For example, Wang *et al.* (2021) highlighted the importance of location optimization for distribution centers to reduce delivery time and costs, a critical factor in managing perishable products like organic vegetables. Efficient supply chain planning ensures timely procurement of organic seeds, soil management, production scheduling, and seamless product delivery to consumers. Integrating digital tools such as Geographic Information Systems (GIS) and e-commerce platforms can further streamline the SCOR processes and enhance real-time decision-making.

The value chain concept, as introduced by Porter (1985), is fundamental for understanding how organic vegetable businesses can create value at every stage of production and marketing. Haddas *et al.* (2018) emphasized that by processing vegetables into chips or sauces, farmers can increase the added value and capture higher profit margins. Ochoa *et al.* (2020) noted that short food supply chains (SFSCs) contribute to local economic development by reducing intermediaries and enhancing producer-consumer relationships. Developing innovative marketing strategies, including agro-tourism and farm-to-table experiences, further enhances the value proposition of organic vegetables. The framework of value chain can be explained as shown in Figure 3.

A SWOT analysis provides a strategic tool for assessing the internal and external factors affecting the organic vegetable business. However, weaknesses include high production costs and dependency on imported seeds. Opportunities lie in the growing market demand for organic produce and the potential for agro-tourism integration (Abebe *et al.*, 2022). Threats include market competition, supply chain disruptions, and



regulatory hurdles. Implementing Participatory Guarantee Systems (PGS) can alleviate certification costs and increase market accessibility (Abebe *et al.*, 2022).

Rak Kaset Somdul Co., Ltd., established in 2021, is a leading organic vegetable farm in Phitsanulok Province, Thailand. The company operates a smart farm using closed greenhouse systems and advanced irrigation technologies. It grows 12 types of organic vegetables and serves as a learning center for farmers and stakeholders. According to the literature, smallholder farmers in developing countries face challenges such as high certification costs, market access issues, and logistical limitations (Abebe *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2021). Rak Kaset Somdul addresses these challenges by adopting innovative farming techniques and exploring new market channels. Collaborating with universities and government agencies for seed sourcing and technical support, the company aims to expand its production capacity and become a regional leader in organic vegetable farming.

4. Methodology

This study adopted a qualitative case study approach focusing on Rak Kaset Somdul Co., Ltd., an organic vegetable farming business located in Phitsanulok Province, Thailand. The research process began with a comprehensive review of related documents and theories concerning organic vegetable production, supply chain management, value chain analysis, and SWOT analysis. Primary data were collected through participatory observations and in-depth interviews with the company's management team, employees, and relevant stakeholders in the supply chain. The researcher engaged directly with the farm operations to observe processes from soil preparation, seedling cultivation, transplanting, care, harvesting, packaging, and delivery. Additionally, the researcher collected data on marketing practices, customer interactions, and logistical operations. Secondary data were gathered from internal company records, industry reports, and previously published studies to support the analysis. This mixed-method data collection provided an in-depth understanding of the company's supply chain activities from upstream input procurement to downstream customer delivery.

To structure the supply chain analysis, the study employed the Supply Chain Operations Reference (SCOR) model as the primary framework. This model was applied at four levels as follows:

1. At SCOR Level 1, the research identified the company's key processes, including planning, sourcing, making, delivering, and handling product returns. The study focused on analyzing the production materials used, such as seeds imported from New Zealand, locally sourced clay and loam soil, organic fertilizers, and self-made fermented water for plant care.

2. At Level 2, the study assessed the core processes, particularly supply chain planning and production (sP1 and sM2), alongside supporting processes like inventory management (EP1) and production efficiency assessment (EM1). The research team observed gaps in employee skill levels, inefficiencies in production planning, and a lack of systematic warehouse management. To address these issues, solutions such as workforce training, expansion of online sales channels, and investment in cold-chain logistics were proposed.

3. At Levels 3 and 4, detailed workflows were mapped, including delivery route optimization, order processing, and customer service management, to ensure consistency in operations and minimize costs.

Furthermore, the study incorporated a value chain analysis and SWOT framework to holistically assess the business operations of Rak Kaset Somdul Co., Ltd. The value chain analysis emphasized activities that add value to the products, such as advanced greenhouse farming techniques, strict organic standards, and direct-to-consumer sales strategies. Supporting activities included human resource management, technological upgrades like online sales platforms, and infrastructure improvements. The SWOT analysis identified strengths such as product diversity and organic certifications, while noting weaknesses in technological capabilities and market expansion. Opportunities included increasing demand for organic produce, especially during seasonal events like the vegetarian festival. Threats primarily involved pandemic-related market disruptions and logistical challenges. By combining SCOR, value chain, and SWOT analysis, the study provided a comprehensive methodology to evaluate and propose

improvements for the organic vegetable supply chain, aiming to enhance operational efficiency and business competitiveness.

5. Research Results

The results can be separated into 4 parts; supply chain management analysis, SCOR model analysis, value chain analysis, and SWOT analysis of Organic Vegetable Cultivation, as follows:

5.1 Supply Chain Management of Organic Vegetable Cultivation

Rak Kaset Somdul Co., Ltd., implements a comprehensive supply chain management system for organic vegetable production. The process starts with upstream operations, where the company procures materials such as 12 varieties of organic seeds imported from New Zealand, fertile loam and clay soil, organic fertilizers, rice husks, and fermented water that is produced in-house. These inputs are selected to meet high organic standards, ensuring that the farming process is environmentally friendly and chemical-free. As shown in Figure 1 to Figure 5, the company prepares high-quality seeds, fertile soil, organic fertilizers, and natural plant supplements that enhance crop yield and resistance to pests.



Figure 1 Organic vegetable seeds



Figure 2 Loam and clay soil



Figure 3 Organic fertilizer



Figure 4 Rice husks for soil mixing



Figure 5 Fermented water or natural hormones

The organic vegetable production process involves several stages: soil preparation, seedling development, transplanting, plant care, and harvesting. Soil is prepared by mixing equal parts of loam soil, clay, rice husks, and organic fertilizer to ensure adequate aeration and nutrient supply (Figure 6). Seedlings are cultivated by soaking seeds overnight, then planting them in seed trays for 10 days before transferring them to the main plots (Figures 7 and 8). Once the seedlings have matured, they are transplanted into the greenhouse soil beds (Figure 9). Daily care involves watering in the morning and evening and spraying natural plant hormones as needed (Figure 10). After 30 days, mature vegetables are harvested, quality-checked, and packed for sale (Figure 11).



Figure 6 Soil preparation process



Figure 7 Seed soaking preparation



Figure 8 Nursery planting of seedlings



Figure 9 Transplanting seedlings into the greenhouse



Figure 10 Watering and spraying natural hormones



Figure 11 Harvesting and quality selection

Rak Kaset Somdul Co., Ltd.'s supply chain is divided into three levels: upstream, middle, and downstream. The upstream activities include the cultivation of organic vegetables in company-owned greenhouses using selected seeds and natural materials (Figure 12). In the middle level, the company handles production activities such as fertilizer preparation, daily plant care, harvesting, and primary packaging. Vegetables are then sorted and packed according to customer specifications. Cold storage is used to preserve freshness before distribution. For the downstream level, the company delivers products directly to various customers, including restaurants such as Saradeede and SALADD, middlemen, and companies like Prima Green Co., Ltd. and Urban Farming Co., Ltd. There are also online sales and delivery options for retail consumers.

In addition to identifying upstream, midstream, and downstream activities, the revised description specifies the duration of each stage. In the upstream process, soil preparation typically requires 3–4 days, followed by seedling development over 10–12 days before transplanting. The midstream phase, which includes plant care, daily watering, and pest control, lasts approximately 25–30 days until harvest. Harvesting, sorting, and primary packaging take 1–2 days, after which the downstream phase, distribution via refrigerated trucks or direct-to-consumer channels, takes 1 day for local deliveries and 2–3 days for longer-distance orders.

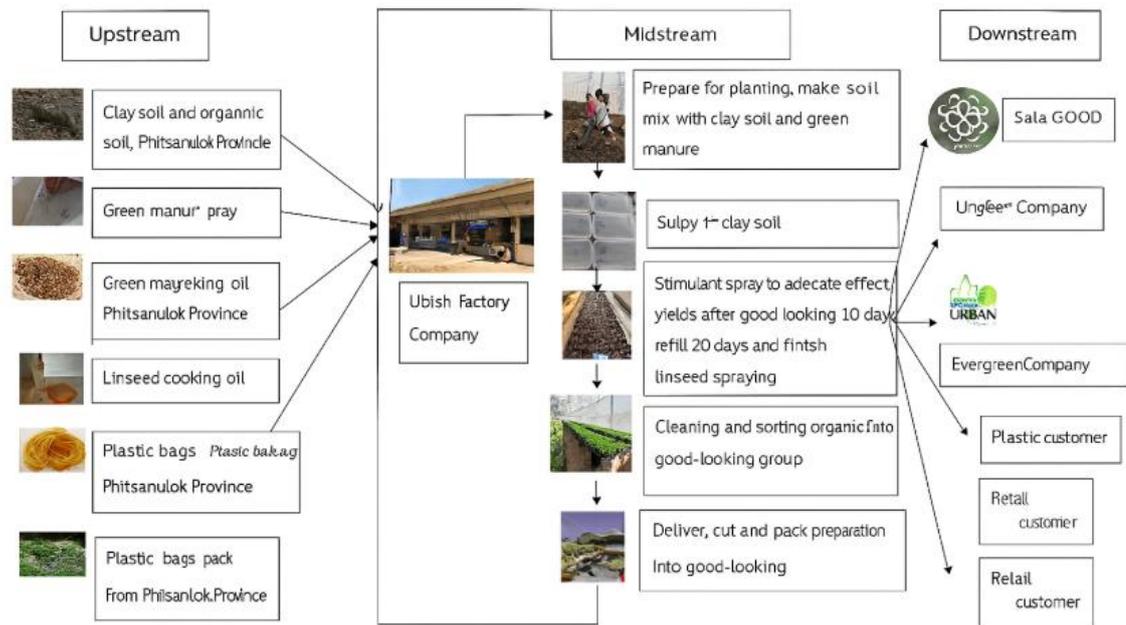


Figure 12 Supply chain management of the organic vegetable cultivation group

The company maintains flexible customer arrangements without formal contracts, relying on agreements for order volumes and delivery schedules. If the products fail to meet the quality standards, they are returned with deductions from supplier payments. This quality management system ensures that only high-standard organic vegetables reach consumers. Middlemen and restaurants plan their purchases daily, assessing the quality on delivery. If the products are not satisfactory, they are returned immediately. This system enhances transparency and maintains the integrity of the supply chain from farm to table, supporting Rak Kaset Somdul Co., Ltd.'s reputation for delivering safe, high-quality organic produce.

5.2 SCOR Model Analysis of Organic Vegetable Cultivation

Rak Kaset Somdul Co., Ltd. adopts the Supply Chain Operations Reference (SCOR) model to analyze and improve its organic vegetable supply chain. At SCOR Level 1, the company manages core supply chain components: Source, Make, Deliver, Plan, and Return. In sourcing, the company procures organic seeds, fertile clay and loam soil, organic fertilizer, rice husks, and self-produced fermented water to ensure quality and sustainability. Seeds are imported from New Zealand, but future plans include transitioning to locally sourced seeds from Maejo University to reduce costs.

The production process involves soil preparation, seedling development, transplanting, plant care, and harvesting. Vegetables are harvested, sorted, and packaged into various sizes for retail and wholesale customers. Deliveries are performed using refrigerated trucks to maintain freshness. Returns are minimized as quality control checks are conducted before delivery, and agreements with buyers ensure product acceptance in advance.

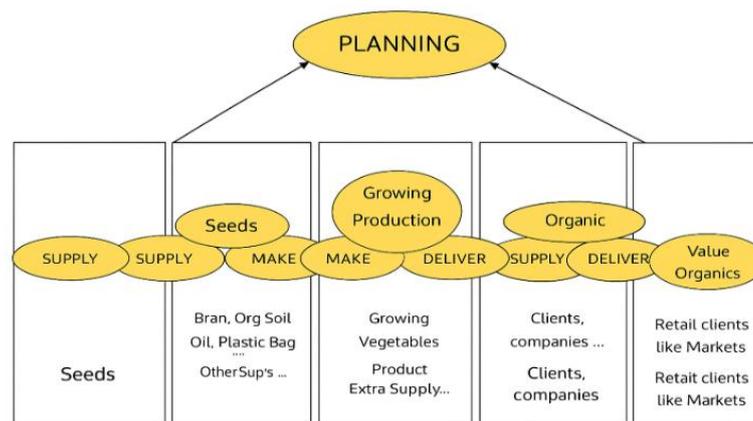


Figure 13 SCOR Level 1 of the Organic Vegetable Cultivation Group

At SCOR Level 2, the company identifies specific processes that require enhancement. These include core processes such as supply chain planning (sP1) and production for order fulfillment (sM2). Supporting processes needing improvement are warehouse management planning (EP1) and production efficiency assessment (EM1). For example, the COVID-19 pandemic led to a decline in customer demand, underscoring the need to expand online sales channels. Additionally, labor shortages have affected production capacity, making workforce training and skill development crucial. Warehouse management issues related to overstocking have also been identified, which limit space for new raw materials. These findings are summarized in Figure 14 and Table 1.

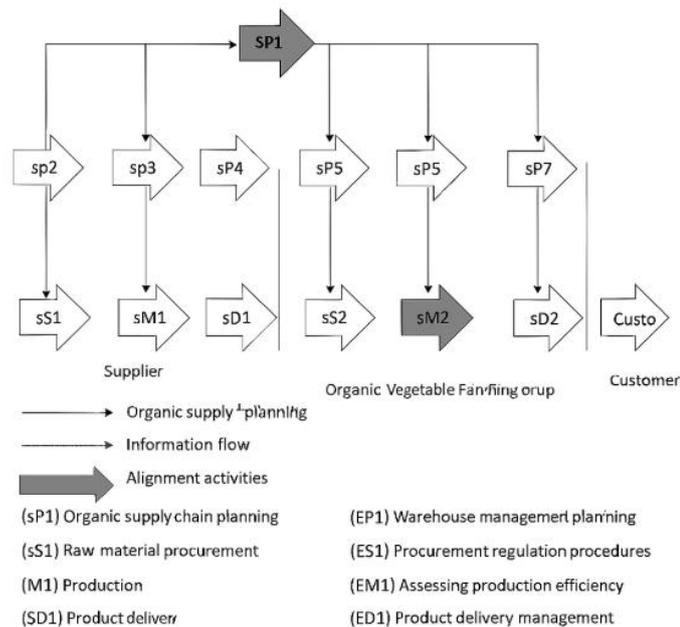


Figure 14 SCOR Level 2: Guidelines for Development
in the Organic Vegetable Cultivation Group

Figure 14 illustrates the SCOR Level 2 framework as applied to Rak Kaset Somdul Co., Ltd., focusing on both core and supporting processes that require improvement. The sequential and interconnected processes involved in the organic vegetable supply chain, starting from suppliers and moving through the Organic Vegetable Farming Group to the end customer. The figure illustrates three key types of flow: solid arrows represent the main organic supply chain planning path, dashed arrows indicate the flow of information between activities, and double-lined arrows denote alignment activities designed to synchronize operations. These flows provide a clear representation of how planning drives procurement, production, and delivery stages across different entities in the supply chain.

Each process in the diagram is coded and categorized according to SCOR standards. For instance, (SP1) represents Organic Supply Chain Planning, which drives downstream activities. Supplier-related processes include (sS1) Raw Material Procurement, (sM1) Production, and (sD1) Product Delivery to the farming group. Within the Organic Vegetable Farming Group, core processes such as (sS2) Raw Material Procurement, (sM2) Production, and (sD2) Product Delivery are supported by planning

adjustments (sP5) to ensure schedule alignment. Supporting processes, (EP1) Warehouse Management Planning, (ES1) Procurement Regulation Procedures, (EM1) Assessing Production Efficiency, and (ED1) Product Delivery Management, provide the operational backbone necessary for efficiency and compliance.

Visual cues in the diagram further enhance interpretation. Dark grey arrows highlight priority areas for improvement, such as sP1 (planning) and sM2 (production), while white arrows indicate standard ongoing processes. Circular icons symbolize continuous operations like monitoring and quality checks, whereas square blocks indicate decision points that require managerial input. Arrow direction indicates workflow sequence, with solid lines for mandatory steps and dashed lines for conditional flows. Color coding distinguishes between core SCOR processes (green), supporting processes (blue), and recommended improvement activities (yellow). Together, these symbols, flows, and process codes give a structured visual summary of both the existing operations and targeted enhancements in the organic vegetable supply chain.

Table 1 Analysis of Operational Issues of the Organic Vegetable Farming Group

Process	Problem	Solution
Organic Supply Chain Planning (SP1)	Low customer demand due to the COVID-19 pandemic.	Expand online sales channels.
Production for Order Fulfillment (sM2)	Labor shortage affecting production capacity.	Provide training and upskill workers.
Warehouse Management Planning (EP1)	Overstocking causes insufficient space for raw materials.	Improve inventory inspections and management.
Production Efficiency Assessment (EM1)	Inability to assess production capacity leads to resource waste.	Train staff in capacity assessment and efficiency improvements.

SCOR Level 3 focuses on detailing internal and inter-organizational processes based on insights from Levels 1 and 2. Each process is outlined with specific components, data inputs and outputs, and performance metrics. Key performance

indicators include reliability (improving lead time adherence), responsiveness (ensuring stable production cycles), flexibility (reducing daily schedule changes), and cost management (optimizing production budgets). Rak Kaset Somdul Co., Ltd. faces challenges such as undefined roles, dependence on top management for decision-making, and reliance on untrained local labor. Addressing these issues is crucial to ensuring risk management and sustainable business operations.

At SCOR Level 4, the company implements detailed operational plans in line with the SCOR framework. As illustrated in Figure 15, the steps for delivery begin with collecting production data and receiving orders, followed by inventory checks and production planning. Next, the company determines transportation routes, collects products from the warehouse, assembles orders, checks for accuracy, verifies customer locations, processes invoices, and completes delivery. This systematic workflow ensures efficiency, reduces errors, and maintains consistency in delivering high-quality organic produce to consumers.

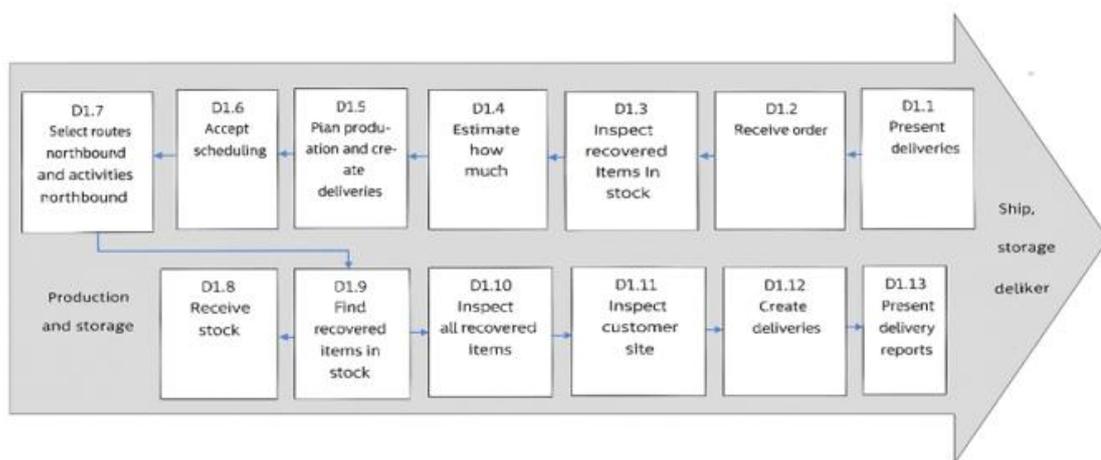


Figure 15 Example of SCOR Operation at Level 4

5.3 Value Chain Analysis of Organic Vegetable Cultivation

The value chain analysis of Rak Kaset Somdul Co., Ltd. reveals strategic activities that add value from input procurement to delivery, while also identifying opportunities for profitability improvement.

Main activities include sourcing high-quality seeds (currently imported but with plans to localize), soil preparation, greenhouse cultivation, and careful post-

harvest handling. Supporting activities include in-house production of fermented water and natural hormones, use of smartphone-based environmental monitoring, and digital record-keeping for sales and inventory.

To enhance profitability, the following strategies are recommended:

1. Reduce reliance on imported seeds by partnering with local universities and seed producers to lower procurement costs.
2. Increase labor productivity via workforce training and introducing mechanized planting and harvesting tools.
3. Expand premium direct-to-consumer sales, leveraging online platforms for higher-margin transactions.
4. Develop value-added products, such as organic vegetable chips, ready-to-cook kits, and sauces, to diversify revenue streams.
5. Optimize cold chain logistics to reduce spoilage, extend shelf life, and expand market reach.

These targeted measures directly address current cost drivers and capacity limitations, aligning with market opportunities shown in Figure 16.

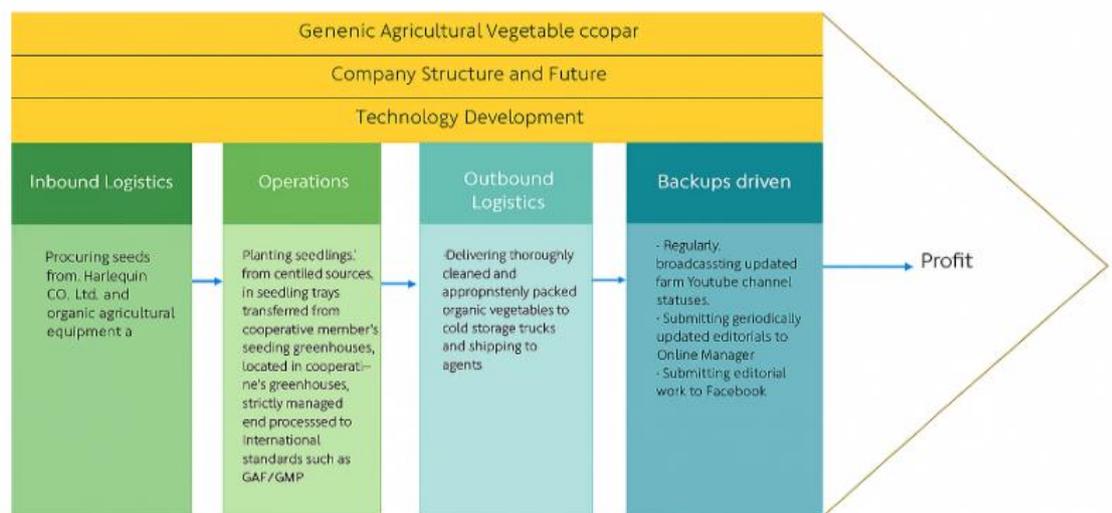


Figure 16 Value Chain of Organic Vegetable Cultivation

According to the figure above, supporting activities are essential to sustaining the farm's operations. The company produces its own fermented water and natural

hormones, helping to lower costs and reduce reliance on external suppliers. Nonetheless, challenges persist, particularly in labor management and technological adoption. High costs of mechanized tools mean the farm continues to depend heavily on manual labor for planting and harvesting, increasing labor expenses. A shortage of skilled workers further limits efficiency, with many lacking specialized expertise in organic farming. To address these issues, the company has adopted technology upgrades such as smartphone applications for environmental monitoring in nurseries and digital record-keeping for sales and purchases. Despite these advancements, the high cost of organic pest control products remains a significant burden on the value chain's cost structure.

5.4 SWOT Analysis of Organic Vegetable Cultivation

The SWOT analysis of Rak Kaset Somdul Co., Ltd. provides strategic insights into the strengths, weaknesses, opportunities, and threats facing the organic vegetable farming business. The internal strengths include the management team's over two years of experience in organic farming and the farm's ability to produce 12 different varieties of organic vegetables. Additionally, the company has developed online sales channels and achieved certification for both national organic standards and Organic Thailand standards, ensuring product quality and building consumer trust. These factors enhance the farm's competitive edge and expand its market presence as shown in Table 2.

Table 2 SWOT Analysis of Organic Vegetable Cultivation

Factors	Helpful	Harmful
Internal	Strengths (S): - 2+ years of management experience - 12 vegetable varieties - Online sales channels - Certified organic production - Organic Thailand certification	Weaknesses (W): - Lack of advanced technology - Limited manpower - Limited online marketing skills



External	Opportunities (O): - Growing market demand - High demand during vegetarian festivals - Preference for clean, chemical-free vegetables	Threats (T): - COVID-19 impacts reducing demand - Inability to expand offline channels
-----------------	---	---

However, the company also faces significant internal weaknesses. There is a lack of advanced farming technology, which increases the cost of production, particularly in the procurement of raw materials. Limited manpower leads to production delays, and there is a gap in online marketing expertise that hampers the ability to reach broader markets. On the external side, the growing market demand for organic vegetables presents an opportunity, especially during the vegetarian festival when consumption spikes. Health-conscious consumers increasingly prefer clean, chemical-free vegetables, allowing the company to expand its market reach.

Nonetheless, external threats remain a challenge. The COVID-19 pandemic has reduced market demand and hindered the expansion of offline sales channels due to restrictions on in-person interactions. As a result, surplus organic vegetables have accumulated in the warehouse. To mitigate these risks, the company has shifted its focus to online sales and plans to reopen physical stores in the future as conditions improve.

6. Conclusion and Discussion

This study analyzed the supply chain management of Rak Kaset Somdul Co., Ltd. using the SCOR model, value chain analysis, and SWOT framework to assess operational efficiency and identify improvement opportunities. For Objective 1, the findings revealed a well-defined supply chain comprising upstream, midstream, and downstream processes, supported by both core and enabling activities. Regarding Objective 2, high production costs were found to be heavily influenced by the reliance on imported seeds, which increased procurement expenses and introduced supply vulnerability. Objective 3 identified key constraints, including limited adoption of



advanced technology, labor shortages, and insufficient expertise in organic farming practices. These constraints hindered productivity and increased operational costs. Cold chain logistics emerged as a pivotal factor in achieving Objective 4. In the SCOR analysis, it enhanced delivery performance and preserved product quality. In the value chain, it contributed to freshness, reduced waste, and supported premium pricing strategies. The SWOT analysis positioned cold chain logistics as both a strength and an opportunity, critical for market expansion. To address current challenges, it is recommended that the company strengthen cold chain infrastructure, invest in precision agriculture technology, and enhance workforce training to boost efficiency, reduce costs, and secure sustainable growth.

The study contributes to the broader discourse on supply chain management in organic agriculture. Rak Kaset Somdul Co., Ltd.'s model illustrates how a controlled greenhouse environment combined with innovative logistics can support food safety and sustainability goals. Moving forward, the company should invest in digital solutions such as e-commerce platforms and smart farming technologies to streamline operations and reduce labor dependency. The COVID-19 pandemic has reinforced the need for flexible distribution strategies, highlighting the importance of online and direct-to-consumer sales. Further research should compare supply chains across various regions to develop guidelines for improving efficiency and resilience in the organic vegetable sector.

7. Acknowledgement

The researchers would like to express sincere gratitude to Rak Kaset Somdul Co., Ltd., particularly the owner and dedicated staff, for their invaluable cooperation and support throughout this study. Their willingness to share detailed operational information, industry insights, and first-hand experiences greatly enriched the quality and depth of the research. The openness and generosity with which they provided data and clarified processes were essential in enabling a comprehensive understanding of the company's supply chain management and operational challenges. This study would not have been possible without their kind assistance and commitment to



contributing to the advancement of knowledge in sustainable agriculture and organic vegetable production.

8. Reference

- Abebe, G.K., Traboulsi, A., & Aoun, M. (2022). **Performance of organic farming in developing countries: A case of organic tomato value chain in Lebanon.** *Renewable Agriculture and Food Systems*, 37(2), 217–226. Doi: <https://doi.org/10.1017/S1742170521000157>
- Deroche-Leydier, Y. (2025). Enhancing the resilience of short food supply chains: toward a relational understanding of the resilience process in the face of inflation. *Agricultural and Food Economics*, 13, Article 31. Doi: <https://doi.org/10.1186/s40100-025-00368-4>
- Future Market Insights. (2025). **Cold chain logistics market outlook (2025–2035).** Retrieved from <https://www.futuremarketinsights.com/reports/cold-chain-logistics-market>
- Haddas, H., Anindita, R., & Syafrial, S. (2018). **Value chains analysis of organic vegetables: A case study at Mulyo Santoso Farmer Group in Malang City.** *Agricultural Socio-Economics Journal*, 18(3), 100–107. Doi: <https://doi.org/10.21776/ub.agrise.2018.018.3.1>
- Ochoa, C.Y., Matarán, A.R., Olmo, R.M., Figueroa, Á.M., & Rodríguez, A.T. (2020). **Peri-urban organic agriculture and short food supply chains as drivers for strengthening city/region food systems—Two case studies in Andalucía, Spain.** *Land*, 9(6), 177. Doi: <https://doi.org/10.3390/land9060177>
- Patel, R., & Huang, L. (2024). Cold chain logistics innovations for perishable goods in sustainable agriculture. *International Journal of Logistics Management*, 35(1), 56–74.
- Paulraj, C. (2004). **Supply chain management: Principles and applications.** New York: McGraw-Hill.
- Porter, M. E. (1985). **Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance.** Free Press.



- Raftowicz, M. (2024). Short food supply chains as a response to challenges in sustainable agriculture: Evidence from Spain. *Sustainability*, 16(7), 2910. Doi: <https://doi.org/10.3390/su16072910>
- Supply Chain Council. (2008). **Supply chain operations reference model (SCOR)**. Retrieved from <https://archive.lib.cmu.ac.th>
- United Nations Development Programme (UNDP). (2021). **Value chain development of fruits and vegetables project in Nepal: Mid-term evaluation report**. Retrieved from <https://www.np.undp.org/content/nepal/en/home.html>
- Wang, A., Wang, Y., & Chen, Q. (2021). **Analyzing network model for organic vegetable distribution: A case study of Zhengzhou City**. *Mobile Information Systems*, 2021.



A STUDY IN IMPROVEMENT OF PRODUCTION PROCESS OF THE COMMUNITY ENTERPRISES IN PHAI CHUMPHON SUBDISTRICT, MUEANG DISTRICT, PHITSANULOK PROVINCE

Payungsak Klasantia^{1*}, Alongkorn Muangwai², Thanida Khanongnuch²,
Noppadol Amdee¹

¹Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University,
Chombueng, Ratchaburi, Thailand, 70150

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: payungsakklasantia@gmail.com

Submitted: 20 July 2025

Revision received: 15 August 2025

Accepted: 17 August 2025

Abstract

This research aims to improve the production process of the Housewives Farmers' Group of Ban Phai Chumphon, a community enterprise located in Mueang District, Phitsanulok Province, Thailand. The enterprise, established in 2015, processes various agricultural products into value-added goods such as butter-baked bananas, taro, pumpkin, and sweet potatoes, as well as salted and seasoned snacks. However, the group has faced significant challenges related to high production costs, inefficient workflows, and excessive material handling. The study applies principles of production process improvement, focusing on factory layout analysis, material flow theory, and transportation distance reduction to identify and address these issues. Data were collected through observations of current production processes, including workstations, raw material transport, and process flows. Tools such as flow process charts and systematic layout planning (SLP) were used to map activities and evaluate the spatial arrangement of the factory. The research also examined previous studies on similar production optimization techniques to guide the design of a new, more efficient factory layout.

The findings indicate that the original production system involved long material transport distances and unstructured workflow sequences, leading to increased time consumption and potential safety concerns. By redesigning the layout and optimizing the arrangement of production stations, the researchers achieved a substantial reduction in both material transport distance and time. Specifically, the average



transport distance per production cycle decreased from 38.54 meters to 27.94 meters, representing a 27.5% reduction. Additionally, the average time for material transportation was reduced from 93.22 minutes to 92.62 minutes per cycle, amounting to a 0.6% decrease. Although the time reduction appears modest, the significant decrease in distance contributes to lower labor fatigue, enhanced safety, and improved production efficiency. The study recommends further research incorporating tools such as Value Stream Mapping (VSM) to achieve even greater operational efficiency. The proposed layout design serves as a model for other community enterprises seeking to optimize their production processes, minimize costs, and promote sustainable local economic development.

Keywords: Community enterprise, Production process improvement, Factory layout

1. Introduction

Agriculture has historically been the foundation of Thailand's economic, cultural, and social identity, deeply embedded in the traditions and lifestyles of its people. For generations, the majority of Thai citizens have engaged in farming, relying on agricultural wisdom and self-sufficiency to sustain their livelihoods. This traditional approach integrated inherited skills and localized knowledge, creating resilient communities capable of adapting to environmental and social changes. However, in recent decades, Thailand's agricultural landscape has undergone a significant transformation, shifting from subsistence-based farming toward industrialized and production-oriented systems. Agriculture is now primarily focused on commercial output for competitive markets rather than household consumption, prompting rural communities to reorient their practices to sustain livelihoods in an era of globalization. One prominent strategy for strengthening rural resilience is the development of community enterprises, in which groups of local farmers pool resources, share knowledge, and work toward common goals. These enterprises optimize local resource use, foster collective well-being, and enhance economic independence, with housewives' community enterprise groups serving as a notable example of empowering women to add value to agricultural products.



In response to these socio-economic changes, the Thai government has established clear policies aimed at empowering rural populations, enhancing self-reliance, and improving the quality of life. These initiatives emphasize promoting occupational groups that can strengthen production capacity and market competitiveness. Government strategies typically follow two approaches: first, supporting individuals to produce goods for direct sale as a means of household income generation, and second, encouraging the formation of cooperative production groups functioning as community-based businesses. Such community enterprises contribute to grassroots development by fostering self-sufficiency, economic stability, and social cohesion. They operate on principles of utilizing local wisdom, managing natural resources sustainably, and creating income-generating opportunities that reflect the community's cultural identity. Collaboration with public and private stakeholders ensures these enterprises align with local lifestyles while integrating modern business practices. However, achieving sustainable outcomes remains challenging due to constraints in resources, market access, and operational efficiency. Overcoming these limitations requires strategic planning, effective resource management, and adaptive practices that balance economic growth with cultural preservation.

A case in point is the “Housewives Farmers’ Group of Ban Phai Chumphon,” founded in 2015 in Phitsanulok Province, which processes agricultural products into a variety of ‘One Tambon One Product’ (OTOP) items. The group’s portfolio includes butter-baked bananas, taro, pumpkin, and sweet potatoes, alongside salted fried variants and specialty products such as paprika bananas. Through collective operations, the group has aimed to improve members’ economic standing and create stable market channels. Nevertheless, high production costs have emerged as a persistent challenge, driven by expenses for raw materials, labor, and indirect overheads such as machinery maintenance and utilities. Outdated production methods and suboptimal workflows contribute to inefficiencies, limiting profitability and threatening long-term sustainability. Recognizing these issues, the group has identified cost reduction and process optimization as critical objectives. Streamlined operations, improved resource

allocation, and adoption of effective management practices are essential for enhancing production efficiency and ensuring the enterprise's resilience.

Research in related contexts offers practical solutions to these operational challenges. Mankongtham (2017) demonstrated that applying master production scheduling systems and advanced layout design techniques—such as Simulated Annealing and Robust Layout—can substantially reduce material handling distances and operational losses, even under variable demand conditions. Thongrak et al. (2017) illustrated how participatory action research and process standardization could transform household-level sweet potato production into a sustainable commercial-scale industry, yielding increased income and market presence over two years. Likewise, Bang-on (2016) emphasized the utility of Systematic Layout Planning (SLP) in designing efficient factory layouts by optimizing the arrangement of people, equipment, and materials to minimize waste and idle time. Coupled with Allan H. Mogensen's flow process analysis principles, these methods facilitate the identification of bottlenecks, the elimination of redundant steps, and the creation of smooth production flows. For the Housewives Farmers' Group of Ban Phai Chumphon, adopting such approaches could significantly improve material flow, reduce unnecessary handling, and lower both direct and indirect costs. These targeted interventions not only enhance productivity but also contribute to the broader goal of sustaining community enterprises as engines of rural economic development.

2. Research objectives

2.1 To improve the production process of the community enterprises in Phai Chumphon subdistrict, Mueang District, Phitsanulok Province

2.2 To make the guidelines for the community enterprises in Phai Chumphon subdistrict, Mueang District, Phitsanulok Province

3. Methodology

This research methodology section outlines the principles, theories, and systematic approaches used in conducting the study. The focus is on improving the



production process of a community enterprise that processes agricultural products. The methodology is divided into two main parts: data collection and data analysis.

3.1 Data Collection

The first phase involves an in-depth study of the products and production processes of the community enterprise. The enterprise produces nine main products: butter-baked bananas, butter-baked taro, butter-baked pumpkin, butter-baked sweet potatoes, salted fried bananas, salted fried taro sticks, salted fried sweet potatoes, baked sour bananas, and paprika bananas. Each product's production process is documented using process flow charts and flow diagrams to clearly illustrate the steps involved.

In addition, a detailed study of the workstation setup is conducted. This includes collecting data on the current factory layout, the arrangement of stations, the exact location of each workstation, and the distances between them. Understanding the spatial arrangement is essential for identifying inefficiencies in production flow.

Furthermore, data on the time and distance required for raw material transportation are collected. This involves measuring the time taken for each transportation activity and recording the corresponding distances. The results are systematically documented in the production process flow chart to ensure accuracy and traceability.

Lastly, the research team studies the overall material flow throughout the production process. This involves mapping each step, respectively, and evaluating the material movement to identify redundant or inefficient paths. The flow of materials is visualized through a comprehensive flow process diagram.

3.2 Data Analysis

The enterprise operates on a Make-to-Order (MTO) system, meaning products are manufactured based on specific customer orders. The analysis begins by examining the current workstation arrangement. Each workstation is equipped with specific tools and equipment, but discontinuity in the production sequence has been observed, resulting in process delays.

Next, the transport distance and time data are analyzed. Since the workstations are located in separate areas, the production process involves excessive

material movement, leading to longer transportation times and inefficiencies. Some routes are inconsistent and not aligned with the overall workflow, causing further delays.

Flow data is then analyzed by combining the transport time and distance information. This enables the researchers to design a new, more efficient production process. Finally, the researchers propose a new factory layout based on systematic layout planning principles. This redesigned layout aims to minimize material movement, optimize workflow, and improve space utilization, ultimately enhancing overall production efficiency.

4. Research results

Based on the study of factory layout theories and the analysis of the current operational data from the case study community enterprise, the production flow was examined using the prototype diagram presented in Figure 1 and the workstation distance diagram depicted in Figure 2. The findings indicate that the excessive distances between certain workstations are a significant factor contributing to reduced efficiency in material transfer within the production process.

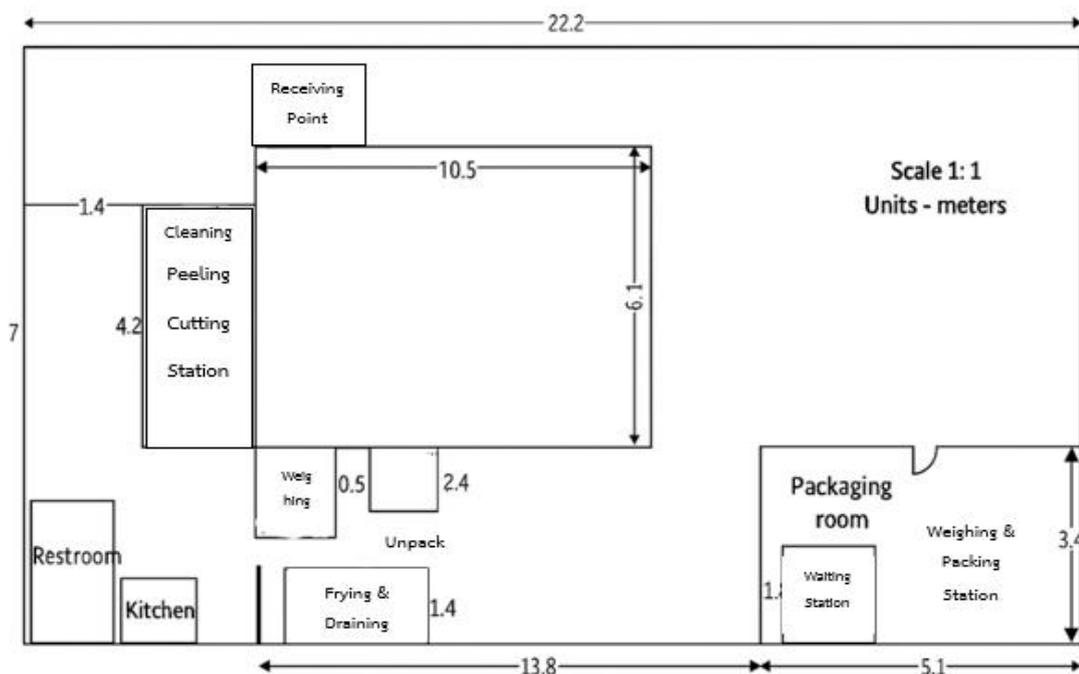


Figure 1 Current station layout

Figure 1 illustrates the current layout of the factory's production stations for the community enterprise. This diagram displays the sequence of workstations used in the production process of agricultural products, particularly focusing on processed banana products. The layout shows how workstations are scattered and not optimally arranged, resulting in long material transport distances between steps. The diagram highlights inefficiencies in the flow of materials, which lead to increased production time and unnecessary labor movement. The discontinuity between stations creates bottlenecks and affects the smoothness of operations. The current station arrangement does not fully support lean production principles or efficient resource utilization, prompting the need for improvement. This figure serves as the baseline for analyzing how workstation design impacts production flow, material handling time, and operational costs.

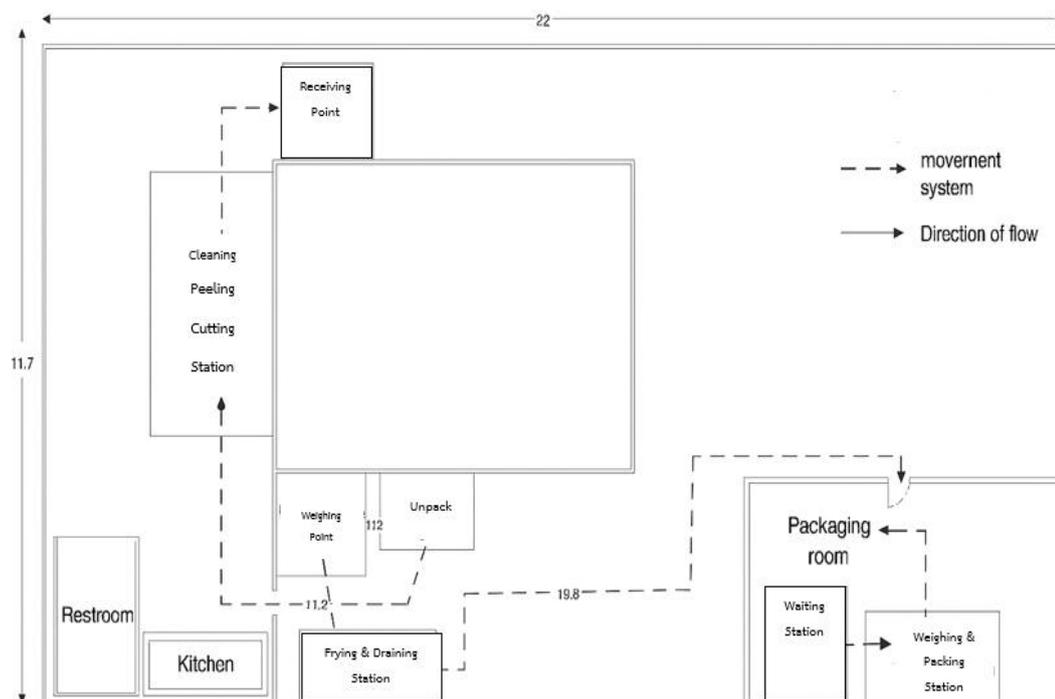


Figure 2 Current stations with details and distances

Figure 2 presents a detailed diagram of the current production stations, including specific measurements of the distances between each station. The figure provides a

clearer view of how raw materials move from one processing point to another, covering steps such as peeling, slicing, frying, and packaging. Each transportation step is marked with the exact distance in meters, allowing for precise calculation of total material movement throughout the factory. The figure reveals that some stations are located far apart, resulting in redundant transportation paths and inefficiencies in production flow. This arrangement increases production time and contributes to higher labor costs due to excessive material handling. Figure 2 also helps identify critical points where workflow interruptions occur, providing essential data for redesigning the factory layout. By documenting these details, the figure sets the foundation for proposing a new, optimized layout to minimize distances and improve production efficiency.

A revised diagram is designed, and taking into account the following guidelines:

1. Adjust and reduce the flow distance to the minimum, which will reduce the transfer time.
2. Adjust and reduce unproductive and inefficient work.
3. Adjust and reduce unusable space.

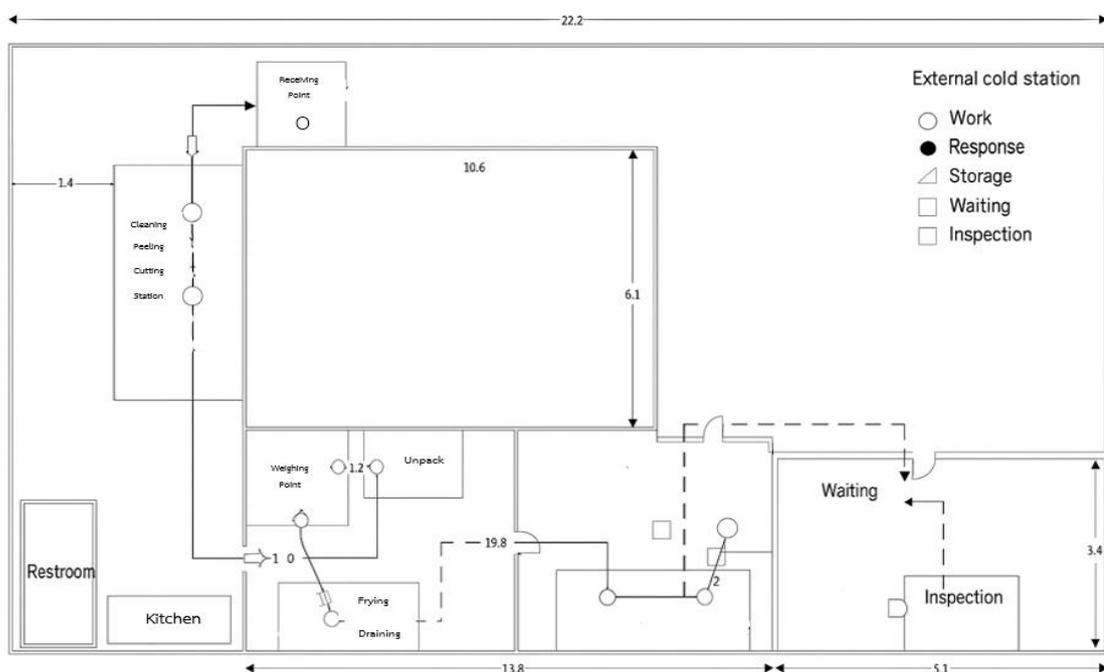


Figure 3 Improved factory layout

Figure 3 shows the revised factory diagram. Examples of some products are shown in Table 1. Flow chart of the production process of dried bananas before improvement and comparison of the material transfer distance of the prototype factory diagram with the revised factory diagram. Table 2 shows a comparison of the average material transfer time of all products of the prototype factory diagram before and after improvement. From the improved prototype factory layout shown in Figure 3, it can be concluded that the improved factory layout can reduce the distance used for material transfer from 38.54 meters per cycle to 27.94 meters per cycle, a distance reduction of 27.5%, and the time used for material transfer from 93.22 minutes per cycle to 92.62 minutes per cycle, or a reduction of 0.6%, respectively.

Table 1 presents the production process flow chart for butter-baked bananas before the process improvement. It details each production step, the associated distance of material movement (in meters), and the time taken (in minutes) for each task. The chart begins with purchasing raw materials from local farmers and proceeds through various stages such as transporting raw bananas to the peeling station, peeling, rinsing, slicing, weighing, seasoning with butter and sugar, frying, draining, packaging, and final inspection. In total, the production process consists of 9 working steps, 7 transportation steps, 1 waiting step, 3 inspection steps, and 1 storage step. The total distance for material movement within the original layout is 38.4 meters, while the total time required for the process is 91.56 minutes per production cycle. This table emphasizes key inefficiencies in the original production system, such as excessive distances between workstations, repetitive material handling, and time-consuming transportation. The detailed breakdown allows for a clear understanding of where time and space are consumed, providing a basis for identifying areas to improve production efficiency. This assessment is critical for community enterprises aiming to reduce operational costs, streamline workflows, and enhance productivity. The collected data in Table 1 was used as a benchmark to design a new factory layout that minimizes distance, reduces material handling time, and eliminates unnecessary processes.



Table 1 Production process flow chart

Production process flow chart				
<input checked="" type="checkbox"/> Previous method	<input type="checkbox"/> Work by men	Summary of results		
<input type="checkbox"/> Proposed method	<input checked="" type="checkbox"/> Raw material	Before	After	Difference
Name/ Production process with the previous method	Working <input type="checkbox"/>	9	-	-
Products: Banana chips with butter	Transportation ⇄	7	-	-
Chart number	Waiting <input type="checkbox"/>	1	-	-
Page 1	Inspecting <input type="checkbox"/>	3	-	-
Recorded by: Niratcha	Storage ▽	1	-	-
October 5 th , 2024	Distance (meter)	38.4	-	-

Working process	Path	Distance (m.)	Time (min.)	Remark
1. Buy raw materials from farmers				
2. Transport raw bananas to peeling point		3.9	0.25	
3. Peeling the bananas			15.76	
4. Soak in water and rinse them			2.75	
5. Slice the bananas into slices			11.56	
6. Take banana sheets to stripping point		11	0.45	
7. Peel off the banana slices			8.83	
8. Take to the weighing point		1.2	0.15	
9. Take the banana slices and weigh			1.20	
10. Toss banana slices with sugar/butter.			4.38	
11. Take to the frying point		1.3	0.17	
12. Fry the bananas golden brown crispy			12.50	
13. Scoop and put on an absorbent sheet			1.88	
14. Move to the draining point			0.13	
15. Drain the oil and let the temperature drop			10.50	
16. Take the fried to the packaging room		19.8	0.93	
17. Weighing			10.90	
18. Bagging			7.90	
19. Move to the cargo hold		1.2	0.13	
20. Perform packaging inspection			1.19	
21. Place at the finished product storage point awaiting delivery				
Total	9 7 1 3 1	38.4	91.56	

Table 2 Comparison of average total material handling distance and time between the current prototype plant layout and the modified plant layout

Product	Time (min.)		Percentage of time decreased	Distance (m.)		Percentage of distance reduced
	Current	Modified		Current	Modified	
Baked Banana with Butter	91.56	91.05	0.07	38.4	27.8	27.60
Baked Taro with Butter	91.76	91.32	0.48	38.4	27.8	27.60
Baked Pumpkin with Butter	91.72	91.20	0.57	38.4	27.8	27.60
Baked Sweet Potato	91.78	91.15	0.69	38.4	27.8	27.60
Salted Banana	97.31	96.74	0.59	38.4	27.8	27.60
Salted Taro	97.31	96.83	0.49	38.4	27.8	27.60
Salted Sweet Potato	97.55	96.82	0.75	38.4	27.8	27.60
Baked sour Banana	87.22	86.78	0.50	38.4	27.8	27.60
Paprika Banana	92.81	91.69	1.21	39.7	29.1	26.70
Average	93.22	92.62	0.59	38.54	27.94	27.50

Table 2 presents a comparative analysis of the average total material handling distance and time between the current (prototype) factory layout and the newly modified factory layout for nine different agricultural processed products produced by the community enterprise. The primary focus of this comparison is to evaluate how the new layout design impacts production efficiency by reducing both the distance of raw material transportation and the time required for the production process.

For each product, including butter-baked bananas, butter-baked taro, butter-baked pumpkin, butter-baked sweet potatoes, salted bananas, salted taro sticks, salted sweet potatoes, broken sour bananas, and paprika bananas, both time (in minutes) and distance (in meters) are recorded before and after the improvement. The results show a consistent reduction in material transfer distance across all products. For most products, the distance was reduced from 38.4 meters in the current layout to 27.8 meters in the modified layout, resulting in a 27.6% reduction. The paprika banana process saw a slightly different reduction, from 39.7 meters to 29.1 meters, achieving a 26.7% decrease.



In terms of time, the improvements also show positive results, although the reductions are less significant than the distance reductions. For butter-baked bananas, the average time decreased from 91.56 minutes to 91.05 minutes, which is a 0.07% reduction. Similar slight reductions in time were observed across all products, with the largest time decrease recorded for paprika bananas at 1.21%, reducing the process time from 92.81 minutes to 91.69 minutes.

On average, the time taken per production cycle dropped from 93.22 minutes to 92.62 minutes, a 0.59% reduction. The average distance of material handling per cycle was reduced from 38.54 meters to 27.94 meters, achieving a 27.5% decrease in transport distance.

These results demonstrate that the new factory layout significantly reduces the physical distance of material movement, making the production process more efficient. While the time savings are relatively modest, the substantial reduction in transportation distance leads to lower labor fatigue, reduced production costs, and improved workflow continuity, aligning with the study's objective of increasing production efficiency.

5. Conclusion and Recommendations

5.1 Conclusion

The findings from the data collection conducted in the case study of the community enterprise revealed significant inefficiencies in the transportation of raw materials. Specifically, the material handling routes were unnecessarily long, and the transportation paths were reversed, leading to operational difficulties and potential safety concerns. In response to these issues, the research team conducted an extensive review of relevant literature, including theories on production process layout, material .

The primary objective of the research was to enhance the production process by designing and implementing an improved factory layout that minimizes transportation distances and streamlines material flow. As a result of the proposed improvements, the average distance for raw material transportation was reduced from 38.54 meters per production cycle to 27.94 meters, representing a 27.5% decrease.



Additionally, the time required for material transportation decreased from 93.22 minutes per cycle to 92.62 m..

5.2 Recommendations

Based on the results of this study, the following recommendations are proposed to further improve production efficiency and support the implementation of the new layout:

5.2.1 This research presents a conceptual framework for the systematic design and selection of an optimized production process layout. However, the proposed layout has not yet been implemented in a real-world setting. Therefore, it is recommended that additional data collection be conducted before practical application. This should include an assessment of cost implications, raw material flow logistics, and projections of potential productivity gains to ensure the feasibility and effectiveness of the proposed system.

5.2.2 The present study did not incorporate the application of Value Stream Mapping (VSM) in the analysis of production flow data. For future research, it is recommended that VSM and other lean management tools be employed to provide a more comprehensive evaluation of production efficiency. Future studies should ensure that their findings align with the research objectives, particularly in terms of reducing waste, improving workflow, and enhancing overall operational performance.

5.2.3 To enhance the robustness of the production process improvement, it is recommended that multiple alternative factory layout designs be developed and evaluated by Systematic Layout Planning (SLP) principles. Each alternative should be compared using clear performance metrics such as total material handling distance, production time, space utilization, safety considerations, and estimated implementation costs. This comparative approach will allow the selection of the most effective and feasible layout, ensuring that the improvement process is comprehensive and optimally aligned with both operational efficiency and the community enterprise's long-term sustainability goals.



6. Acknowledgement

The researchers wish to express their sincere gratitude to the Housewives Farmers' Group of Ban Phai Chumphon, a community enterprise in Mueang District, Phitsanulok Province, Thailand, for their invaluable cooperation and support throughout this study. Their generosity in sharing experiences, operational insights, and local wisdom greatly enriched the research and contributed significantly to the understanding of community enterprise development and sustainable agricultural practices.

7. Reference

- Bang-on, B. (2016). **Improving the maintenance plant layout: A case study of a service company in the petroleum exploration and production business.** (Master's thesis). Prince of Songkhla University, Songkhla.
- Mankongtham, C. (2017). Study of the master production scheduling system and inventory management of a snack box packaging factory. **Bangkokthonburi University Academic Journal**, 6(1), 16–22.
- Office of the Secretariat of the Community Enterprise Promotion Committee. (2020). **Interesting community enterprises.** Retrieved from:
<http://www.sceb.doae.go.th/Ssceb2.htm>
- Thongrak, P., Wongsangtham, W., Phacharoen, S., Butsai, C., & Thaisom, R. (2017). Development of sweet potato cracker production process towards commercial production with community participation. **Area Based Development Research Journal**, 9(4), 242–256. Retrieved from:
<https://so01.tcithaijo.org/index.php/abcjournal/article/view/106371>



SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN THE GREEN TEA INDUSTRY OF HANGZHOU, CHINA

Jie Wang*, Chertchai Thurapaeng, Tongtang Tonglim, Noppadol Amdee

Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University,
Muban Chombueng, Ratchaburi, Thailand, 70150

*Corresponding author e-mail: chengsi.w30@gmail.com

Submitted: 29 July 2025

Revision received: 18 August 2025

Accepted: 19 August 2025

Abstract

The research aims to study the supply chain management and analyze the specific activities in the supply chain management of the green tea industry in Hangzhou, China. A mixed-method approach was adopted, incorporating quantitative surveys of 370 respondents from 15 green tea enterprises and qualitative interviews with 15 senior professionals in Hangzhou's green tea export industry.

Quantitative analysis revealed that 24.2% of respondents identified logistics and supply chain management as key areas requiring innovation, second only to quality control. The overall mean score of 4.07 demonstrates a strong consensus on the importance of nine SCM factors, particularly sourcing strategies, logistics efficiency, and inventory management, which are deemed essential for enhancing competitiveness, sustainability, and export performance in Hangzhou's green tea industry. Qualitative findings reinforced these results, with managers emphasizing the strategic role of long-term supplier relationships, real-time logistics optimization, and predictive inventory control systems. Moreover, it can be illustrated that these key SCM activities occur across interconnected stages, from sourcing to consumer delivery. The integration of sourcing strategy, logistics efficiency, and inventory management enables green tea enterprises to remain competitive, responsive, and sustainable in a global marketplace. Hangzhou's green tea sector can enhance traceability, product quality, and export performance. This research contributes valuable insights for policymakers, producers, and exporters seeking to optimize SCM in China's evolving tea industry.

Keywords: Green tea industry, Supply chain management, Logistics efficiency

1. Introduction

China holds the position of the world's largest producer and exporter of tea, with green tea accounting for a commanding 83% of total tea exports in 2018, as shown in Figure 1.

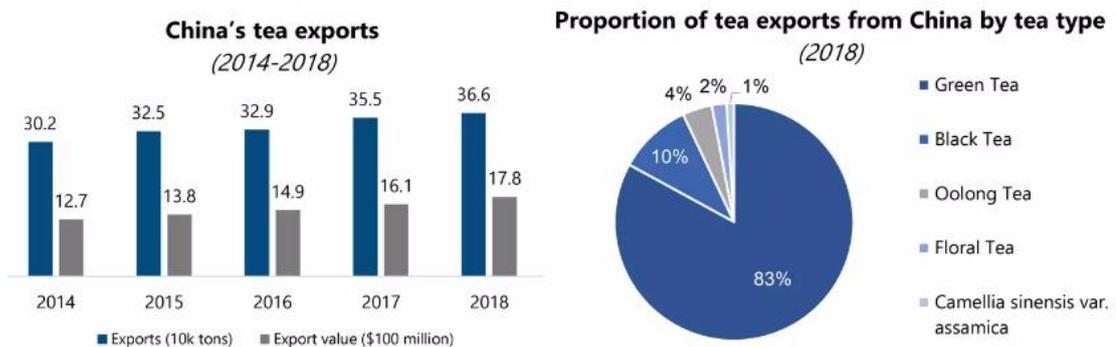


Figure 1 China's tea exports and their proportion by tea type

(Daxue Consulting, 2020)

Figure 1 presents two key insights into China's tea export performance. The bar chart on the left illustrates a steady increase in both export volume and value from 2014 to 2018, with exports rising from 30.2 to 36.6 thousand tons and the export value increasing from \$1.27 billion to \$1.78 billion. The pie chart on the right illustrates the dominance of green tea in China's tea exports, accounting for 83% in 2018, followed by black tea (10%), oolong tea (4%), floral tea (2%), and Camellia sinensis var. assamica (1%). These trends have indicated that the green tea product plays a crucial role in China's export strategy (Daxue Consulting, 2020).

Zhejiang Province, particularly Hangzhou, has long led the green tea industry through innovation, quality control, and integrated supply chain systems. As consumer preferences shift toward high-quality, traceable, and sustainably produced teas, the role of supply chain management (SCM) becomes increasingly central to maintaining and expanding China's export leadership. SCM enables coordination across producers, processors, logistics providers, and exporters to ensure consistent product standards, timely delivery, and compliance with international trade regulations. Moreover, this recent study conducted in Hangzhou identified SCM as a key determinant of export

success (Chen, 2024). This finding underscores the significance of logistics efficiency, inventory transparency, and supplier collaboration in enhancing the competitiveness of tea exports. Hangzhou's ability to integrate blockchain traceability and digital inventory tracking has significantly enhanced its supply chain responsiveness and reliability in global markets.

This article applies the SCM-focused framework developed from the Hangzhou study to the green tea sector in Hangzhou. Hangzhou is a secondary tea-producing region, but it holds untapped potential. Although Hangzhou is considered a secondary tea-producing region compared with China's leading provinces such as Yunnan, Fujian, and Anhui, it holds significant untapped potential due to its established infrastructure, innovation capacity, and integration into Zhejiang's export networks (Shi *et al.*, 2019). Unlike Kenya's tea subsector, which relies heavily on smallholder cooperatives for bulk black tea exports (FAO, 2022), or Sri Lanka's Ceylon tea industry, renowned for its global branding and auction-based distribution system (Khuyen & Yen, 2017), Hangzhou positions itself by leveraging digital traceability, blockchain, and real-time logistics platforms (KPMG, 2023). This trajectory reflects the application of Dynamic Capabilities theory, where firms reconfigure resources to sustain competitiveness in global markets, and User-driven Innovation, which emphasizes aligning tea production with consumer demands for quality, transparency, and sustainability. Moreover, digital transformation, through AI-powered logistics, predictive inventory management, and e-commerce, has accelerated industry development, enabling Hangzhou's enterprises to differentiate themselves from traditional export models. These developments underscore Hangzhou's strategic role in bridging China's traditional tea heritage with modern supply chain innovations. By adopting best practices in SCM, Hangzhou can improve its export readiness, operational efficiency, and alignment with global market expectations.

2. Research Objectives

2.1 To examine the overall supply chain management (SCM) of the green tea industry in Hangzhou, China

2.2 To analyze specific activities within the supply chain, including procurement practices, processing operations, distribution channels, and technology adoption for the success factors and operational challenges of the green tea industry in Hangzhou, China

2.3 To propose policy and managerial recommendations for enhancing the efficiency, resilience, and innovation capacity of Hangzhou's green tea supply chain in alignment with global market expectations

3. Literature Review

This section explores existing literature on China's green tea industry into 2 sections: the tea industry and green tea processing in China, and the supply chain management of Chinese green tea.

3.1 Tea Industry and Green Tea Processing in China

The global tea market has seen consistent growth, with its value projected to reach USD 160 billion by 2028, up from approximately USD 122.2 billion in 2022 (Ridder, 2023). Tea, as a beverage, has been deeply rooted in human culture for centuries, with its earliest documented use traced back to the third century in China. Initially consumed for medicinal purposes, tea gained recreational popularity during the Tang Dynasty and gradually spread across Asia. By the sixteenth century, it had reached Europe through trade routes, further expanding its cultural and commercial significance. Today, China stands as the world's largest tea producer and consumer, contributing roughly 45% of global production in 2022. Other major tea-producing countries include India and Kenya. According to the Food and Agriculture Organization (FAO, 2022), China produced approximately 2.4 million metric tons of tea in 2021, followed by India (900,000 metric tons) and Kenya (305,000 metric tons).

Tea cultivation in China dates back to the Han Dynasty (206 BC – 220 AD), and today, the crop is cultivated in almost every province, with key production regions in Zhejiang, Anhui, Fujian, Yunnan, and Sichuan (Shi *et al.*, 2019). The increasing demand for specialty teas and the rise in disposable income, especially in developing countries, have contributed significantly to the growth of the global tea market (Wu & Chen, 2022). Chinese tea is broadly classified into six basic types based on color and



processing technology: green, white, yellow, red (black), oolong, and dark. Remarkably, all six tea types can potentially be derived from the same tea plant, depending on the plucking method and processing technique employed. For instance, some teas are made exclusively from young buds, while others use larger leaves or full shoots. Each tea variety demands precise harvesting instructions, which are often dictated by technologists to ensure optimal quality (Chazhidao, 2023).

Green tea, accounting for over 60% of China's total tea production, is the most popular and widely exported tea type (Ridder, 2023). It is processed from unoxidized tea leaves, which preserve its distinctive green hue and delicate, fresh flavor. The key to green tea processing lies in the rapid deactivation of enzymes through heat, a step known as "kill-green," which halts oxidation and fermentation. The typical production process involves several stages: picking young and tender leaves, withering to reduce moisture, fixing via heating to preserve the green color, rolling to break down cell structures, drying to remove residual moisture, sorting for size and quality, and finally packing for distribution (Li & Zhang, 2019). Beyond its use as a traditional beverage, green tea is increasingly utilized in functional foods, beverages, cosmetics, and wellness products, highlighting the need to understand its entire production line. As green tea continues to gain international popularity, optimizing its processing and supply chain remains essential to meeting diverse consumer demands and quality standards worldwide.

3.2 Supply Chain Management of Chinese Green Tea

The supply chain of Chinese green tea is a complex and highly coordinated system involving multiple stakeholders, including tea farmers, processors, wholesalers, retailers, and end consumers. In key tea-producing provinces such as Zhejiang, Anhui, Sichuan, Fujian, and Yunnan, cultivation begins with farmers who carefully tend their tea gardens, ensuring optimal sunlight, water, and soil nutrition. The harvesting stage follows, where young and tender leaves are meticulously hand-picked using specialized tools to preserve their structure and maximize their flavor and aroma potential. These leaves then move to processing centers where they undergo a series of essential steps: withering, fixing to halt oxidation, rolling, drying, sorting, and finally, packing. Once processed, green tea enters the wholesale phase, where wholesalers

consolidate batches from different sources and facilitate large-scale distribution. From there, the tea is distributed to a variety of retail outlets, including traditional tea houses, supermarkets, convenience stores, and increasingly, online platforms. Each link in this supply chain plays a critical role in maintaining product quality and traceability. The flow of this green tea supply chain is illustrated in Figure 2 (Wright, 2016).

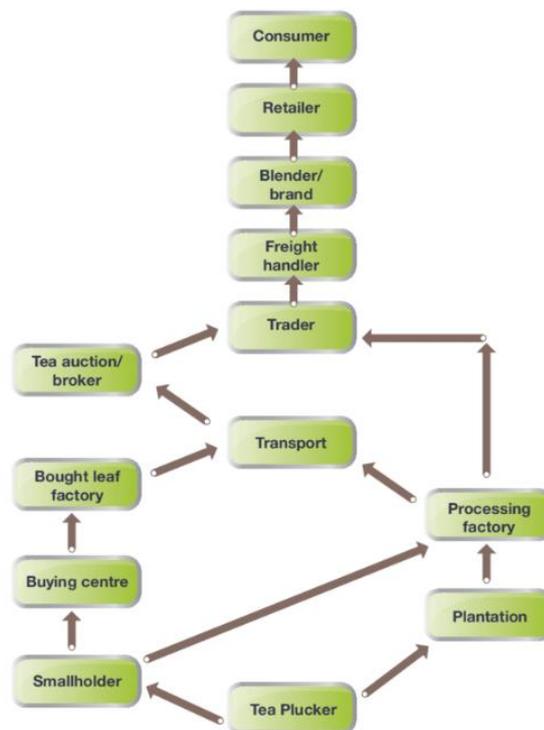


Figure 2 Supply chain of Chinese green tea (Wright, 2016)

Figure 1 illustrates the complex supply chain of the tea industry, beginning at the production level and ending with the final consumer. The process starts with tea pluckers and smallholders who harvest fresh leaves from plantations. These leaves are either sent to processing factories or bought by leaf factories via buying centers. The processed tea is then transported and consolidated by traders. From here, it may follow different paths—either sold through tea auctions and brokers or distributed through freight handlers to branded blenders. After blending, the tea moves to retailers, eventually reaching consumers. Each node in the supply chain plays a specific role: plantations and factories ensure raw material quality, traders and brokers manage market access, and logistics providers ensure timely movement. The presence of



multiple transport and distribution routes highlights the dynamic and flexible nature of tea trade networks. This interconnected structure ensures product flow efficiency, quality maintenance, and responsiveness to market demands.

Table 1 Summary of Supply Chain Management of Chinese Green Tea

Stage/Aspect	Key Activities	Challenges	Innovations/Practices
Production & Farming	Tea farmers cultivate and hand-pick young leaves in Zhejiang, Anhui, Fujian, Yunnan, and Sichuan	Climate variation, soil quality, labor intensity	Training, sustainable farming, and ethical sourcing verification
Processing	Withering, fixing (“kill-green”), rolling, drying, sorting, packing	Inconsistent tea quality due to processing variability	Adoption of advanced processing standards, eco-certification
Wholesale & Distribution	Consolidation of batches, auctions, brokers, freight handlers, and branded blenders	Market access, price volatility	Use of digital platforms, blockchain for traceability
Retail & Consumer Delivery	Tea houses, supermarkets, convenience stores, and online platforms	Maintaining freshness and traceability, meeting specialty tea demand	E-commerce, direct-to-consumer logistics
Green SCM (GSCM)	Integration of sustainable practices across the supply chain	Ensuring transparency, compliance with sustainability standards	Eco-design, green purchasing, customer cooperation, reverse logistics, investment recovery
Technology Integration	IoT, automation, AI-powered logistics, blockchain for transparency, data analytics for efficiency	High investment costs, digital adoption gaps among smallholders	Digital transformation enabling traceability, predictive inventory, and real-time logistics

As shown in Table 1, the supply chain of Chinese green tea is a multi-stage process involving cultivation, processing, wholesale, distribution, and consumer



delivery, each facing distinct challenges and requiring targeted innovations. The integration of Green Supply Chain Management (GSCM) principles and digital transformation technologies, such as blockchain, IoT, and predictive logistics, is reshaping the sector toward greater efficiency, sustainability, and global competitiveness. This structured overview highlights the dynamic interactions among stakeholders and underscores the strategic importance of technology-driven practices for ensuring quality, traceability, and resilience in Hangzhou's green tea industry.

Furthermore, green supply chain management (GSCM) refers to an environmentally conscious approach to managing the flow of goods—from procurement and production to distribution—by integrating sustainable practices and technologies at every stage. In the context of the Chinese green tea industry, GSCM not only minimizes environmental impacts but also enhances economic viability by balancing ecological preservation with business performance (Dashore & Sohani, 2013; Li, 2011). Despite its benefits, challenges persist. Ensuring traceability throughout the supply chain remains difficult, especially in verifying ethical sourcing and sustainable farming practices. Inconsistent tea quality, affected by variables such as climate, soil, and processing techniques, also poses issues. Furthermore, shifting consumer preferences and demand for specialty teas require suppliers to remain adaptable and innovative (Khuyen & Yen, 2017). To address these obstacles, technological solutions such as IoT devices and blockchain are increasingly employed to monitor storage conditions and provide traceable product histories, fostering transparency and consumer trust.

The evolution of GSCM practices has gained momentum globally, driven by rising environmental awareness and regulatory demands. Businesses are now adopting five core GSCM strategies: integrated environmental management (IEM), eco-design, green purchasing (GP), customer cooperation (CC), and investment recovery (IR) (Aroonsrimorakot *et al.*, 2022; Vanalle *et al.*, 2017). These practices include initiatives such as environmental certification, eco-efficient design, reverse logistics, and recycling programs. In the Chinese green tea sector, the integration of automation, data analytics, and sustainable sourcing is shaping a modern, efficient, and environmentally



responsible supply chain (KPMG, 2023; ETP, 2023). This transformation ensures long-term competitiveness while meeting the expectations of global consumers.

4. Research Methodology

For the quantitative component, data were collected through a structured questionnaire measuring perceptions of supply chain management (SCM) practices across sourcing strategy, logistics efficiency, and inventory management. A five-point Likert scale ranging from “strongly disagree” to “strongly agree” was employed. The instrument was validated for content by three experts in supply chain and agricultural economics, and reliability testing using Cronbach’s alpha produced values above 0.80, confirming strong internal consistency. The study targeted 15 large-scale processing enterprises in Hangzhou, collectively employing approximately 4,850 individuals, from which a sample size of 370 respondents was determined using Taro Yamane’s formula (Yamane, 1967). Stratified random sampling was then applied to ensure representation of executives, administrators, and departmental heads. Data analysis employed both descriptive statistics (mean, standard deviation) and inferential techniques, including correlation and regression analysis, to assess relationships among SCM factors and their effects on competitiveness and export performance (Wu & Chen, 2022).

Secondly, for the qualitative component, semi-structured interviews were conducted with 15 senior professionals, including company executives and industry experts. An interview guide was developed to ensure consistency while allowing flexibility for probing questions. All interviews were audio-recorded, transcribed verbatim, and analyzed through thematic content analysis. Coding followed an inductive approach, identifying recurring themes across sourcing, logistics, and inventory dimensions. To enhance trustworthiness, researcher triangulation and member checking were employed. Integration of quantitative and qualitative results followed a mixed-method convergence design, allowing cross-validation and deeper insights into SCM practices in Hangzhou’s green tea industry.

5. Research Results

This section can be divided into 2 parts: the quantitative and qualitative results as follows.

5.1 The quantitative results

Table 2 Areas in need of innovation in the green tea industry

Scopes of innovation needed	Number of respondents (n=370)	Percentage (%)
Innovation is needed for the industry		
Procurement	37	10.2
Production	40	10.8
Quality control	203	54.8
Logistics and Supply Chain Management	90	24.2
Total	370	100.0

Table 2 presents data on the perceived areas in need of innovation within the green tea industry, based on responses from 370 participants. The table categorizes innovation needs into four key areas: procurement, production, quality control, and logistics and supply chain management. Respondents were asked to identify where they believed innovation was most urgently required. A majority of respondents, 203 individuals, 54.8%, identified quality control as the area most in need of innovation. This suggests that maintaining consistent product standards and enhancing the quality of green tea products is a primary concern for industry stakeholders. As China continues to position itself as a leader in green tea exports, stringent quality assurance processes become essential for meeting both domestic and international standards. Logistics and supply chain management followed as the second most cited area, with 90 respondents, 24.2%, indicating a need for improvement. This points to challenges related to traceability, timely delivery, and coordination among supply chain actors. In contrast, production, 10.8%, and procurement, 10.2%, received lower response rates, suggesting these areas are either more developed or considered less critical in the current industry context.



Overall, the data highlight a strong emphasis on improving product quality and optimizing supply chain operations, two essential components for sustaining competitiveness and ensuring long-term growth in the green tea sector.

Table 3 presents the mean scores and standard deviations for nine key factors related to Supply Chain Management (SCM) in Chinese green tea processing export companies in Hangzhou. The factors are grouped into three core dimensions: sourcing strategy, logistics efficiency, and inventory management. Respondents rated the importance of each factor on a Likert scale, with all items receiving a “High” level of importance based on their mean scores.

Under the sourcing strategy dimension, the highest-rated item was the belief that optimizing sourcing strategies leads to cost savings and efficiency, mean was 4.10, followed closely by the need to establish long-term supplier relationships, mean was 3.99. The item on sourcing strategy as essential for ensuring a consistent supply of raw materials scored a mean of 3.88. These findings highlight that green tea enterprises place strong emphasis on sourcing reliability and strategic partnerships to support sustainable production.

In the logistics efficiency category, respondents rated all items highly, with logistics perceived as enhancing competitiveness receiving the highest mean score of 4.15. This was followed by views on cost savings and improved customer satisfaction, mean was 4.12, and optimizing delivery times, mean was 3.89. These results underscore the critical role of logistics in maintaining timely exports and customer responsiveness in the competitive tea market.

For inventory management, the operational optimization had the highest mean score (4.04). Investments in inventory systems and software, and the need for robust inventory control policies both scored equally at 3.97. These values reflect a growing awareness among firms of the need to manage inventory more strategically, particularly to avoid stockouts and excess inventory.

The overall mean score across all items was 4.07 with a standard deviation of 0.996, indicating a high and consistent perception of SCM importance across respondents.



Table 3 Mean and standard deviation of Supply Chain Management

Item	Supply Chain Management	\bar{x}	S.D.	Levels of importance
Sourcing strategy				
1	You consider sourcing strategy to be in ensuring a consistent and reliable supply of raw materials for Chinese green tea processing export companies in Hangzhou.	3.88	1.034	High
2	Optimizing sourcing strategies can lead to cost savings and improved efficiency in the supply chain of Chinese green tea processing export companies in Hangzhou.	4.10	1.010	High
3	Chinese green tea processing export companies in Hangzhou need to establish long-term relationships with suppliers to ensure a stable and sustainable supply of raw materials.	3.99	0.997	High
Logistics efficiency				
4	You perceive logistics efficiency to be in enhancing the competitiveness of Chinese green tea processing export companies in Hangzhou.	4.15	1.101	High
5	Improving logistics efficiency can lead to cost savings and improved customer satisfaction for Chinese green tea processing export companies in Hangzhou.	4.12	1.059	High
6	Optimizing logistics efficiency can lead to faster delivery times and reduced lead times for Chinese green tea processing export companies in Hangzhou	3.89	0.992	High
Inventory management				
7	It is essential for important inventory management to optimize the operations of Chinese green tea processing export companies in Hangzhou.	4.04	0.972	High
8	Chinese green tea processing export companies in Hangzhou are likely to invest in implementing inventory management software and systems to enhance efficiency.	3.97	1.049	High
9	Chinese green tea processing export companies in Hangzhou need to establish robust inventory control policies and procedures to mitigate risks associated with overstocking or stockouts.	3.97	1.037	High
Total		4.07	0.996	High



The quantitative findings revealed an overall mean score of 4.07, signifying a strong and consistent consensus among respondents that supply chain management (SCM) is highly important to Hangzhou's green tea industry. This high score indicates that SCM practices are not merely supplementary but central to sustaining competitiveness and export readiness in an industry under increasing global scrutiny. A comparison across different management levels (executives, administrators, and departmental heads) revealed no statistically significant differences in perceptions ($p > 0.05$), suggesting a shared recognition of SCM's critical role throughout organizational hierarchies.

When compared with findings from other Chinese tea-producing regions, such as Fujian and South Anhui, where prior studies emphasize traditional procurement and processing efficiency, Hangzhou's emphasis on digital logistics and blockchain traceability illustrates a more innovation-driven orientation. This aligns with broader supply chain modernization trends observed in Zhejiang's industrial clusters.

Statistical hypothesis testing further confirmed that logistics efficiency (mean = 4.15) had a significantly higher influence on perceived competitiveness than sourcing strategy (mean = 3.99) or inventory management (mean = 3.97) at the 0.05 significance level. This finding emphasizes logistics as the most decisive factor for ensuring international responsiveness.

5.2 The qualitative results

The qualitative findings from interviews with 15 senior professionals in Hangzhou's green tea processing export industry reveal that Supply Chain Management plays a critical role in ensuring competitiveness, quality consistency, and global market responsiveness. The interviews highlighted three major SCM themes: sourcing strategy, logistics efficiency, traceability, and inventory control.

Several general managers and factory owners emphasized the importance of establishing strategic supplier partnerships to maintain a stable and sustainable supply of raw tea leaves. Long-term contracts and multi-tier supplier models were reported to help mitigate procurement risks and support consistent quality.

Logistics optimization emerged as a recurring priority. Managers underscored the need for logistics automation, freight scheduling, and real-time transport

monitoring systems to enhance delivery speed and reduce operational costs. Data-driven logistics and AI-powered freight management systems were widely adopted to respond to international market demands efficiently.

On the traceability front, blockchain technology was frequently cited as a game-changing innovation. It enables transparency from farm to cup, enhancing both consumer trust and compliance with export regulations. Several firms also integrated predictive inventory control to reduce stockouts and overproduction, thereby improving supply chain resilience.

Overall, these insights reflect a strong industry shift toward smart, sustainable, and technology-driven supply chain models, positioning Hangzhou's green tea exporters to meet evolving global standards and consumer expectations. The qualitative analysis reinforced these results, with managers emphasizing traceability technologies and predictive inventory controls. Together, these findings demonstrate that Hangzhou's SCM practices are positioned not only as operational necessities but also as strategic levers for differentiation in global markets, providing stronger resilience than more traditional models seen in Fujian and Anhui.

6. Discussion

The results emphasize three core dimensions of supply chain management (SCM)—sourcing strategy, logistics efficiency, and inventory management—that are consistently perceived as highly important, with an overall mean score of 4.07. Yet, the presence of standard deviation values exceeding 1 for certain items, such as logistics efficiency (Item 4, $SD = 1.101$), reveals notable variation in respondent perspectives. This suggests that while SCM practices are broadly valued, their degree of implementation differs across enterprises, reflecting disparities in technological adoption, resource availability, and managerial capabilities.

When compared with other Chinese tea-producing regions such as Fujian and South Anhui, which remain more reliant on traditional procurement and processing methods (Shi et al., 2019), Hangzhou demonstrates a distinctly innovation-oriented trajectory, particularly through digital logistics integration and blockchain-enabled traceability. On the global scale, Kenya's tea subsector, dominated by cooperative-



based exports (FAO, 2022), and Sri Lanka's auction-driven Ceylon tea industry (Khuyen & Yen, 2017) illustrate contrasting models. By leveraging predictive logistics and digital platforms, Hangzhou positions itself between these traditional approaches and modern digital supply networks.

The findings further resonate with Dynamic Capabilities theory, underscoring firms' ability to reconfigure resources, and User-driven Innovation, highlighting consumer demand for sustainability, transparency, and quality. Digital transformation, enabled through IoT, AI-based logistics, and e-commerce, emerges as a decisive force shaping industry development. From a policy perspective, government support in digital infrastructure and training programs can accelerate adoption, while managers should emphasize strategic investments in technology and workforce skills. Together, these measures strengthen Hangzhou's resilience and global competitiveness in the tea industry. This study analyzed the activities within the supply chain management (SCM) of the green tea industry in Hangzhou, China, drawing on empirical insights from Hangzhou's export-driven model. The second research objective guided a detailed exploration of three critical SCM components: sourcing strategy, logistics efficiency, and inventory management, as visually represented in Figure 3. These components function across interconnected actors from smallholders and tea pluckers to processing factories, traders, freight handlers, and retailers, each contributing to the flow of products and information throughout the supply chain.

Findings indicate that sourcing strategy plays a foundational role in ensuring a consistent and sustainable supply of high-quality raw materials. Establishing long-term supplier relationships and multi-tier procurement contracts emerged as crucial activities in stabilizing upstream operations. Logistics efficiency was identified as a key enabler of competitiveness, with activities such as real-time transport monitoring, automated freight scheduling, and digital delivery systems supporting timely distribution and export readiness. Inventory management practices, including predictive inventory control and digital tracking, help mitigate risks of stockouts or overstocking, enhancing both operational efficiency and market responsiveness.

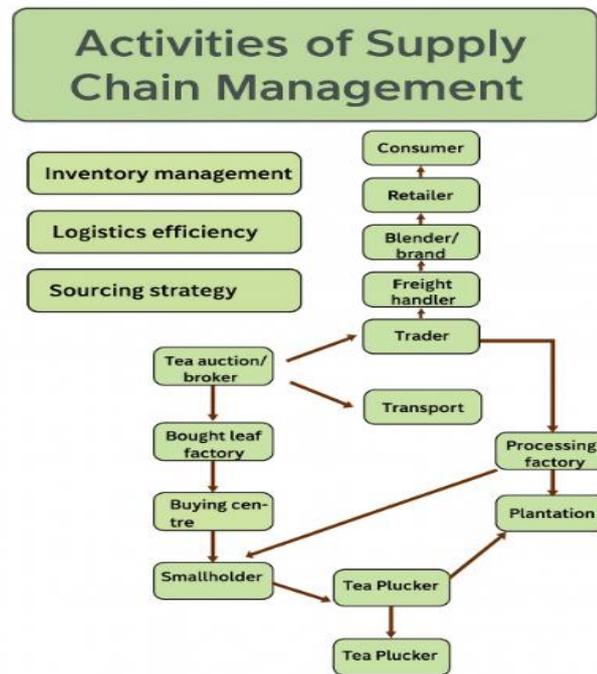


Figure 3 Activities of supply chain management of the green tea industry in Hangzhou

The integration of these SCM activities, as reflected in Figure 3, supports a dynamic and adaptable supply network capable of responding to shifting global demand. Hangzhou's green tea industry, by adopting this structured and technology-driven approach, can strengthen its position in the international market while ensuring quality, traceability, and sustainability throughout the supply chain.

7. Conclusion

This study demonstrates that integrating sourcing strategies, logistics efficiency, and inventory management, illustrated in Figure 3, provides a holistic framework for strengthening Hangzhou's green tea supply chain. Logistics efficiency emerged as the most decisive factor, reflecting global demands for speed, traceability, and transparency. These findings align with the Dynamic Capabilities theory, highlighting firms' ability to reconfigure resources for competitiveness, and User-driven Innovation, which emphasizes consumer influence on sustainability and quality. Compared with Kenya's cooperative-driven exports and Sri Lanka's auction-based Ceylon tea model,



Hangzhou's orientation toward digital traceability and predictive logistics illustrates a more innovation-driven approach. By adopting sustainable SCM and digital solutions, Hangzhou can enhance resilience, competitiveness, and global positioning despite limitations of regional scope and uneven digital adoption.

8. Suggestion

For stakeholders, several policy and managerial directions emerge from this study. Policy measures should support the Belt and Road Initiative in expanding tea exports while providing guidelines for the development of Intelligent Warehousing Systems and Intelligent Communication platforms. Strategic initiatives may also promote Tea Tourism and Rural Revitalization, foster Public–Private Partnerships for advancing technology, and implement greenhouse gas reduction strategies to align with sustainability goals. At the managerial level, enterprises are encouraged to adopt advanced marketing strategies, integrate Blockchain and IoT applications into supply chain operations, and develop a Responsive–Sustainable–Resilient Tea Supply Chain Network that strengthens competitiveness and transparency.

For future research, scholars should focus on designing sustainability indicators tailored to the tea sector, applying Machine Learning to improve operational efficiency, and developing conceptual frameworks adaptable to other agricultural industries. Moreover, the findings could contribute to broader agendas, including Smart Cities and the Digital Economy, by positioning tea supply chains as models of innovation-driven rural development.

9. Acknowledgement

The researchers sincerely acknowledge the Hangzhou Green Tea Exporting Foundation, particularly the director and staff, for their invaluable time and cooperation in providing essential information and insights. Their contribution was fundamental to the successful execution and completion of this research.



10. Reference

- Aroonsrimorakot, S., & Laiphrakpam, M. (2023). Green supply chain management practices and their impact on sustainability performance: A comprehensive framework. **International Journal of Sustainable Business Strategies**, 18(2), 102–118.
- Aroonsrimorakot, S., Phimonsathien, T., & Wanthiraphan, N. (2022). Evaluating green supply chain management performance: Empirical evidence from manufacturing firms in Asia. *Journal of Cleaner Production*, 342, 130933. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130933>
- Chazhidao. (2023). **Chinese tea classification and processing methods**. Tea Institute of China. Retrieved from <https://www.chazhidao.com>
- Chen, Q. (2024). **Supply chain management in the green tea export industry of Hangzhou: A structural equation modeling approach**. China: Zhejiang Agricultural University Press.
- Dashore, K., & Sohani, N. (2013). Green supply chain management: A review. **International Journal of Engineering and Innovative Technology**, 3(5), 478–484.
- Ethical Tea Partnership. (2023). **Sustainable tea supply chains: Innovations and impact**. Retrieved from <https://www.ethicalteapartnership.org>
- Food and Agriculture Organization. (2022). **Top 10 tea exporting countries in the world 2021**. Retrieved from <https://www.fao.org>
- Khuyen, T.L., & Yen, N.T. (2017). Challenges in the tea value chain in developing economies: A review. **Asian Journal of Agriculture and Development**, 14(1), 105–118.
- KPMG. (2023). **Driving supply chain resilience through digital transformation**. KPMG International. Retrieved from <https://home.kpmg>
- Li, J., & Zhang, Y. (2019). Green tea processing techniques and their impact on quality. **Journal of Tea Science and Technology**, 35(2), 89–96.
- Li, Y. (2011). Green supply chain management in China: The case of tea manufacturing. **Asian Business Review**, 3(1), 15–22.



- Ridder, M. (2023). **Global tea market value and China's export structure**. Statista. Retrieved from <https://www.statista.com>
- Shi, M., Narasaj, R., & Mattarigamond, S. (2019). Regional tea cultivation and production development in China. **Asian Journal of Agricultural Economics**, 44(1), 101–114.
- Vanalle, R.M., Ganga, G.M.D., Filho, M.G., & Lucato, W.C. (2017). Green supply chain management: An investigation of pressures, practices, and performance within the Brazilian automotive supply chain. **Journal of Cleaner Production**, 151, 250–259. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.066>
- Wu, L., & Chen, Y. (2022). Market dynamics of specialty teas in developing economies. **International Journal of Beverage Studies**, 17(4), 215–229.
- Yamane, T. (1967). **Statistics: An introductory analysis**. (2nd ed.). New York: Harper & Row.



ANALYSIS OF ACTIVITY-BASED COSTING IN PRODUCTION PROCESSES: A CASE STUDY

Niparat Boongun¹, Choat Inthawongse¹, Thanida Khanongnuch², Alongkorn Muangwai²,
Thanthap Saensamran², Thippawan Keawsaard², Thiwawan Phetthong²,
Pantisa Pongpaw²

¹Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University,
Muban Chombueng, Ratchaburi, Thailand, 70150

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: niparatboo@mcr.u.ac.th

Submitted: 17 July 2025

Revision received: 24 August 2025

Accepted: 24 August 2025

Abstract

This project aims to study the production processes of Vietnamese pork sausage (Moo Yor), fermented pork (Naem), and Chinese sausage (Kun Chiang) in order to analyze production costs and identify unnecessary activities within the factory that could be reduced. The study began with data collection from Supattra Products Ltd., applying activity-based costing (ABC) to calculate actual production costs and eliminate non-essential expenses.

The findings indicate that the production costs-comprising raw materials, labor, and consumables-exceed the current selling prices. This is likely due to the company not accounting for other cost factors such as machinery depreciation and miscellaneous consumables. The unit costs per product are as follows: Moo Yor (90g, 140g, 470g) at 8.43, 13.33, and 44.10 baht respectively; Naem (300g) at 34.28 baht; and Kun Chiang (500g) at 58.10 baht. Moo Yor in all sizes shows the highest production cost. Currently, the selling prices of Moo Yor do not reflect the actual costs incurred. Through cost analysis of Supattra Products Ltd., the study identified cost-generating activities in the production of Moo Yor, Naem, and Kun Chiang. This led to recommendations for setting product prices that align with actual production costs.

Keywords: Activity-base costing, Production processes, Cost analysis



1. Introduction

Production management plays a crucial role in enhancing organizational competitiveness, as today's business environment is characterized by intense competition and constantly changing consumer demands. Effective production management not only reduces operating costs but also contributes significantly to profit maximization and the overall competitiveness of enterprises (Heizer *et al.*, 2020). The core concept of production management emphasizes two essential aspects: (1) responding to customer demands, and (2) minimizing production costs to create added value and ensure long-term sustainability.

The case study of this research is Supatra Products Limited Partnership, which has been engaged in processed food manufacturing—such as Vietnamese pork sausage, fermented pork, and Chinese sausage—for over 20 years. The company has been certified under the Good Manufacturing Practice (GMP) standard and is recognized as one of the long-established processed food producers in Phitsanulok Province, distributing products across multiple provinces nationwide. However, large-scale production and product variety generate significant costs throughout production processes and related activities, posing challenges in cost control and profitability.

In modern cost management, one widely accepted and applied approach is Activity-Based Costing (ABC). This method provides more accurate cost allocation compared to traditional approaches (Kaplan & Cooper, 1998). ABC highlights which activities drive higher costs and identifies non-value-added activities, which can then be improved or eliminated to reduce waste (Gunasekaran & Sarhadi, 1998). Implementing this approach enhances efficiency, cost transparency, and supports strategic decision-making in the processed food industry.

Therefore, this research aims to investigate cost reduction in the operations of Supatra Products Limited Partnership through Activity-Based Costing. The objective is to identify actual cost drivers, minimize wasteful activities, and develop strategies that improve production efficiency, ultimately strengthening the competitive capacity of the processed food business in a highly competitive market.



Figure 1 Products of the Case study enterprise

2. Research objectives

2.1 To study the production processes and various work activities within Supattra Products Limited Partnership in order to understand the operational steps related to production costs.

2.2 To analyze production costs using the Activity-Based Costing (ABC) method to identify sources of costs and activities that do not create added value.

2.3 To propose guidelines for setting product prices that align with the actual production costs, which will help improve cost management efficiency and enhance the enterprise's competitiveness.

3. Research methodology

This research is quantitative in nature, focusing on the production process of processed foods at Supattra Products Limited Partnership, with the objective of analyzing production costs based on the Activity-Based Costing (ABC) concept. ABC is widely recognized as an approach that provides more accurate identification of cost sources compared to traditional methods (Kaplan & Cooper, 1998; Gunasekaran & Sarhadi, 1998) and has been broadly applied in industrial practices to analyze unit costs (Nontha, 2017). The methodological details are as follows:

Population and sample

The population comprises production data of Vietnamese pork sausage (Moo Yor), fermented pork (Naem), and Chinese sausage (Kun Chiang) produced by Supattra Products Limited Partnership. The sample consists of average production data per production cycle in the year 2024, selected using purposive sampling, which is appropriate for industrial research that focuses on specific major production lines (Wadeechoen *et al.*, 2017).

Study area and scope

The research was conducted at the processed food factory of Supattra Products Limited Partnership in Phitsanulok Province. The data collection period was from January to June 2024.

Research instruments

A production cost recording form (content validity $IOC \geq 0.7$), developed in line with principles of research instrument construction. Production measurement tools such as weighing scales and work-time measuring devices. A questionnaire for the production manager's opinions (reliability Cronbach's $\alpha \geq 0.8$).

Data collection

Data were collected from production cost accounts, expense documents, production line observations, and interviews with operational staff, following practical industrial data collection approaches (Heizer *et al.*, 2020).

Data analysis

The Activity-Based Costing (ABC) method was applied, using cost drivers for each activity (Kaplan & Cooper, 1998). The activity cost is calculated as:

$$\text{Activity Cost} = \text{Activity Cost Rate} \times \text{Quantity of Activity Driver}$$

The sum of all activity costs represents the manufacturing expenses of each product. The calculation of unit cost is given by the formula:

$$C_u = \frac{C_t}{Q} \quad (1)$$

Where:

$$C_u = \text{Unit cost of production}$$

$$C_t = \text{Total production cost}$$

$$Q = \text{Total units produced}$$

Descriptive statistics (Mean and percentage) were used to compare actual production costs with the company's selling prices to assess economic appropriateness.

4. Research results

The research results employed Activity-Based Costing analysis, covering three types of products: Vietnamese pork sausage (Moo Yor), fermented pork (Naem), and Chinese sausage (Kun Chiang). The analysis was divided into three main parts:

- (1) Analysis of machinery and equipment costs
- (2) Analysis of depreciation costs of machinery per production cycle
- (3) Analysis of packaging costs.

Table 1 Analysis of Machinery and Equipment Costs

Machinery	Usage in production line			Quantity used	Total cost (THB)	Usage life (Years)	Salvage values (THB)	Depreciation per year (THB)
	Moo Yor	Naem	Kun Chiang					
Pork slicing machine	✓	✓	✓	1	69,000	7	5,500	9,071
Pork griding machine	✓	✓	✓	1	230,000	7	18,400	30,229
Mixing cutter	✓	✓	✓	1	6,705,000	10	636,000	606,900
Stuffing machine	✓		✓	1	1,459,000	10	116,700	134,230
Steaming oven	✓			1	100,900	5	8,400	18,500
Moo Yor ejector	✓			1	9,312	5	700	1,722
Cylinder (90g)	✓			17,820	17,820	10	0	1,728
Cylinder (140g)	✓			10,530	21,060	10	0	2,106
Cylinder (470g)	✓			3,159	9,477	10	0	947.7
Mixing machine		✓	✓	1	180,000	10	14,400	16,560
Naem tying machine		✓		1	32,000	5	2,500	5,900
Boiling pot		✓		1	38,900	7	3,200	5,100
Drying oven			✓	1	67,800	5	5,400	12,480
Total					8,939,729		811,200	845,473.7

According to Table 1, which illustrates the analysis of machinery and equipment costs employed in the production process, it was revealed that the principal machines—namely the bowl cutter, meat grinder, and stuffer—constituted the highest proportion of costs. Notably, the depreciation expense of the bowl cutter amounted to 606,900 baht per annum, representing approximately 71.8% of the total depreciation costs. This finding underscores that large-scale machinery serves as the predominant cost driver within the production line.

Table 2 Depreciation analysis of machinery per production cycle

Machinery	No. of product types produced	Production cycles per year	Total annual cycles (time)	Depreciation per year (THB)	Depreciation per production (THB)
Pork slicing machine	5	312	1,560	9,071.00	5.81
Pork griding machine	5	312	1,560	30,229.00	19.38
Mixing cutter	5	312	1,560	606,900.00	389.04
Stuffing machine	4	312	1,248	134,230.00	86.04
Steaming oven	3	312	936	18,500.00	19.76
Moo Yor ejector	3	312	936	1,722.00	1.84
Cylinder (90g)	1	312	312	1,728.00	5.54
Cylinder (140g)	1	312	312	2,106.00	6.75
Cylinder (470g)	1	312	312	947.70	3.04
Mixing machine	2	312	624	16,560.00	26.54
Naem tying machine	1	312	312	5,900.00	18.91
Boiling pot	1	312	312	5,100.00	16.35
Drying oven	1	312	312	12,480.00	40.00

According to Table 2, which presents the depreciation costs of machinery per production cycle, it was found that the bowl cutter incurred the highest depreciation expense at 389.04 baht per cycle. In contrast, supporting equipment, such as the filling tubes for Vietnamese pork sausage (Moo Yor) in sizes 90 g, 140 g, and 470 g, recorded depreciation expenses of 5.54, 6.75, and 3.04 baht per cycle, respectively. Although the unit costs of these items are relatively low, when aggregated with the large volume of production, they constitute a significant cumulative cost factor in the overall production process.

From Table 3, which analyzes packaging costs, it was found that the fermented pork (Naem) exhibited the highest packaging cost per unit (0.565 baht per bag) compared to Chinese sausage (Kun Chiang) at 0.313 baht per bag and Vietnamese

pork sausage (Moo Yor) at 0.170–0.229 baht per bag. This finding indicates that the type of packaging and product format directly influences the overall cost of the goods.

ตารางที่ 3 Packaging costs for the Three products

Item	Quantity	Total price (THB)	Unit price (THB)
1. Moo Yor (90g/140g/470g)			
Clear plastic bag for 90g Moo Yor	470 bags	80	0.170
Clear plastic bag for 140g Moo Yor	414 bags	80	0.193
Clear plastic bag for 470g Moo Yor	350 bags	80	0.229
Large clear plastic bag for 90g Moo Yor	160 bags	50	0.313
2. Kun Chiang (500g)			
Rubber bands for tying 500g bags	2,080 pcs	89	0.043
Clear plastic bag for Kun Chiang	160 bags	50	0.313
3. Naem (300g)			
Long clear plastic bag for packing Naem	230 bags	130	0.565
Twist ties for sealign bags	130 pcs	55	0.423

Table 4 Production cost per unit for the Three products

Product type	Total production cost (THB)	Units produced per cycle	Selling price per unit (THB)
Moo Yor (90g)	8,410.25	1,100	7.65
Moo Yor (140g)	8,205.35	650	12.69
Moo Yor (470g)	8,215.13	195	42.13
Kun Chiang (500g)	4,273.62	130	32.87
Naem (300g)	6,928.40	120	57.74

When consolidating all the data to analyze the production cost per cycle (Table 4), it was found that the unit costs of Vietnamese pork sausage (Moo Yor) in sizes 90 g, 140 g, and 470 g were 7.65, 12.69, and 42.13 baht, respectively. Meanwhile, the unit cost of Chinese sausage (Kun Chiang) was 32.87 baht, and that of fermented pork (Naem) was 57.74 baht.

When compared with the current selling prices (Table 5), the findings revealed that: Vietnamese pork sausage (Moo Yor): The selling prices were lower than the

actual production costs across all sizes, with costs exceeding selling prices by 1.6% (90 g), 8.7% (140 g), and 5.9% (470 g), resulting in losses. Chinese sausage (Kun Chiang): The selling price was 35 baht per unit, which was slightly higher than the actual cost of 34.28 baht, generating an approximate profit margin of 2.1%. Fermented pork (Naem): The selling price was 60 baht per unit, higher than the actual cost of 58.10 baht, yielding an approximate profit margin of 3.2%.

Table 5 Comparison of research-based and current selling prices

Product type	Selling price per unit (Research) (THB)	Current selling price (THB)
Moo Yor (90g)	8.13	8
Moo Yor (140g)	13.15	12
Moo Yor (470g)	42.36	40
Kun Chiang (500g)	34.28	35
Naem (300g)	58.10	60

5. Conclusion and discussion

This study aimed to investigate the production processes, analyze costs, and identify appropriate pricing strategies for Vietnamese pork sausage (Moo Yor), Chinese sausage (Kun Chiang), and fermented pork (Naem) by applying the Activity-Based Costing (ABC) method. The ABC approach enables precise identification of cost sources and non-value-added activities (Kaplan & Cooper, 1998; Gunasekaran & Sarhadi, 1998).

The findings revealed that all three sizes of Vietnamese pork sausage (90 g, 140 g, and 470 g) had production costs exceeding the established selling prices, resulting in losses. By contrast, Chinese sausage and fermented pork still yielded modest profits. A key factor contributing to this outcome was that the enterprise's original costing practice did not include machinery depreciation and consumable materials, leading to underestimation of actual costs. This aligns with Nontha (2017), who reported that excluding the ABC method often results in cost distortions and inaccurate unit costs.



Activity-based analysis further revealed that the largest cost drivers were depreciation of major machinery and labor costs. Accordingly, the researcher proposes the following improvement strategies:

Efficient labor management: Planning the number and allocation of workers appropriately to reduce surplus labor costs.

Appropriate use of machinery and technology: Reducing reliance on manual labor and lowering long-term consumable costs, consistent with Heizer *et al.* (2020), who emphasized that investing in efficient machinery increases productivity while reducing costs.

Regular maintenance of machinery: Preventing production disruptions and minimizing hidden costs arising from equipment breakdowns. Raw material management: Sourcing from multiple suppliers to compare price and quality, while implementing inventory control measures to reduce losses due to material spoilage

5.1 Production Costs of Vietnamese Pork Sausage, Fermented Pork, and Chinese Sausage The cost analysis using the Activity-Based Costing (ABC) method revealed structural differences in production costs across the three products. When calculated as unit costs, the results were as follows: Vietnamese pork sausage (Moo Yor): 90 g: 8.13 baht per unit (Selling price: 8 baht) → loss of 1.6% 140 g: 13.15 baht per unit (Selling price: 12 baht) → loss of 8.7% 470 g: 42.36 baht per unit (Selling price: 40 baht) → loss of 5.9% Chinese sausage (Kun Chiang, 500 g): 34.28 baht per unit, compared with a selling price of 35 baht, generating a profit margin of approximately 2.1%. Fermented pork (Naem, 300 g): 58.10 baht per unit, compared with a selling price of 60 baht, generating a profit margin of approximately 3.2%. In terms of cost components, the major cost drivers were identified as follows: Machinery depreciation: Accounting for more than 70% of total costs, particularly from the bowl cutter and meat grinder. Labor costs: Significant in the production of Vietnamese pork sausage, where intensive manual labor led to higher costs relative to other products. Consumables and packaging costs: Particularly notable in fermented pork (Naem), which required specialized packaging, resulting in the highest packaging expenses among the products. In summary, all three sizes of Vietnamese

pork sausage exhibited production costs higher than their selling prices, resulting in losses, while Chinese sausage and fermented pork generated slight profits. This finding is consistent with international studies, which indicate that excluding hidden costs such as depreciation and consumables may result in underpricing relative to actual costs (Kaplan & Cooper, 1998; Heizer *et al.*, 2020).

5.2 Cost Reduction Strategies in Production Activities Based on the ABC analysis, the main cost components in the production process were raw materials, labor, machinery depreciation, and consumables—serving as the primary cost drivers for each product. Therefore, the following cost reduction strategies are recommended: Raw materials: Implement supplier comparison to obtain competitive prices while maintaining quality standards. Improve raw material storage systems (e.g., temperature control, inventory management) to minimize spoilage, consistent with Lean Supply Chain principles. Labor: Optimize workforce planning to match production volume, avoiding excess labor usage. Provide training to enhance skills and efficiency, thereby reducing errors and processing time. Consider substituting machinery for repetitive, labor-intensive tasks to increase productivity and lower labor costs in the long run. Machinery and equipment: Conduct regular preventive maintenance to minimize risks of breakdowns and costly repairs. Invest in high-efficiency machinery or technology—even with high initial costs—as they reduce unit production costs over time (Heizer *et al.*, 2020). Employ cost-benefit analysis (CBA) when deciding on new equipment investments.

Consumables and packaging: Establish standardized usage rates per production unit to control material consumption. Negotiate with suppliers to lower packaging costs or consider alternative materials that are cost-effective yet suitable for quality standards. Improve packaging design to reduce material usage while maintaining product quality and safety.

6. Suggestions

6.1 Research limitations

This study was conducted in a single enterprise, Supattra Products Limited Partnership, and therefore may not fully represent the cost structures of all processed



food manufacturers. Furthermore, the limited data collection period restricted the comprehensiveness of the findings, as some information relied on estimated values based on specific production cycles.

6.2 Recommendations for future research

To enhance generalizability and applicability, future research should expand to other types of processed food enterprises across multiple regions for comparative analysis of cost structures. In addition, the development of cost calculation models integrated with modern information systems and production technologies is recommended. Strategic management concepts, such as Lean Manufacturing and Green Productivity, should also be incorporated to provide sustainable cost-reduction strategies and improve long-term competitiveness in the industry.

7. Acknowledgments

This research was successfully completed with the kind support of Supattra Products Limited Partnership, who provided facilities, assistance, and valuable data for the study. The researchers sincerely extend their gratitude. In addition, the researchers wish to thank the academic advisor, faculty members, and experts for their constructive guidance, suggestions, and recommendations, which greatly contributed to the achievement of the research objectives.

8. References

- Gunasekaran, A., & Sarhadi, M. (1998). Implementation of activity-based costing in manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 56–57, 231–242.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations management* (13th ed.). Boston: Pearson Education, Inc.
- Kaplan, R.S., & Cooper, R. (1998). *Cost and effect: Using integrated cost systems to drive profitability and performance*. Boston: Harvard Business School Press.
- Maneerut, S. (2022). Activity-based costing and product pricing in the processed food industry. *Journal of Business Administration and Accounting*, 44(3), 87–101.



- Nontha, C. (2017). Application of activity-based costing in analyzing production costs in the food industry. **Journal of Management Science**, 34(2), 112–124.
- Wadecharoen, V., Intarak, K., & Phunphol, S. (2017). Activity-based cost management to enhance the competitiveness of small and medium-sized enterprises. **Journal of Accounting and Management**, 9(1), 45–58.



การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการออสเทมเปอร์ริง
ของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นด้วยวิธีการทาคุชิ
OPTIMAL PARAMETER IN THE AUSTEMPERING PROCESS OF COLD
WORK TOOL STEEL USING THE TAGUCHI METHOD

เสกสรรค์ สุขชัยพร¹, นริศรา สุวิเชียร², มนตรี วิมล^{2*}

Seksan Suchoipron¹, Narisara Suwichien², Montri Wimol^{2*}

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ อ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา ประเทศไทย 24000

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University, Muang, Chachoengsao, Thailand, 24000

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: montri.m@psru.ac.th

วันที่เข้ารับ 15 กรกฎาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 23 สิงหาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 25 สิงหาคม 2568

บทคัดย่อ

เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นที่นำไปใช้ในงานตัดเฉือนที่มีลักษณะการรับแรงไม่สม่ำเสมอ ฉะนั้น การปรับปรุงสมบัติความแข็งแรงอย่างเดียวย่อมจะไม่เพียงพอต่อการนำใช้งาน เนื่องจากอาจเกิดการเสียหายระหว่างใช้งานได้ง่าย ซึ่งสมบัติของวัสดุตัดเฉือนที่ดีควรมีการปรับปรุงความแข็งแรง ความเหนียว ในปริมาณที่เหมาะสม งานวิจัยนี้ได้เสนอการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการออสเทมเปอร์ริงของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นโดยใช้วิธีการทาคุชิ Orthogonal arrays แบบ L9 โดยกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของออสเทนไนท์ซึ่งที่ 1,000 1,020 และ 1,050 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของการอบคืนตัวที่ 300 250 และ 200 องศาเซลเซียส เวลาในการอบคืนตัวที่ 120 90 และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่าสภาวะการทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิของออสเทนไนท์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,050 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 60 นาที โดยให้ค่าความแข็งแรง (HRC) เท่ากับ 62.60 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองนี้ กำหนดระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งค่าความแข็งแรงดังกล่าวอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้สำหรับวัสดุที่ใช้ในงานตัดเฉือน

คำสำคัญ: กระบวนการออสเทมเปอร์ริง, วิธีการทาคุชิ, เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น

Abstract

This research investigated the appropriate parameters in the Austempering process for cold-work tool steels using the Taguchi method with an L9 orthogonal array. Cutting tool materials are required to possess both hardness and toughness, as relying on hardness alone can result in premature failure under non-uniform loading conditions. In this study, three factors were considered: austenitizing temperature (1000, 1020, and 1050 °C), tempering temperature (300, 250, and 200 °C), and tempering time (120, 90, and 60 minutes). The results indicated that the optimal condition was an austenitizing temperature of 1050 °C, a tempering temperature of 200 °C, and a tempering time of 60 minutes. This condition produced a hardness value of 62.60 HRC. Analysis of variance with a 95% confidence level confirmed that this hardness value is within the acceptable range for cold-work tool steels used in cutting applications.

Keywords: Austempering process, Cold-work tool steel, Taguchi method

1. บทนำ

การตัดเฉือนโลหะแผ่นเป็นกระบวนการที่ถูกนำมาใช้ในการเตรียมชิ้นงานเพื่อดำเนินการขึ้นรูปต่อไป ในขั้นตอนนี้โลหะแผ่นจะถูกตัดด้วยใบมีดตัดเฉือน (Shear cutting blade) ของเครื่องตัดเหล็ก เพื่อให้วัสดุเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Hatanaka *et al.*, 2003) ซึ่งแรงกระแทกที่เกิดขึ้นอาจทำให้ใบมีดตัดเฉือนได้รับความเสียหายอย่างรุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อวัสดุที่ถูกตัดมีความแข็งแรงสูงจะส่งผลให้ใบมีดตัดเฉือนเกิดการสึกหรอ และยังเป็นผลให้เกิดครีบ (Burr) ที่บริเวณขอบตัดของชิ้นงาน ซึ่งทำให้ขนาดและความเที่ยงตรงไม่ได้ตามที่ต้องการ (เฉลิมพล และคณะ, 2560) อย่างไรก็ตามการปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงของใบมีดตัดหรือเครื่องมือตัดทั่วไป สามารถช่วยลดความเสียหายและเพิ่มอายุการใช้งานของใบมีดตัด (Neugebauer *et al.*, 2011) นอกจากนี้การควบคุมและปรับปรุงความต้านการสึกหรอของใบมีดตัดเฉือนจำเป็นต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมี และการปรับปรุงคุณภาพเหล็กกล้าด้วยความร้อน (Abbasi *et al.*, 2018) ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับนำเหล็กกล้าคาร์บอนมาเพิ่มสมบัติทางกลด้วยกระบวนการชุบแข็ง เช่น Bubphachot *et al.* (2005) ได้ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของเหล็ก JIS S45C ที่ถูกนำมาใช้สำหรับสร้างแม่พิมพ์ไฟน์แบลนคิง (Fine blanking) ด้วยกระบวนการอบชุบเพื่อให้ชิ้นงานตัดเฉือนได้ดีขึ้น Qamar (2009) ได้มุ่งเน้นในการปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้า AISI H11 โดยใช้กรรมวิธีทางความร้อนด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อสมบัติทางกลและส่งผลต่ออายุการใช้งานของชิ้นงาน วัตนพร และอุษณีย์ (2556) ได้ศึกษาผลของเวลาในการอบอบสเทนนิไทต์ซึ่งมีต่อความ

ด้านทานการสึกหรอแบบขัดสีและความแข็งของเหล็กหล่อเหนียวออสเทมเปอร์ มาโนช และคณะ (2560) ได้ปรับปรุงกระบวนการทางความร้อนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและปริมาณของโครเมียมคาร์ไบด์ของเหล็กกล้า JIS SKD11 ภายใต้เงื่อนไขความเย็นที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (Muhammad *et al.*, 2017) ได้ศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งในทิศทางตามยาวและตัดขวางทั่วทั้งชิ้นส่วน ด้วยกระบวนการชุบแข็งแบบขดลวดเหนียวนำ โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญ Son *et al.* (2017) ได้นำเสนออิทธิพลของปรับปรุงคุณภาพของเหล็กด้วยความร้อนที่มีผลต่อความทนทานต่อการสึกหรอของใบมีดตัดเฉือนในกระบวนการตัดขอบโลหะแผ่น โดยเปรียบเทียบระหว่างเหล็กกล้า AISI D2 และเหล็กกล้า Cr08H ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมทำให้เห็นว่าสมบัติเชิงกลและอายุการใช้งานของใบมีดตัดเฉือนสามารถเพิ่มขึ้นได้ เมื่อนำเหล็กกล้าไปปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการความร้อน ทั้งนี้ในการใช้งานเหล็กกล้าที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนจะต้องการสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงคุณภาพเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นที่ใช้ในงานในสภาพงานที่ต้องรับแรงไม่สม่ำเสมอ (กระแทก) ฉะนั้นความแข็งอย่างเดียวอาจจะไม่เพียงพอต่อการเลือกใช้งาน เนื่องจากอาจเสียหายระหว่างการใช้งานได้ง่าย โดยสมบัติของวัสดุตัดเฉือนที่ดีควรจะมี ความแข็ง ความเหนียวในปริมาณที่เหมาะสม ด้วยความสำคัญดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีสมมติฐานว่า โครงสร้างของวัสดุตัดเฉือนควรมีโครงสร้างแบบเบไนต์ เนื่องจากโครงสร้างลักษณะนี้จะมี ความเหนียวมากกว่าโครงสร้างมาเทนไซต์และความแข็งมากกว่าโครงสร้างเพอร์ไลต์ ซึ่งได้จากการให้ความร้อนไปที่อุณหภูมิออสเทนไนท์ซึ่งเช่นเดียวกัน แต่การปล่อยให้เย็นตัวให้เป็นโครงสร้างเบไนต์ก็เพียงพอต่อการได้ช่วงของค่าความแข็ง (HRC ~ 60-65) สำหรับเหล็กทำเครื่องมือตัดงานเย็น ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการออสเทมเปอร์ริงของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น โดยใช้วิธีการทากูชิ เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลให้เหมาะสมต่องานตัดเฉือนโลหะแผ่น

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

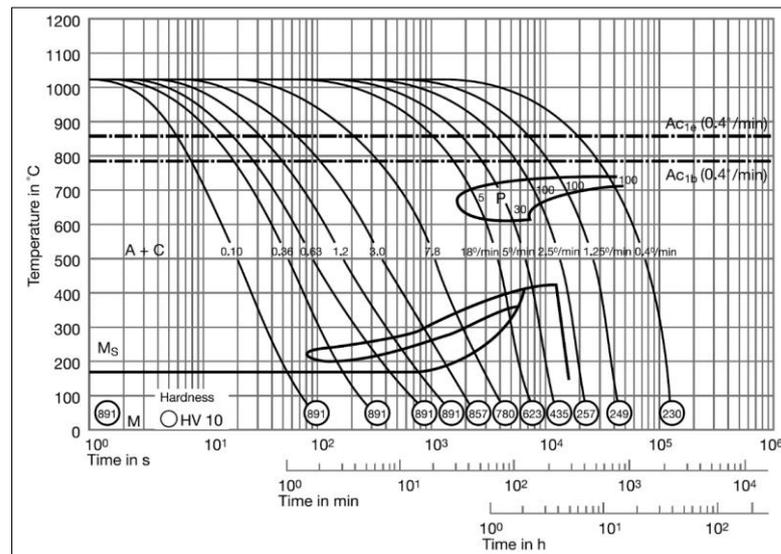
เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการออสเทมเปอร์ริงของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น โดยใช้วิธีการทากูชิ

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การชุบแข็งแบบออสเทมเปอร์ริง (Austempering)

การชุบแข็งวิธีนี้เป็นกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิคงที่เพื่อให้เกิดโครงสร้างเบไนต์ (Bainite) ในเหล็กกล้า ซึ่งจะมีลักษณะกลมและมีความแข็งสูง แต่ต่ำกว่ามาร์เทนไซต์ (Martensite) มีความเหนียวมากกว่า ขั้นตอนของการชุบแข็งออสเทมเปอร์ริงนั้น เหล็กกล้าจะถูกทำให้เปลี่ยนไปเป็นเฟสของออสเตไนต์ก่อน จากนั้นจะทำให้เย็นตัวลงอุณหภูมิที่เส้น M_s โดยหลักการว่ายิ่งอุณหภูมิลด

กับเส้น M_s มากเท่าไรจะทำให้ชิ้นงานมีความแข็งมากขึ้น และคงอุณหภูมิจนโครงสร้างเปลี่ยนไปเป็นเบไนต์แล้วจึงปล่อยให้เย็นตัวตามแผนภาพการเย็นตัวของเหล็กกล้าชนิดนั้น (สมนึก, 2557) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพที่ที่ชี้ชนิดการแปลงอุณหภูมิแบบต่อเนื่องของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น AISI D2 (Deutsche, 2014)

3.2 วิธีการทาคุชิ (Taguchi method)

ทาคุชินิยามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในแง่ของความสูญเสียที่ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติหรือมีลักษณะต่างไปจากความต้องการของลูกค้า (ประไพศรีสุทัศน์ และพงศ์ชนัน, 2551) ความสูญเสียเหล่านี้เกิดจากการเบี่ยงเบนของลักษณะฟังก์ชันของคุณภาพจากค่าเป้าหมายที่ต้องการ ซึ่งคือความสูญเสียเนื่องจากฟังก์ชันความผันแปร (Functional variation) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ที่ทำให้ลักษณะฟังก์ชันของคุณภาพเบี่ยงเบนไปจากเป้าหมายจะถูกเรียกว่าปัจจัยรบกวน (Noise factor) ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็นปัจจัยภายนอก (เช่น อุณหภูมิ และความผิดพลาดของมนุษย์) และความผิดพลาดในกระบวนการผลิต โดยมีเป้าหมายคือการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพภายใต้ปัจจัยรบกวนทั้งหมด

ขั้นตอนที่สำคัญในการออกแบบการทดลองคือการเลือกปัจจัยควบคุม ปัจจัยที่เกี่ยวข้องควรถูกรวบรวมให้มากที่สุด เพื่อให้สามารถคัดกรองปัจจัยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อ วิธีการทาคุชิจะสร้าง Orthogonal array เพื่อใช้ในการทดลองโดยจะขึ้นอยู่กับจำนวนและระดับของปัจจัย นอกจากนี้วิธีการทาคุชิจะใช้อัตราส่วน Signal to Noise (S/N) เป็นลักษณะคุณภาพของการตัดสินใจ (Antony & Jiju, 2001) อัตราส่วน S/N ถูกใช้เป็นตัววัดได้แทนค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเนื่องจาก

ข้อเท็จจริงที่ว่าเมื่อค่าเฉลี่ยลดลง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก็จะลดลงเช่นกัน หรืออีกนัยหนึ่งคือค่าเฉลี่ยไม่สามารถนำไปสู่ค่าของเป้าหมายได้ อย่างไรก็ตามอัตราส่วน S/N ของวิธีการทากูชิสามารถให้ผลรวมของระดับพารามิเตอร์ โดยที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด ในขณะที่คงค่าเฉลี่ยไว้ที่เป้าหมายได้ ซึ่งแนวคิดของอัตราส่วน S/N มีประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการโดยผ่านการลดความแปรปรวน (Ghani *et al.*, 2004) ลักษณะอัตราส่วน S/N สามารถจำแนกได้ตามคุณลักษณะของคุณภาพที่ต้องการ ดังสมการที่ (1) - (3)

Nominal is the best characteristics

$$\frac{S}{N} = 10 \log \frac{\bar{y}}{s_y^2} \quad (1)$$

Smaller the better characteristics

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} (\sum y^2) \quad (2)$$

Larger the better characteristics

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum \frac{1}{y^2} \right) \quad (3)$$

3.3 การออกแบบการทดลอง (Design of experiment)

สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น AISI D2 โดยมีส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกล ดังตารางที่ 1 ในกำหนดปัจจัยในการออกแบบการทดลองจะประกอบไปด้วยปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการชุบแข็งแบบออสเทมเปอร์ริง ได้แก่ อุณหภูมิของออสเทนไนท์ซิง (Austenitizing temperature: A.T.) อุณหภูมิของการอบคืนตัว (Tempering temperature: T.T.) และเวลาในการอบคืนตัว (Tempering time: T.Time.) ในแต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ ดังตารางที่ 2 โดยปัจจัยเหล่านี้จะถูกระบุไว้ในเอกสารอ้างอิงการอบชุบด้วยความร้อนของ ASM handbook (Dossett & Totten, 2013) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่สุด (Limooei & Hosseini, 2014) โดยอุณหภูมิของการเกิดออสเทนไนต์ต้องมีความเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงเฟสออสเทนไนต์ให้เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ Orthogonal arrays แบบ $L_9(3^3)$ โดยลำดับของการทดลองทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานทดลอง

Chemical composition										
AISI D2	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu
(%wt.)	1.55	0.31	0.42	0.02	0.012	0.10	11.80	1.00	0.30	0.04

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

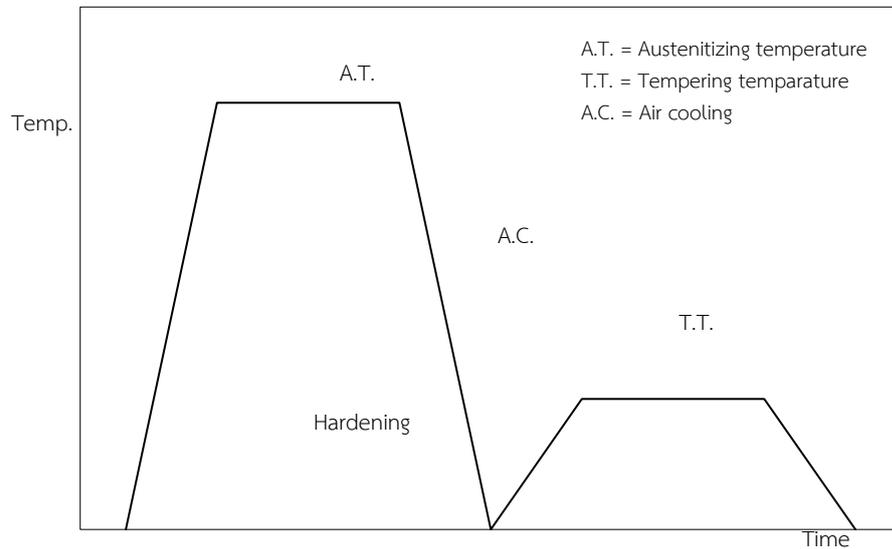
Experimental factors	Level 1	Level 2	Level 3
Austenitizing temperature (°C)	1000	1020	1050
Tempering temperature (°C)	300	250	200
Tempering time (Minute)	120	90	60

ตารางที่ 3 Orthogonal L₉ (3³) array ของวิธีการทาทุชิ

Experiments	Austenitizing temperature	Tempering temperature	Tempering time
1	1000	300	120
2	1000	250	90
3	1000	200	60
4	1020	300	90
5	1020	250	60
6	1020	200	120
7	1050	300	60
8	1050	250	120
9	1050	200	90

ในการกำหนดสภาวะการทดลองของกระบวนการออสเทมเปอร์ริง โดยอบชุบที่อุณหภูมิ ออสเทนไนท์ซึ่งระดับต่าง ๆ แต่ละระดับเป็นเวลา 60 นาที ตามที่ลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 จากนั้น ปล่อยให้เย็นตัวในเตาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน และอบคืนตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ตาม ระยะเวลาที่กำหนดในการทดลอง ซึ่งสามารถแสดงสภาวะการทดลองได้ดังภาพที่ 2 หลังจากผ่าน กระบวนการปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น จะนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติทางกล ด้วยการ

ทดสอบความแข็งโดยเครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวล (HRC) ยี่ห้อ ESEWAY รุ่น 305R/RB ตามมาตรฐานของ ASTM E18 ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 แผนภาพกระบวนการออสเทมเปอร์รีง



ภาพที่ 3 เครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวล (HRC)

4. ผลการวิจัย

จากการออกแบบการทดลองตามวิธีการทากูชิ เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการ ออสเทมเปอร์ริงเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น AISI D2 โดยเลือกใช้ลักษณะคุณภาพแบบยิ่งมามากยิ่งดี ดังมี รายละเอียดของผลการวิจัยต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบความแข็งตามการออกแบบการทดลอง

ผลการศึกษาค่าความแข็งที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการออสเทมเปอร์ริง ได้ผลการทดลองดัง ตารางที่ 4 พบว่า ลำดับการทดลองที่ 9 ให้ค่าความแข็งมากที่สุดตามตารางการออกแบบการทดลอง Orthogonal Arrays $L_9(3^3)$ ได้ค่าความแข็ง (HRC) เท่ากับ 62.50

ตารางที่ 4 ผลการทดลองการทดสอบค่าความแข็งของชิ้นงานโดยวิธีการทากูชิ

Experiments	Austenitizing temperature	Tempering temperature	Tempering time	Hardness (HRC)
1	1000	300	120	58.90
2	1000	250	90	60.20
3	1000	200	60	61.50
4	1020	300	90	59.75
5	1020	250	60	61.00
6	1020	200	120	61.90
7	1050	300	60	60.40
8	1050	250	120	61.25
9	1050	200	90	62.50

4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

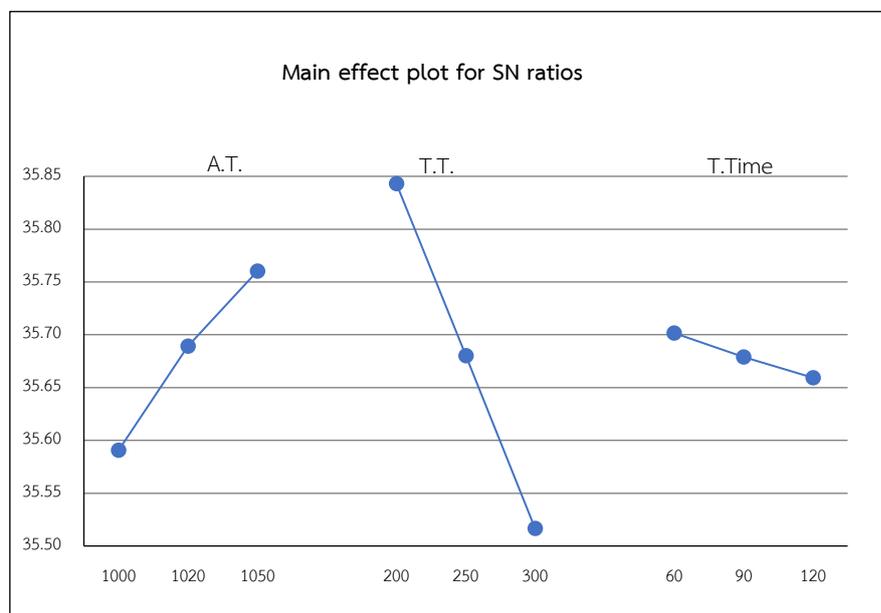
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองนี้ กำหนดระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อ วิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็ง จากผลการทดลองดังตารางที่ 4 พบว่า ค่า P-Value ของปัจจัยอุณหภูมิของออสเทนไนท์ซิงมีค่าเท่ากับ 0.001 อุณหภูมิของการอบคืนตัวมีค่า เท่ากับ 0.000 และเวลาในการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 0.018 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าทุกปัจจัยส่งผล ต่อค่าความแข็งของชิ้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็ง

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A.T.	2	2.1172	1.05861	952.75	0.001
T.T.	2	7.8206	3.91028	3519.25	0.000
T.Time.	2	0.1206	0.06028	54.25	0.018
Error	2	0.0022	0.00111		
Total	8	10.0606			

4.3 ผลของปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการออสเทมเปอร์ริง

การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการออสเทมเปอร์ริงของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากอัตราส่วน S/N ดังภาพที่ 4 ของการทดลองแบบลักษณะคุณภาพยิ่งมามากยิ่งดี ซึ่งพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการออสเทมเปอร์ริงคือ อุณหภูมิของออสเทนไนท์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,050 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 60 นาที ตามลำดับ ซึ่งสามารถพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยได้ค่าความแข็ง (HRC) มากสุดเท่ากับ 62.67



ภาพที่ 4 ผลกระทบสำหรับอัตราส่วน S/N ของค่าความแข็ง

4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของค่าพยากรณ์

ผลการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการพยากรณ์ ซึ่งประกอบด้วยค่าอุณหภูมิของ ออสเทนไนท์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,050 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 60 นาที ตามลำดับ ไปดำเนินการตามกระบวนการ ออสเทนเปอริ่งกับชิ้นงานตัวอย่าง พบว่า ได้ค่าความแข็ง (HRC) เท่ากับ 62.60 ซึ่งมีค่าความ คลาดเคลื่อนจากค่าพยากรณ์คิดเป็น 0.11%

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการออสเทนเปอริ่งของเหล็กกล้าเครื่องมือ งานเย็นโดยใช้วิธีการทากูชิ โดยกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของออสเทนไนท์ซึ่งที่ 1000 1020 และ 1050 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของการอบคืนตัวที่ 300 250 และ 200 องศาเซลเซียส เวลาในการอบคืนตัวที่ 120 90 และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่าสภาวะการทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิของออสเทนไนท์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,050 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัวมีค่าเท่ากับ 60 นาที โดยให้ค่าความแข็ง (HRC) เท่ากับ 62.60 อย่างไรก็ตามจากผลการพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยให้ค่าความแข็ง (HRC) เท่ากับ 62.67 คิด ค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์เท่ากับ 0.11% โดยผลของกระบวนการออสเทนเปอริ่งที่ได้ เป็นไปตามโครงสร้างของเบไนต์ ตามแผนภาพที่ที่ชนิดการแปลงอุณหภูมิแบบต่อเนื่องของ ASM handbook (Dossett & Totten, 2013) ซึ่งทำให้เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นมีสมบัติทางกลที่ เหมาะสมกับงานตัดเฉือน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ได้ให้ความสนับสนุนสถานที่สำหรับดำเนินการวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วง ไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

เฉลิมพล คล้ายนิล, จิณกมล ลุยจันทร์, และพงศกร หลีตระกูล. (2560). การศึกษาอิทธิพลของระยะ ช่องว่างคมตัดที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์สำหรับการตัดเหล็กกล้าความ แข็งแรงสูง. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 24(3), 1-12.
มานิช रिทินโย, ชัยวัฒน์ พิรทัตสุวรรณ, ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, พงษ์ศักดิ์ รุนกระโทก, อนุชิต คงฤทธิ์, และจิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร. (2560). ผลของกระบวนการทางความเย็นต่อปริมาณของ

- โครเมียมคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**, 12(1), 43-50.
- วัฒน์พร ชนไฮ, และอุษณีย์ กิตกัธธร. (2556). ผลของเวลาในการอบอบสแตนเลสซึ่งต่อการสึกหรอแบบขัดสีชนิดสามวัตถุของเหล็กหล่อเหนียวออสเทมเปอร์. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**, 8(2), 11-20.
- สมนึก วัฒนศรียกูล. (2557). **โลหะวิทยา** (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- Abbasi, E., Luo, Q., & Owens, D. (2018). Case study: Wear mechanisms of NiCrVMo-steel and CrB-steel scrap shear blades. **Wear**, 398–399, 29–40.
- Antony, J., & Jiju Antony, F. (2001). Teaching the Taguchi method to industrial engineers. **Work Study**, 50(4), 141–149.
- Bubphachot, B., Premanond, V., & Keawtatip, P. (2005). Optimum Heat Treatment Conditions for C45 Steel in Fine Blanking Process. **Engineering and Applied Science Research**, 32(4), 551–562.
- Deutsche Edelstahlwerke. (16 September 2021). **Cold-Work Tool Steel and High-Speed Steel**. Retrieved from https://www.dewstahl.com/fileadmin/files/dewstahl.com/documents/Publikationen/Broschueren/006_DEW_Kaltarbeitsstahl_GB.pdf.
- Dossett, J.L., Totten, G.E., & ASM Handbook Committee (Eds.). (2013). **ASM Handbook: Steel Heat Treating, Fundamentals and Processes. Volume 4A**. Asm International.
- Ghani, J.A., Choudhury, I.A., & Hassan, H.H. (2004). Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters. **Journal of Materials Processing Technology**, 145(1), 84–92.
- Hatanaka, N., Yamaguchi, K., & Takakura, N. (2003). Finite element simulation of the shearing mechanism in the blanking of sheet metal. **Journal of Materials Processing Technology**, 139(1-3 SPEC), 64–70.
- Limooei, M.B., & Hosseini, S. (2014). Optimization of heat treatment in manganese steel by Taguchi method. **Applied Mechanics and Materials**, 598, 43–46.
- Muhammad, M., Siddiqui, M.A., & Muhammad, S. (2017). Experimental investigation and optimization of process parameters for through induction hardening using



factorial design of experiments. **Journal of Engineering Research**, 5(3). 174-185.

Neugebauer, R., Bouzakis, K.D., Denkena, B., Klocke, F., Sterzing, A., Tekkaya, A. E., & Wertheim, R. (2011). Velocity effects in metal forming and machining processes. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, 60(2), 627–650.

Qamar, S.Z. (2009). Effect of heat treatment on mechanical properties of H11 tool steel. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, 35(2), 115–120.

Son, D., Kim, H., Kang, J.Y., Yun, H.Y., Lee, J.J., Park, S.K., Lee, T.H., & Lee, J. (2017). Analyses of the failures on shear cutting blades after trimming of ultra high-strength steel. **Engineering Failure Analysis**, 71, 148–156.



การศึกษาความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA ของกลุ่มผู้เรียน
จากการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง
เพื่อส่งเสริมความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี

A STUDY OF VARIANCE USING ANOVA METHOD AMONG
LEARNERS FROM THE USE OF MICRO-LEARNING TECHNOLOGY TO
ENHANCE UNDERSTANDING IN ACCOUNTING SYSTEM DESIGN

พกามาศ พุกอินทร์

Pakamas Phuk-in

สาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยอาชีวศึกษาอุตรดิตถ์ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ ประเทศไทย 53000

Bachelor of Technology Program in Accounting, Uttaradit Vocational College, Muang, Uttaradit, Thailand, 53000

Corresponding author e-mail: Pakamas02@uttvc.ac.th

วันที่เข้ารับ 31 กรกฎาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 23 สิงหาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 26 สิงหาคม 2568

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้พัฒนาบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่งที่เป็นเทคโนโลยีใหม่ สำหรับใช้ในรายวิชาระบบบัญชี กับกลุ่มประชากรผู้เรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยอาชีวศึกษาอุตรดิตถ์ โดยการดำเนินการวิจัยมีการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ออนไลน์การวางระบบบัญชี โดยใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง บนเครือข่ายโซเชียล จำนวน 9 บทเรียน และมีการตรวจสอบคุณภาพของเนื้อหา พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือและเทคโนโลยีที่ใช้ ผ่านผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการทดสอบความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA ผลการวิจัยพบว่า สมมติฐานการวิจัยที่ 1 บทเรียนไมโครเลิร์นนิ่ง ช่วยเพิ่มความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี อย่างมีนัยสำคัญกับผู้เรียนก่อนและหลังการเรียนรู้ จากค่า $F = 1,557.47 > F_{critical} = 3.95$ และสมมติฐานการวิจัยที่ 2 คะแนนก่อนและหลังเรียนรู้ของผู้เรียนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $F = 2.84 > F_{critical} = 1.44$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงบอกได้ว่า การพัฒนาบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่งมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเรียนรู้ และเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน ทั้งในภาพรวมและรายบุคคลอย่างชัดเจนกับงานวิจัยนี้

คำสำคัญ: เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง, การวางระบบบัญชี, บนเครือข่ายโซเชียล

Abstract

This study developed micro-learning lessons as an innovative approach for the Accounting System course, focusing on second-year higher vocational certificate students in the Accounting Program at Uttaradit Vocational College. A total of nine micro-learning lessons were designed and delivered through social networks to support the teaching of accounting system design. The content quality and the effectiveness of the learning tools were evaluated by experts, and the hypotheses were tested using ANOVA. The results showed that: (1) the micro-learning lessons significantly enhanced students' understanding of accounting system design, with $F = 1,557.47 > F_{\text{critical}} = 3.95$, and (2) there was a statistically significant difference between pre- and post-test scores at the 0.05 level ($F = 2.84 > F_{\text{critical}} = 1.44$). These findings indicate that the developed micro-learning lessons were effective in promoting learning and improving students' academic achievement, both overall and individually.

Keywords: Micro-learning lesson technology, Accounting system design, On social networks

1. บทนำ

การเรียนรู้ในระยะเวลาสั้น ๆ เป็นรูปแบบการเรียนรู้แบบใหม่ที่ใช้เทคโนโลยีสื่อที่มุ่งเน้นการนำเสนอเนื้อหาอย่างกระชับ ชัดเจน และตรงประเด็น เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจและจดจำสาระสำคัญได้ภายในเวลาที่จำกัด ลักษณะการเรียนรู้แบบนี้มุ่งเน้นพัฒนาความรู้และทักษะเฉพาะด้าน ช่วยให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปปรับใช้ได้จริงในชีวิตประจำวันหรือในการทำงาน นอกจากนี้ยังเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ ทำให้เกิดการกระตุ้นการคิดวิเคราะห์และต่อยอดจากความรู้เดิมที่มีอยู่ ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ (Learn, 2567) การเรียนรู้แบบไมโครเลิร์นนิง (Microlearning) เป็นแนวทางที่ตอบสนองต่อธรรมชาติการเรียนรู้ของมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สำนักงานบริหารและพัฒนาองค์ความรู้, 2568) โดยงานวิจัยของนักวิชาการชี้ให้เห็นว่า มนุษย์สามารถจดจำและรับข้อมูลได้ดีที่สุดในช่วง 5-7 นาทีแรกของการเรียนรู้ หลังจากนั้นสมาธิจะค่อย ๆ ลดลง ดังนั้น การจัดการเรียนรู้จึงควรแบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนย่อย ๆ ที่สั้น กระชับ และตรงประเด็น โดยวิเคราะห์เนื้อหาตามทฤษฎีการเรียนรู้ของบลูม (Bloom's taxonomy) ที่จำแนกการเรียนรู้ออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ พุทธิพิสัย ทักษะพิสัย และจิตพิสัย เป็นแนวคิดร่วมกับการใช้เทคโนโลยีการผลิตสื่อ ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น ลดความรู้สึกเหนื่อยล้า และสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้จริง (สยามน, 2567) แนวคิดไมโครเลิร์นนิงยังสามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบแผนการสอนหรือบทเรียนให้สอดคล้องกับบริบทของผู้เรียนแต่ละกลุ่ม



โดยเฉพาะในยุคปัจจุบันที่ผู้ต้องการการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่น รวดเร็ว และเข้าถึงได้ทุกที่ทุกเวลา (Anywhere anytime) ส่งผลให้โมโครเลิร์นนิ่งกลายเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายทอดเนื้อหา และสนับสนุนการเรียนรู้ตลอดชีวิตอย่างมีประสิทธิภาพ (Karlsen *et al.*, 2023) ปัจจุบันการเรียนรู้แบบโมโครเลิร์นนิ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ทั้งในระดับการศึกษาระดับมัธยมศึกษา ระดับต่ำกว่าอุดมศึกษา รวมถึงการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะในสายอาชีพ (Albert *et al.*, 2024)

จากการใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบโมโครเลิร์นนิ่ง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่กับการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับยุคดิจิทัลในปัจจุบัน ถือเป็นแนวทางที่เน้นการจัดเนื้อหาในลักษณะสั้น กระชับ และเรียนรู้ได้ในระยะเวลาอันสั้น โดยเนื้อหาจะถูกออกแบบให้เข้าใจง่าย นำเสนอผ่านสื่อเทคโนโลยีที่ทันสมัย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทันที โดยเฉพาะในรายวิชา ระบบบัญชี ที่พบปัญหาความซับซ้อนของเนื้อหาการเรียนรู้กับการวางระบบบัญชี ซึ่งต้องอาศัยความเข้าใจเชิงลึก (Learn, 2567) การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาสื่อการเรียนรู้ โดยการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบโมโครเลิร์นนิ่ง ในรายวิชา ระบบบัญชี สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาการบัญชี โดยใช้เนื้อหาการวางระบบบัญชีที่มีลักษณะหลากหลาย และสามารถประยุกต์ใช้ในธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมได้จริง การเรียนรู้ในรูปแบบนี้ช่วยกระตุ้นแรงจูงใจในการเรียน และส่งเสริมความพร้อมของผู้เรียนในการทำความเข้าใจเนื้อหาและประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การพัฒนา สื่อการเรียนรู้ บทเรียนแบบโมโครเลิร์นนิ่งในครั้งนี้ ได้ออกแบบให้เนื้อหาแบ่งเป็นส่วนย่อยอย่างเหมาะสมตามหัวข้อ และทฤษฎีการเรียนรู้ของบลูม เพื่อให้ผู้เรียนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางระบบบัญชีให้กับธุรกิจได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ การวิจัยได้ดำเนินการประเมินความแปรปรวนของผู้เรียนผ่านบทเรียนดังกล่าว โดยใช้การวิเคราะห์ ANOVA เพื่อศึกษาความแตกต่างด้านความรู้ ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี ในรายวิชา ระบบบัญชี ของกลุ่มประชากร โดยใช้แบบทดสอบที่ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญ มาประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้จากการใช้บทเรียนโมโครเลิร์นนิ่ง เพื่อการพัฒนาทักษะทางวิชาชีพบัญชี

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนรู้การวางระบบบัญชี โดยใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบโมโครเลิร์นนิ่ง ในการส่งเสริมการเรียนรู้ในรายวิชา ระบบบัญชี สำหรับผู้เรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยอาชีวศึกษาอุตรดิตถ์

2.2 เพื่อศึกษาความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA ของกลุ่มผู้เรียนจากการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบโมโครเลิร์นนิ่งในการส่งเสริมความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี สำหรับผู้เรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยอาชีวศึกษาอุตรดิตถ์

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ทฤษฎีเทคโนโลยีการเรียนรู้แบบไมโครเลิร์นนิ่ง ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ แสดงดังนี้

ไมโครเลิร์นนิ่ง (Microlearning) การเรียนรู้ที่ถูกคิดค้นขึ้นมาใหม่ เป็นวิธีเรียนรู้ตามธรรมชาติของมนุษย์ที่ใช้กันมานานแล้ว คำว่า micro มีรากศัพท์มาจากคำว่า μικρός (mikrós) ในภาษากรีกโบราณ มีความหมายว่า “เล็ก” ไมโครเลิร์นนิ่ง หมายถึง การเรียนรู้ที่ถูกแยกย่อยให้มีขนาดเล็กลง ตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่เฉพาะเจาะจง (Wali *et al.*, 2025) เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจและจดจำข้อมูลความรู้ได้ง่ายในเวลาอันสั้น ผ่านระบบสื่อสารที่เข้าถึงได้ทุกที่ทุกเวลาตามความสะดวกของผู้เรียน (สำนักงานบริหารและพัฒนาองค์ความรู้, 2568)

3.1.1 การเรียนรู้แบบไมโครเลิร์นนิ่ง ช่วยยกระดับสมรรถนะและการจดจำ หนึ่งในประโยชน์สำคัญของการเรียนรู้แบบไมโคร คือ การช่วยให้ผู้เรียนสามารถจดจำเนื้อหาได้ดีขึ้นและคงความรู้ได้นานขึ้น งานวิจัยทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับความจำของมนุษย์เผยให้เห็นว่า มนุษย์มีแนวโน้มที่จะลืมข้อมูลอย่างรวดเร็วหลังจากเรียนรู้ โดย "เส้นโค้งแห่งการลืม" ของเฮอermannน์ เอบิงเฮาส์ นักจิตวิทยาชาวเยอรมัน แสดงให้เห็นว่า ภายในเวลาเพียง 20 นาที หลังจากจบบทเรียน ผู้เรียนจะลืมเนื้อหาที่เรียนไปแล้วถึงร้อยละ 50 และภายใน 9 ชั่วโมง จะลืมไปอีกประมาณร้อยละ 10 หากไม่มีการทบทวนหรือเรียนซ้ำ ข้อมูลจะหลงเหลืออยู่ร้อยละ 24 หลังจากผ่านไป 31 วัน (Company ELearning, 2024) รูปแบบของไมโครเลิร์นนิ่ง ซึ่งเน้นการเรียนรู้ในช่วงสั้น ๆ แบบย่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง จึงช่วยลดปัญหานี้ได้ดี เพราะเปิดโอกาสให้ผู้เรียนสามารถกลับมาเรียนซ้ำหรือทบทวนเนื้อหาได้บ่อยครั้ง ซึ่งช่วยให้เกิดการจดจำระยะยาว และเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ให้เห็นผล

3.1.2 เทคโนโลยีไมโครเลิร์นนิ่งช่วยเพิ่มการมีส่วนร่วมและประสิทธิภาพในการทำงาน การเรียนรู้แบบไมโครเลิร์นนิ่ง แสดงให้เห็นถึงความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีหลายองค์กรให้ความสำคัญและนำมาใช้มากขึ้น จากการศึกษาของสมาคมการบริหารทรัพยากรมนุษย์ (Society for human resource management) (Nadia *et al.*, 2025) พบสถิติว่า องค์กรที่นำไมโครเลิร์นนิ่งมาใช้ในการฝึกอบรม มีระดับการมีส่วนร่วมและประสิทธิภาพของพนักงานเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 130 เมื่อเทียบกับองค์กรที่ยังไม่ได้ใช้แนวทางนี้ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบเชิงบวกของไมโครเลิร์นนิ่งต่อประสิทธิภาพโดยรวมขององค์กรอย่างชัดเจน ด้วยการนำเสนอเนื้อหาขนาดสั้นที่ตรงประเด็นและเฉพาะเจาะจง ไมโครเลิร์นนิ่งจึงสามารถดึงดูดความสนใจของผู้เรียน ทำให้พนักงานหรือผู้เรียน มีแรงจูงใจและมีส่วนร่วมกับการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้สามารถจดจำข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น และสามารถนำความรู้ใหม่ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Company ELearning, 2024)



3.2 ทบทวนวรรณกรรมกับงานวิจัย

Albert *et al.* (2024) ศึกษาการใช้เทคโนโลยีไมโครเลิร์นนิ่ง ในบริบทการออกแบบเนื้อหา ในหลักสูตรธุรกิจ โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากสตาร์ทอัปด้านเทคโนโลยีการศึกษา และประเมินผลผ่าน ความพึงพอใจและประสิทธิภาพของผู้เรียน ผลการวิจัยพบว่า ไมโครเลิร์นนิ่งช่วยเสริมสร้างการเรียนรู้ ใน 4 ด้าน ได้แก่ ความเพลิดเพลินในการเรียน การอัปเดตความรู้ การเรียนรู้แบบไม่คาดคิด และการ เรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งยังช่วยเติมเต็มช่องว่างทางวิชาการได้อย่างมีนัยสำคัญ

ศยามน (2567) การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของไมโคร เลิร์นนิ่ง เพื่อการเรียนรู้เชิงรุกแบบออนไลน์สำหรับผู้เรียนวิชาชีพครู โดยใช้รูปแบบการทดลองแบบ One group pre-test post-test design กับกลุ่มตัวอย่าง 155 คน จากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ผลการวิจัยพบว่า สื่อมีคุณภาพในระดับดีมาก ($M = 4.54$) คะแนนหลัง เรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และความพึงพอใจของผู้เรียนอยู่ในระดับ มากที่สุด ($M = 4.52$) แสดงให้เห็นว่าการใช้ไมโครเลิร์นนิ่งมีประสิทธิภาพและได้รับความพึงพอใจจาก ผู้เรียนสูง

Karlsen *et al.* (2023) ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการเรียนรู้แบบไมโครเลิร์นนิ่งที่ ควบคุมตนเองของพนักงานในองค์กร ผ่านกรณีศึกษาบริษัทค้าปลีกในประเทศสวีเดน โดยเก็บข้อมูล จากการสัมภาษณ์ประชากรจำนวน 13 คน ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพล 8 ประการ โดย 5 ปัจจัย จะสอดคล้องกับงานวิจัยเดิม และค้นพบปัจจัยใหม่อีก 3 ประการ ได้แก่ การกำหนดลำดับ ความสำคัญ การใช้แพลตฟอร์มอื่นร่วมกัน และเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน ช่วยเพิ่มความเข้าใจ และแนวทางพัฒนาแพลตฟอร์มการเรียนรู้ในองค์กรให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ (2567); Nadia *et al.* (2025) ได้นำเสนอทฤษฎีของบลูม (Benjamin Samuel bloom) นักการศึกษาชาวอเมริกันที่มองว่าการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพต้องอาศัยทั้ง พฤติกรรมการเรียนรู้และพื้นฐานทางจิตวิทยา โดยบลูมได้จำแนกการเรียนรู้ออกเป็น 3 ด้านหลัก ได้แก่ ด้านพุทธิพิสัย ด้านทักษะพิสัย และด้านจิตพิสัย ซึ่งเรียกรวมกันว่า Bloom's taxonomy หรือ “ระดับขั้นความสามารถ ของบลูม” อันเป็นการกำหนดจุดมุ่งหมายทางการศึกษาใน ด้านพุทธิพิสัย (Cognitive domain) มุ่งเน้นการพัฒนาทางสติปัญญา เริ่มตั้งแต่ความรู้ ความเข้าใจ การนำไปใช้ การ วิเคราะห์ การสังเคราะห์ ไปจนถึงการประเมินค่า ส่วน ด้านทักษะพิสัย (Psychomotor domain) เน้นการพัฒนาทักษะทางกาย เช่น การเคลื่อนไหวร่างกาย การประสานงานของอวัยวะหลายส่วน การ ใช้ท่าทางในการสื่อสาร รวมถึงการพูดและแสดงออกอย่างเหมาะสม ขณะที่ ด้านจิตพิสัย (Affective domain) เกี่ยวข้องกับความรู้สึกและค่านิยมของผู้เรียน โดยเริ่มจากการรับรู้ การตอบสนอง การสร้าง ค่านิยม การจัดระบบความคิด และการหล่อหลอมเป็นคุณลักษณะประจำตน จึงบอกได้ว่าทฤษฎี

ของบลูมเป็นแนวทางที่ช่วยให้เข้าใจมิติของการเรียนรู้อย่างรอบด้าน ทั้งด้านสติปัญญา ทักษะ และ จิตใจ ซึ่งล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญในการพัฒนาผู้เรียนอย่างสมบูรณ์

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถนำไปต่อยอดและพัฒนาได้ใน หลายมิติ อาทิ การพัฒนาแพลตฟอร์มไมโครเลิร์นนิ่งที่สอดคล้องกับบริบทของผู้เรียน โดยอ้างอิง แนวทางของ Karlsen *et al.* (2023) เพื่อสร้างระบบการเรียนรู้ที่มีความยืดหยุ่น พร้อมทั้งประยุกต์ใช้ ทฤษฎี Bloom's taxonomy หรือ “ระดับชั้นความสามารถของบลูม” ซึ่งกำหนดจุดมุ่งหมายทางการ ศึกษาใน 3 ด้าน ได้แก่ พุทธิพิสัย จิตพิสัย และทักษะพิสัย (วรวิทย์, 2567) เพื่อให้รองรับความ ต้องการของผู้เรียนทั้งในองค์กรและสถานศึกษา นอกจากนี้ยังสามารถผสมผสานแนวคิดของศยามน อินสะอาด เพื่อเสริมสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ อันเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบหลักสูตรไมโคร เลิร์นนิ่งที่มุ่งเน้นผลลัพธ์เชิงระบบ (Nadia *et al.*, 2025) ควบคู่กับการพัฒนาเครื่องมือประเมินผลที่ เหมาะสมกับรูปแบบการเรียนรู้ดังกล่าว ทั้งในด้านพฤติกรรมการเรียนรู้ ประสิทธิภาพการเรียนรู้ และ ระดับความพึงพอใจ เพื่อสะท้อนผลสัมฤทธิ์ด้านประสิทธิภาพที่สอดคล้องกับกรอบแนวคิดและ วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

3.3 ทฤษฎีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้สำหรับ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรหรือกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่สองกลุ่มขึ้นไป ในการวิเคราะห์ผล ครั้งเดียว เพื่อเป็นการหาประสิทธิภาพของข้อมูลที่ทำกรทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบว่า ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นกับการทดลองนั้น มีนัยสำคัญทางสถิติ หรือเป็นเพียงผลของความ ผันแปรโดยบังเอิญ (Jankovic *et al.*, 2021) วิธีการนี้ได้รับการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายใน หลากหลายสาขา อาทิ วิทยาศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ บริหารธุรกิจ และอุตสาหกรรม เพื่อประเมิน ประสิทธิภาพของกระบวนการ วัสดุดิบ หรือวิธีการที่แตกต่างกัน (Mustapha *et al.*, 2021) การ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์ ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) โดยในกรณีของ Two-way ANOVA จะสามารถศึกษาผลกระทบของสองปัจจัยหลักได้ พร้อมกัน รวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบร่วม (Interaction effects) ระหว่างปัจจัยเหล่านั้น นอกจากนี้ ยังสามารถแบ่งกลุ่มย่อยหรือใช้การจัดบล็อก (Blocking) เพื่อควบคุมอิทธิพลของตัวแปร ปรวนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการศึกษา อันเป็นการเพิ่มความแม่นยำของผลการวิเคราะห์ (ปารเมศ, 2545; Myers *et al.*, 2016; ภาขรดิษฐ์ และวราวุธ, 2566)

จากการจัดการเรียนการสอนในรายวิชา ระบบบัญชี ซึ่งเป็นรายวิชาที่มีความสำคัญสำหรับ ผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาการบัญชี โดยวิชานี้ผู้เรียน จะต้องมีความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชีให้กับธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ผู้วิจัยจึง เล็งเห็นความจำเป็นในการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ที่สามารถช่วยส่งเสริมความรู้ความเข้าใจในการวาง

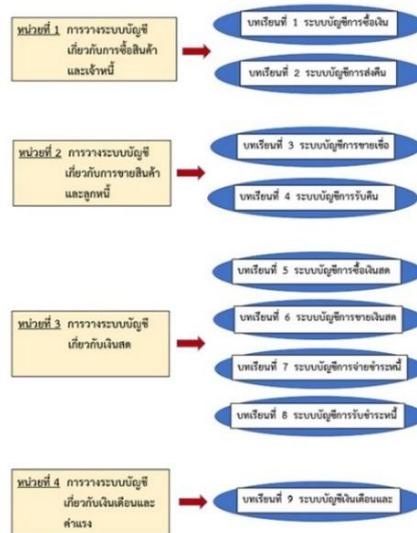
ระบบบัญชี โดยมุ่งเน้นการจัดการเรียนรู้ผ่านบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง ซึ่งมีจุดเด่นในการนำเสนอเนื้อหาอย่างกระชับ ชัดเจน และใช้เวลาสั้น เหมาะสมกับลักษณะการเรียนรู้ของผู้เรียนในยุคดิจิทัล ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาสื่อการเรียนรู้การวางระบบบัญชี โดยการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง บนเครือข่ายโซเชียล เพื่อให้เข้าถึงง่ายและสามารถเรียนรู้ได้ทุกที่ทุกเวลา จากนั้น นำบทเรียนดังกล่าวไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน โดยเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการเรียนรู้ของผู้เรียน นอกจากนี้ ยังได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบสองทาง เพื่อพิจารณาความแตกต่างของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ในการวางระบบบัญชี ในรายวิชา ระบบบัญชี ให้มีคุณภาพและสอดคล้องกับความต้องการของผู้เรียนได้อย่างแท้จริง โดยการวิจัยนี้มุ่งออกแบบและวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยของการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่งบนเครือข่ายสังคมออนไลน์ โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ก่อนและหลังการเรียนรู้ พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลหลัก (Main effect) ของปัจจัยดังกล่าวต่อผู้เรียน กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยนักศึกษาจำนวน 3 ห้องเรียน ได้แก่ ห้อง 2/1, ห้อง 2/2 และห้อง 2/4 ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชา ระบบบัญชี รวมทั้งสิ้น 82 คน ในการวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติ ANOVA แบบสองทาง เพื่อทดสอบว่าปัจจัยที่ศึกษา มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์การเรียนรู้หรือไม่ โดยพิจารณาที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

3.4 การพัฒนาเทคโนโลยีไมโครเลิร์นนิ่ง การออกแบบพัฒนาสื่อการเรียนรู้การวางระบบบัญชี โดยการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง บนเครือข่ายโซเชียล แสดงดังนี้

การออกแบบการพัฒนาเทคโนโลยีไมโครเลิร์นนิ่งกับการจัดการเรียนรู้ในรายวิชา ระบบบัญชี ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาสื่อการเรียนรู้การวางระบบบัญชีรูปแบบบทเรียนไมโครเลิร์นนิ่ง ที่ใช้การทำงานบนเครือข่ายโซเชียล โดยอ้างอิงตามกระบวนการปฏิบัติงานของระบบบัญชีในธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ซึ่งเป็นบริบทที่ผู้เรียนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง โดยเริ่มจากการวิเคราะห์รายละเอียดของรายวิชา "ระบบบัญชี" ประกอบด้วยจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา ซึ่งรายวิชานี้มีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับ ระบบบัญชีที่สามารถออกแบบระบบบัญชีสำหรับธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมได้อย่างถูกต้อง และปลูกฝัง เจตคติที่ดีในการปฏิบัติงาน ครบถ้วน และเป็นระบบ โดยสมรรถนะหลักที่ผู้เรียนควรมี คือ ความรู้ในระบบบัญชี การควบคุมภายใน และทักษะในการออกแบบระบบบัญชีตามลำดับขั้นตอนอย่างถูกต้อง เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงและเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื้อหาเหล่านี้จึงถูกออกแบบให้เป็นชุดบทเรียนสั้น ๆ จำนวน 9 บทเรียน ได้แก่ ระบบบัญชีการเงินเชื่อ การส่งคืน การขายเงินเชื่อการรับคืน การซื้อเงินสด การขายเงินสด การจ่ายชำระหนี้ การรับชำระหนี้ และบัญชีเงินเดือนและค่าแรง โดยรูปแบบไมโครเลิร์นนิ่งที่พัฒนามีเนื้อหาไม่ซับซ้อน ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง ทุกที่ทุก

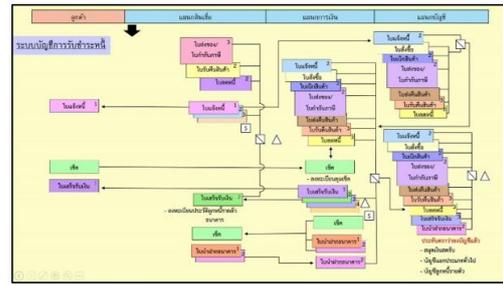
เวลาผ่านอุปกรณ์พกพา ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการเรียนรู้ในยุคดิจิทัล และตามทฤษฎี การเรียนรู้ของบลูม

3.4.1 ชั้นการจำแนกผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับจากการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบตามชุดบทเรียน คือ ผู้เรียนสามารถนำความรู้และทักษะที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการวางระบบบัญชีให้กับธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมได้อย่างถูกต้อง แม้จะอยู่ในบริบทที่หลากหลาย แตกต่างกัน โดยสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้และสมรรถนะของรายวิชาอย่างเต็มศักยภาพ ดังแสดงภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างบทเรียนการวางระบบบัญชี 9 บทเรียน

3.4.2 ขั้นตอนการพัฒนา ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการเรียนรู้ที่แบ่งเนื้อหาออกเป็น 9 บทเรียน มาพัฒนาสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบไมโครเลิร์นนิ่ง ผู้วิจัยได้ออกแบบเนื้อหาและกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละบทให้เหมาะสมกับลำดับกระบวนการวางระบบบัญชี โดยครอบคลุมหัวข้อสำคัญ เช่น ระบบบัญชีเกี่ยวกับการซื้อสินค้าและเจ้าหนี้ ระบบบัญชีเกี่ยวกับการขายสินค้าและลูกหนี้ ระบบบัญชีเกี่ยวกับเงินสด และระบบบัญชีเกี่ยวกับเงินเดือนและค่าแรงงาน ซึ่งสอดคล้องกับบริบทของธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) พร้อมทั้งออกแบบสื่อให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถเผยแพร่ที่ตอบสนองต่อพฤติกรรมการเรียนรู้ในยุคดิจิทัล ดังแสดงภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างการพัฒนาบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง ในรายวิชา "ระบบบัญชี"

3.4.3 ผู้วิจัยได้ดำเนินการตรวจสอบคุณภาพของสื่อการเรียนรู้แบบไมโครเลิร์นนิ่งโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้มั่นใจว่าสื่อมีความเหมาะสม ครบคลุม และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของรายวิชา การประเมินครอบคลุมทั้งด้านเนื้อหา ด้านภาพ ภาษา สัญลักษณ์ และเสียง ด้านการจัดการสื่อการเรียนรู้บนเครือข่ายโซเชียล เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการวิจัยให้ผู้เชี่ยวชาญในสาขา จำนวน 3 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสื่อการเรียนรู้ จำนวน 2 ท่าน กับการวิจัยนี้ การได้รับข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ ถือเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้ผู้วิจัยสามารถปรับปรุงและพัฒนาสื่อการเรียนรู้ให้มีคุณภาพสูงสุดก่อนนำไปทดลองใช้จริงกับกลุ่มผู้เรียน

3.5 การหาประสิทธิภาพเครื่องมือ ในการใช้เทคโนโลยีพัฒนาบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง เพื่อส่งเสริมความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) มีวิธีการดำเนินงานดังนี้

3.5.1 การเลือกประชากรและกลุ่มตัวอย่าง แบบเจาะจง กับผู้เรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยอาชีวศึกษาอุดรดิตถ์ ห้อง 2/1, 2/2 และห้อง 2/4 ที่เรียนในรายวิชา ระบบบัญชี รหัสวิชา 30201-2101 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 82 คน

3.5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้ออกแบบสื่อการเรียนรู้และการประเมินคุณภาพ ดังนี้

3.5.2.1 การตรวจสอบคุณภาพสื่อการเรียนรู้การวางระบบบัญชีจากการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง บนเครือข่ายโซเชียล ในรายวิชา ระบบบัญชี ที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้ว

3.5.2.2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนการวางระบบบัญชี ในรายวิชา ระบบบัญชี

3.5.3 การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาความแปรปรวนของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ โดยใช้กระบวนการจัดการเรียนการสอนที่บูรณาการสื่อการเรียนรู้เกี่ยวกับการวางระบบบัญชี ผ่านเทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง บนเครือข่ายสังคมออนไลน์ ในรายวิชา ระบบบัญชี สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาการบัญชี



การเก็บข้อมูลดำเนินการโดยการทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทั้งก่อนและหลังเรียน แล้วนำผลคะแนนมาวิเคราะห์เปรียบเทียบความแปรปรวนด้วยสถิติ ANOVA แบบสองทาง โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 หรือระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อทดสอบสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติ 2 ประการ ที่เกี่ยวข้องกับความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชีในรายวิชา ระบบบัญชี โดยพิจารณาจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้จากการทดสอบก่อนและหลังเรียน ทั้งในเชิงภาพรวมของผู้เรียนและรายบุคคล เพื่อศึกษาความแตกต่างทางสถิติของผลการเรียนรู้ ซึ่งสามารถกำหนดสมมติฐานการวิจัยได้ดังนี้

สมมติฐานการวิจัยที่ 1 ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี ในรายวิชา ระบบบัญชี ที่แตกต่างกันระหว่างก่อนและหลังการเรียนรู้หรือไม่

H_0 : ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชีในรายวิชา ระบบบัญชี ที่ไม่แตกต่างกันระหว่างก่อนและหลังการเรียนรู้

H_1 : ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชีในรายวิชา ระบบบัญชี ที่แตกต่างกันระหว่างก่อนและหลังการเรียนรู้

$$\text{หรือ } H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ และ } H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

สมมติฐานการวิจัยที่ 2 ผู้เรียนแต่ละคนมีความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี ก่อนและหลังการเรียนรู้ในรายวิชา ระบบบัญชี ที่มีความแตกต่างกันหรือไม่

H_0 : ผู้เรียนแต่ละคนมีความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี ก่อนและหลังการเรียนรู้ ในรายวิชา ระบบบัญชี ที่ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ผู้เรียนแต่ละคนมีความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี ก่อนและหลังการเรียนรู้ ในรายวิชา ระบบบัญชี ที่แตกต่างกัน

$$\text{หรือ } H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots \dots \dots = \mu_{82} \text{ และ } H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \dots \dots \dots \neq \mu_{82}$$

4. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยได้จากเครื่องมือที่ใช้ คือ การศึกษาความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA ของกลุ่มผู้เรียนจากการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง เพื่อส่งเสริมความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี แสดงผลการวิจัยดังนี้

4.1 การหาค่าความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA แบบสองทาง ของกลุ่มผู้เรียนจากการใช้บทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง โดยการวิจัยได้ใช้สื่อการเรียนรู้การวางระบบบัญชีจากการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง บนเครือข่ายโซเชียล สำหรับผู้เรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ

ชั้นสูงชั้นปีที่ 2 สาขาวิชา การบัญชี วิทยาลัยอาชีวศึกษาอุดรดิตต์ ห้อง 2/1, 2/2 และห้อง 2/4 ที่เรียนในรายวิชา ระบบบัญชี รหัสวิชา 30201-2101 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 ซึ่งมีการเก็บข้อมูลผลคะแนนก่อนและหลังการเรียนรู้ ของผู้เรียนจำนวน 82 คน ผู้วิจัยนำข้อมูลค่าระดับผลคะแนนมาเปรียบเทียบความแปรปรวนของคะแนนก่อนและหลังการเรียนรู้ โดยใช้วิธี ANOVA แบบสองทาง เพื่อสืบทราบความแปรปรวนของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ของผู้เรียน ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

การวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นกับการทดลองด้วยวิธี ANOVA แบบสองทาง จากค่าการทดลองวัดจากค่าระดับคะแนนก่อนและหลังการเรียนรู้ แทนค่าสูตรคำนวณ ดังนี้

$$CM = \frac{(\sum \sum x_{ij})^2}{n} = \frac{4,183^2}{164} \quad CM = 106,692.01$$

ความแปรปรวนรวม (Total Groups Sum of Square : SST) แทนค่าจากสูตร (โดยการนำข้อมูลคะแนนสอบของผู้เรียนก่อนการเรียนรู้และหลังการเรียนรู้มายกกำลังสองและรวมผล-CM)

$$SST = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c x_{ij}^2 - CM \\ = [28^2 + 20^2 + 18^2 + 19^2 + 20^2 + \dots + 31^2] - 106,692.01$$

$$SST = 122,055 - 106,692.01 \quad SST = 15,362.99$$

ความแปรปรวนของผลรวมกำลังสองของทรีตเมนต์ (Sum of Squares for Treatment : SSA) แทนค่าจากสูตร (นำผลรวมของกลุ่มผู้เรียนทั้งก่อนและหลังในแนวคอลัมน์มายกกำลังสองแล้วหารด้วยจำนวนผู้เรียน-CM)

$$SSA = \sum_{j=1}^c \frac{T_j^2}{n_j} - CM \\ = \left[\frac{1,367^2}{82} + \frac{2,816^2}{82} \right] - 106,692.01$$

$$= [119,494.45] - 106,692.01 \quad SSA = 12,802.44$$

ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between Groups Sum of Square : SSB) แทนค่าจากสูตร (นำผลรวมของกลุ่มผู้เรียนทั้งก่อนและหลังในแนวแถวมายกกำลังสองหารด้วยจำนวนกลุ่มก่อนและหลังการเรียนรู้-CM)



$$SSB = \sum_{i=1}^r \frac{T_i^2}{n_i} - CM$$

$$= \left[\frac{67^2}{2} + \frac{54^2}{2} + \frac{53^2}{2} + \dots + \frac{41^2}{2} \right] - 106,692.01$$

$$= [108,586.50] - 106,692.01 \quad SSB = 1,894.49$$

ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within Group Sum of Square : SSE) แทนค่าจากสูตร

$$SSE = SST - SSA - SSB = (15,362.99 - 12,802.44 - 1,894.49)$$

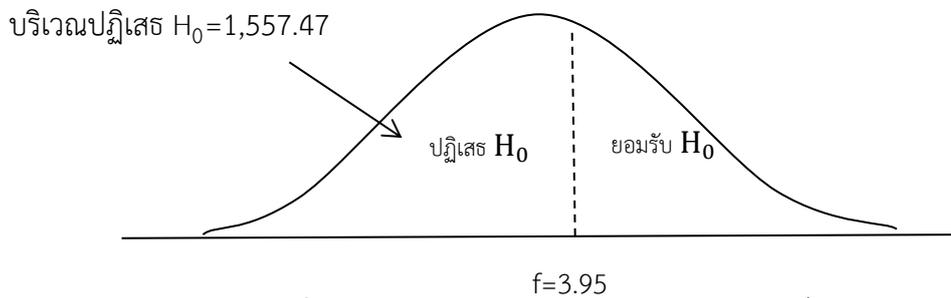
$$SSE = 666.06$$

จากการคำนวณ นำมาใส่ค่าในตาราง เพื่อวิเคราะห์ค่า ANOVA แบบสองทาง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงตารางสถิติการวิเคราะห์ ANOVA แบบสองทาง

แหล่งความแปรปรวน (Source of variation)	องศา อิสระ (Df)	ผลรวมกำลังสอง (Sum of square: SS)	ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย (Mean of square: MS)	ค่าตัว สถิติ (F)
ระหว่างทรีทเมนต์	1	12,802.44	12,802.44	1,557.47
ระหว่างบล็อก	81	1,894.49	23.38	2.84
ความคลาดเคลื่อน	81	666.06	8.22	
รวม	163	15,362.99		

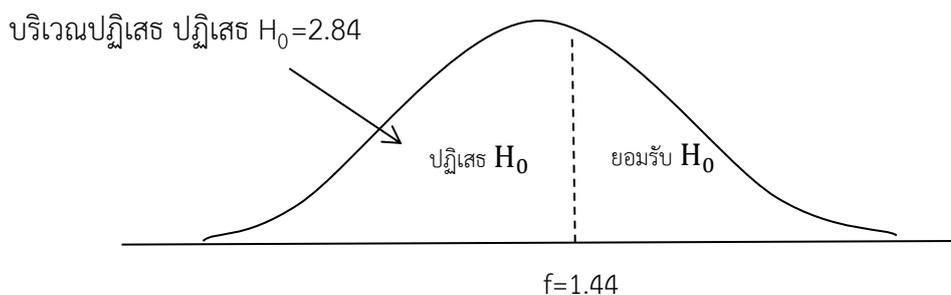
จากตารางที่ 1 แสดงการแทนค่าวิเคราะห์ ANOVA แบบสองทาง กับสมมติฐานการวิจัยที่ 1 ตารางแจกแจงแบบ f ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หรือ $\alpha = 0.05$ ได้ค่า f เปิดตาราง $f_{0.05,1,81} = 3.95$ ได้ค่าจากการคำนวณ 1,557.47 จากสมมติฐานการวิจัยที่ 1 พบว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ คือ ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชีในรายวิชา ระบบบัญชี ที่แตกต่างกันระหว่างก่อนและหลังการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 หรือระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงภาพการทดสอบสมมติฐานการวิจัยที่ 1

จากภาพที่ 3 แสดงภาพการทดสอบสมมติฐานการวิจัยที่ 1 พบว่า ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชีในรายวิชา ระบบบัญชี ที่แตกต่างกันระหว่างก่อนและหลังการเรียนรู้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 หรือระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ค่า F จากการคำนวณได้เท่ากับ 1,557.47 และได้ค่าวิกฤตจากการเปิดตารางมีค่าเท่ากับ 3.95 แสดงว่าค่า F จากการคำนวณ อยู่ในขอบเขตปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงให้เห็นถึงการจัดการเรียนการสอนที่ใช้สื่อการเรียนรู้การวางระบบบัญชีจากการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง บนเครือข่ายโซเซียล ในรายวิชา ระบบบัญชี เกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยอาชีวศึกษาอุดรดิตต์ ห้อง 2/1, 2/2 และห้อง 2/4 ที่เรียนในรายวิชา ระบบบัญชี รหัสวิชา 30201-2101 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 82 คน

จากตารางที่ 1 แสดงการแทนค่าวิเคราะห์ ANOVA แบบสองทาง กับสมมติฐานการวิจัยที่ 2 ตารางแจกแจงแบบ f ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หรือ $\alpha = 0.05$ ได้ค่า f เปิดตาราง $f_{0.05,81,81} = 1.44$ ได้ค่าจากการคำนวณ 2.84 จากสมมติฐานการวิจัยจึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \dots \dots \neq \mu_{82}$ คือ ผู้เรียนแต่ละคนมีความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี ก่อนและหลังการเรียนรู้ ในรายวิชา ระบบบัญชี ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 หรือระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงภาพการทดสอบสมมติฐานการวิจัยที่ 2



จากภาพที่ 4 แสดงภาพการทดสอบสมมติฐานการวิจัยที่ 2 พบว่า ผู้เรียนแต่ละคนมีความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี ก่อนและหลังการเรียนรู้ ในรายวิชา ระบบบัญชี ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 หรือระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ค่า F จากการคำนวณได้เท่ากับ 2.84 และได้ค่าวิกฤตจากการเปิดตารางมีค่าเท่ากับ 1.44 แสดงว่าค่า F จากการคำนวณอยู่ในขอบเขตปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงให้เห็นถึงการจัดการเรียนการสอนที่ใช้สื่อการเรียนรู้การวางระบบบัญชีจากการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่งบนเครือข่ายโซเชียล ในรายวิชา ระบบบัญชี เกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยอาชีวศึกษาอุดรดิตต์ ห้อง 2/1, 2/2 และห้อง 2/4 ที่เรียนในรายวิชา ระบบบัญชี รหัสวิชา 30201-2101 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 82 คน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้วิธี ANOVA แบบสองทาง จากการทดสอบสมมติฐานการวิจัยทั้ง 2 ข้อ พบว่า สื่อการเรียนรู้การวางระบบบัญชีจากการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง บนเครือข่ายโซเชียล มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี ของผู้เรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยอาชีวศึกษาอุดรดิตต์ ห้อง 2/1, 2/2 และห้อง 2/4 ที่เรียนในรายวิชา ระบบบัญชี รหัสวิชา 30201-2101 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 82 คน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การวิจัยนี้ ทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการพัฒนาบทเรียนจากการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง เพื่อส่งเสริมความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชีในรายวิชา ระบบบัญชี ที่ดีขึ้นส่งผลให้มีการพัฒนาองค์ความรู้ของผู้เรียนแต่ละคนอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การนำบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง บนเครือข่ายโซเชียล ในรายวิชา ระบบบัญชี สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนรู้ในการจัดการเรียนการสอนที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ของผู้เรียนได้อย่างเหมาะสม

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การวิจัยนี้มีการพัฒนาบทเรียนจากการใช้เทคโนโลยีแบบไมโครเลิร์นนิ่ง เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ในรายวิชา ระบบบัญชี สำหรับผู้เรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยอาชีวศึกษาอุดรดิตต์ ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการตรวจสอบคุณภาพของเนื้อหาและสื่อการเรียนรู้แบบไมโครเลิร์นนิ่งโดยผู้เชี่ยวชาญ ควบคู่กับการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือและการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบทเรียนไมโครเลิร์นนิ่ง เพื่อให้สื่อมีความเหมาะสมสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของรายวิชา และก่อนนำไปใช้ร่วมกับการสร้างแบบทดสอบก่อนและหลังการเรียนรู้ ซึ่งคะแนนที่ได้นำมาศึกษาความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA แบบสองทางของกลุ่มผู้เรียนจากการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง เพื่อส่งเสริมความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชี



พบว่า สมมติฐานการวิจัยที่ 1 ได้ค่า F เท่ากับ $1,557.47 >$ ค่าวิกฤต f เท่ากับ 3.95 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงว่าบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่งช่วยเพิ่มความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชีในรายวิชา ระบบบัญชี ได้จริง และสมมติฐานการวิจัยที่ 2 ได้คะแนนของผู้เรียนแต่ละคนก่อนและหลังเรียนรู้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยได้ค่า F เท่ากับ $2.84 >$ ค่าวิกฤต f เท่ากับ 1.44 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงว่าบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่งมีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้นของผู้เรียนแต่ละคน การวิจัยนี้จึงบอกได้ว่าการใช้บทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่งบนเครือข่ายโซเชียลในรายวิชา ระบบบัญชี ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนได้อย่างชัดเจนและมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในภาพรวมและรายบุคคล

การอภิปรายผล กับการวิจัยการพัฒนาเทคโนโลยีบทเรียนไมโครเลิร์นนิ่ง เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ในรายวิชา ระบบบัญชี พบว่า ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนก่อนและหลังการเรียนรู้ด้วยวิธี ANOVA แบบสองทาง ยังสนับสนุนข้อค้นพบดังกล่าว โดยสมมติฐานการวิจัยที่ 1 พบว่า คะแนนก่อนและหลังการเรียนรู้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F = 1,557.47 > f$ วิกฤต $= 3.95$) ซึ่งสะท้อนว่าบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง มีผลต่อการพัฒนาความรู้ความเข้าใจในการวางระบบบัญชีในรายวิชา ระบบบัญชี ได้อย่างชัดเจน ขณะที่สมมติฐานการวิจัยที่ 2 พบว่า คะแนนของผู้เรียนแต่ละคนมีคะแนนก่อนการเรียนรู้ และหลังเรียนรู้ มีความแตกต่างกัน โดยมีคะแนนหลังเรียนรู้สูงขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F = 2.84 > f$ วิกฤต $= 1.44$) แสดงว่าการใช้เทคโนโลยีบทเรียนแบบไมโครเลิร์นนิ่ง ส่งผลดีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ของผู้เรียนเป็นรายบุคคล

ผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับแนวคิดการเรียนรู้ตามทฤษฎีการเรียนรู้ของบลูม (Bloom's taxonomy) ซึ่งกำหนดจุดมุ่งหมายทางการศึกษาไว้ 3 ด้าน ได้แก่ พุทธิพิสัย ทักษะพิสัย และจิตพิสัย อันเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาผู้เรียน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับแนวทางของ Albert *et al.* (2024) ที่ชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการเรียนรู้แบบไมโครเลิร์นนิ่งที่นำมาปรับใช้ที่ช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน ซึ่งมุ่งเน้นการนำเสนอเนื้อหาย่อย ๆ ที่กระชับ เข้าใจง่าย และสามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบหลักสูตรด้านธุรกิจ โดยเข้าถึงได้สะดวกผ่านสื่อดิจิทัลอันเหมาะสมกับพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนในยุคปัจจุบัน ขณะเดียวกันยังสอดคล้องกับงานของศยามน อินสะอาด (2567) ที่มุ่งพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของไมโครเลิร์นนิ่งเพื่อการเรียนรู้เชิงรุกแบบออนไลน์ โดยเฉพาะเมื่อเชื่อมโยงกับแพลตฟอร์มเครือข่ายสังคมออนไลน์ที่ผู้เรียนใช้งานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งช่วยกระตุ้นการมีส่วนร่วมทางการเรียนรู้ และส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการพัฒนาบทเรียนด้วยเทคโนโลยีไมโครเลิร์นนิ่งบนเครือข่ายสังคมออนไลน์ เป็นสื่อการเรียนรู้ที่มีศักยภาพในการยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและพัฒนาทักษะการเรียนรู้ของผู้เรียนได้ทั้งในภาพรวมและรายบุคคล และการวิจัยนี้ยังเผยแพร่ไปยังสำนักงานอาชีวศึกษาจังหวัดอุดรธานี เว็บไซต์

วิทยาลัย และชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพบัญชี (PLC) เป็นแนวทางในการที่จะพัฒนาใช้กับวิชาอื่น ๆ ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากการสนับสนุนจากคณะครูสาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยอาชีวศึกษาอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ ชมรมวิชาชีพครูบัญชี และผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาการบัญชี ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินการวิจัย และการเผยแพร่ผลการพัฒนาสื่อการเรียนรู้กับงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- ปารเมศ ชูติมา. (2545). **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภรดิษฐ์ แสงจิตต์, และวราวุธ พันธุ์บุญมี. (2566). การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการกลึงขึ้นรูปวัสดุ KCF Guide Pin โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง: บริษัทยูเคเอ็นจีเนียร์ริงแอนด์ซัพพลาย จำกัด. **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**, 13(1), 35-47.
- วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. (2567). **ระดับชั้นความสามารถของบลูม (Bloom's Taxonomy)**. สืบค้นจาก https://sci.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=11322
- ศยามน อินสะอาด. (2567). การพัฒนาไมโครเลิร์นนิ่งแบบเกมเพื่อการเรียนรู้เชิงรุกแบบออนไลน์สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครู. **วารสารเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา**, 17(23), 43-57. สืบค้นจาก <https://www.tci-thaijo.org/>
- สำนักงานบริหารและพัฒนาองค์ความรู้. (2568). **ไมโครเลิร์นนิ่ง (Microlearning): บทเรียนฉบับกระเป๋ เล็ก ๆ แต่รู้ลึก**. สืบค้นจาก <https://www.okmd.or.th>
- Albert, R., Andrea B., & Pilar M. (2024). Exploring learner satisfaction and the effectiveness of microlearning in higher education. **The Internet and Higher Education**, 62, 100952. Doi: 10.1016/j.iheduc.2024.100952
- Company ELearning. (2024). **Why Microlearning Is A Game-changer for Corporate Training**. Retrieved from <https://www.shiftelearning.com>
- Karlsen, J.T., Balsvik, E., & Ronnevik, M. (2023). A study of employees' utilization of microlearning platforms in organizations. **The Learning Organization**, 30(6), 760-776.



- Jankovic, A., Chaudhary, G., & Goia, F. (2021). Designing the design of experiments (DOE)- An investigation on the influence of different factorial designs on the characterization of complex systems. **Energy and Buildings**, 250, 111298. Doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111298
- Learn. (2567). **MicroLearning การเรียนรู้แบบใหม่**. สืบค้นจาก <https://www.learn.co.th>
- Mustapha, A.N., Zhang, Y., Zhang, Z., Ding, Y., Yuan, Q., & Li, Y. (2021). Taguchi and ANOVA analysis for the optimization of the microencapsulation of a volatile phase change material. **Journal of Materials Research and Technology**, 11, 667-680.
- Myers, R.H., Montgomer, D.C., & Anderson-Cook, C.M. (2016). **Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments**. John Wiley & Sons: New York.
- Nadia, H. , Mohamed, E., & Ahmed R.E. (2025). Enhancing teaching and learning in health sciences education through the integration of Bloom's taxonomy and artificial intelligence. **Informatics and Health**, 2(2), 130-136.
- Wali, K.M., Atika, Q., & Rosyzie, A.A. (2025). Microlearning beyond boundaries: A systematic review and a novel framework for improving learning outcomes. **Heliyon** 11, 11(2). Doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e41413



การออกแบบหุ่นยนต์สำหรับเคลื่อนที่ตามแสงด้วยการระบุตำแหน่ง DESIGN OF LIGHT TRACKING ROBOT WITH POSITION IDENTIFICATION

มณฑล ฟักเอม¹, เกียรติชัย บรรลุผลสกุล¹, กิตติศักดิ์ คงสีไพร¹, วรวัช พาหา¹,
ปิยะพงษ์ โอรานธิชาชาต^{1*}, ธาราธิพย์ ศรีสัตตบุตร¹, เทวินทร์ ฟักเอม²

Monthol Fak-Aim¹, Kiatchai Banlupholsakul¹, Kittisak Khongseeprai¹, Worawat Paha¹,
Piyapong Olanthichachat^{1*}, Tharathip Srisattabud¹, Tawin Fakaim²

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

²คณะนวัตกรรม เทคโนโลยี และการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย 50100

¹Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

²Faculty of Innovation Technology & Creativity, The Far Eastern University, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50100

*Corresponding author e-mail: piyapong@psru.ac.th

วันที่เข้าระบบ 18 กรกฎาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 26 สิงหาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 27 สิงหาคม 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ด้วยการระบุตำแหน่ง ในกรณีศึกษาพื้นที่โถงภายในอาคาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม โดยการใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์แสง (LDR) เซ็นเซอร์วัดทิศทาง (Compass sensor) และเซ็นเซอร์ระบุพิกัดตำแหน่งโลก (GPS) นำมาเก็บฐานข้อมูลลักษณะการเคลื่อนที่ของแสงอาทิตย์และเงาในโถงอาคาร เป็นข้อมูลในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์วิ่งเคลื่อนที่หาตำแหน่งรับแสงอาทิตย์ สำหรับเป็นแนวทางพัฒนาระบบประยุกต์ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน จากทดลองได้แบ่งพื้นที่บริเวณโถงอาคารออกเป็น 4 โซนและระบุค่าละติจูด (Latitude) / ลองจิจูด (Longitude) แต่ละโซนเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของหุ่นยนต์ ณ เวลานั้น จากนั้นเก็บข้อมูลตำแหน่งพื้นที่รับแสงอาทิตย์ตามช่วงเวลาต่างๆ เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งพื้นที่รับแสงอาทิตย์ที่กำหนดไว้ จากนั้นกำหนดทิศทางการหมุนของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่กำหนด ร่วมกับเซ็นเซอร์แสงเพื่อตรวจเช็คตำแหน่งที่มีแสงอาทิตย์ จากตัวอย่างการเก็บข้อมูลวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2568 พบว่าตลอดช่วงเวลา 09.00 – 16.00 น. หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ในตำแหน่งที่มีแสงอาทิตย์ได้ตามตำแหน่งแสงอาทิตย์ภายในอาคาร จากการใช้ข้อมูลต่างๆ ของเซ็นเซอร์แสง, เซ็นเซอร์วัดทิศทาง และเซ็นเซอร์ระบุพิกัดโลกร่วมกันทำให้หุ่นยนต์ใช้ข้อมูลทั้งสองทำงานได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: หุ่นยนต์, การระบุตำแหน่ง, เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์, แสงอาทิตย์และเงา

Abstract

This research aims to design and develop a solar-tracking robot with position identification, using the atrium of the Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University as a case study. Data from light sensors (LDR), a compass sensor, and a Global Positioning System (GPS) were collected to build a database of sunlight and shadow movement characteristics within the atrium. This database was then used to control the robot's movement toward sunlight positions, serving as a guideline for developing an automatic charging system with solar cells during the daytime. In the experiment, the atrium area was divided into four zones, and the latitude/longitude coordinates of each zone were recorded to determine the robot's position. Data on sunlight availability were collected at different time intervals, and the robot was programmed to move toward the corresponding sunlight-receiving positions. The robot's rotation direction was controlled according to the designated path, while the light sensors verified the presence of sunlight at the target positions. From the data collected on February 15, 2025, it was found that during the period from 09:00 to 16:00, the robot was able to move accurately to positions exposed to sunlight according to the actual sunlight patterns inside the building. The integration of multiple sensors (GPS, compass sensor, and LDR) enabled the robot to combine the advantages of each sensor, thereby enhancing the accuracy of its operation.

Keywords: Robot, Position identification, Light tracking, Sunlight and shadows

1. บทนำ

ปัจจุบันได้มีการใช้หุ่นยนต์ (Robot) เพื่อช่วยอำนวยความสะดวก ไม่ว่าจะเป็นอาคารบ้านเรือน หน่วยงาน ร้านค้า หรือหน่วยงานต่างๆ อาทิเช่น หุ่นยนต์ทำความสะอาดพื้นอัตโนมัติ หุ่นยนต์ลำเลียงในงานอุตสาหกรรม หุ่นยนต์ช่วยการส่งอาหารหรือยา เป็นต้น ซึ่งมีแนวโน้มจะใช้หุ่นยนต์กันมากขึ้นในอนาคต โดยสอดคล้องกับอุตสาหกรรมการผลิตหุ่นยนต์ของโลกที่มีการเติบโตอย่างก้าวกระโดด (Wang *et al.*, 2025) สอดคล้องกับแนวทางอุตสาหกรรม 5.0 (Industry 5.0) ที่มีแนวคิดการทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์และหุ่นยนต์ในภาคอุตสาหกรรมทำให้การพัฒนาหรือออกแบบหุ่นยนต์มีรูปแบบฟังก์ชันการใช้งานแตกต่างกันเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานรูปแบบที่เหมาะสม (Arents & Greitans, 2022) ด้านสมรรถนะการทำงาน ขนาดกะทัดรัดเหมาะสมกับการใช้งาน หรือลดการใช้

พลังงานเพื่อการใช้งานที่ยาวขึ้น เป็นแนวทางที่มีการวิจัยและพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับนำมาใช้งานในปัจจุบัน (Brougham & Haar, 2018) ได้ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligent) มาช่วยพัฒนาการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ (Qamar *et al.*, 2021) ใช้สามารถตอบสนอง เรียนรู้ และสามารถทำงานได้คล้ายมนุษย์มากยิ่งขึ้น

นอกจากการพัฒนาด้านสมรรถนะของหุ่นยนต์ด้วยเทคนิคต่างๆ แล้ว ยังมีปัจจัยในด้านพลังงานหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้า ที่ทำให้หุ่นยนต์ที่ต้องใช้แบตเตอรี่สามารถทำงานได้ยาวนานมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดหรือขนาดของแบตเตอรี่ หรือแม้กระทั่งรูปแบบในการสร้างสถานีประจุไฟฟ้าสำหรับใช้งานกับหุ่นยนต์ตัวนั้น ทำให้มีการนำเทคโนโลยีประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย (Wireless charger) ทำให้ง่ายต่อการประจุพลังงานให้กับหุ่นยนต์ (Shidujaman *et al.*, 2018) เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งทำให้หุ่นยนต์สามารถประจุแบตเตอรี่เองได้ เป็นตัวอย่างขั้นตอนทำให้ระบบหุ่นยนต์นั้นทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และลดการใช้แรงงานจากมนุษย์ได้ นอกจากนั้นยังมีการใช้พลังงานทดแทนมาเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับระบบหุ่นยนต์ (Ajewole *et al.*, 2024) โดยมีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับหุ่นยนต์ตัดหญ้า โดยการใช้พลังงานทดแทนร่วมกับการใช้แบตเตอรี่นี้เป็นแนวทางลดการใช้ขนาดแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ทำให้หุ่นยนต์มีขนาดเล็ก และเบาเนื่องจากขนาดแบตเตอรี่ที่เล็กลง

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ทำให้ผู้วิจัยได้พัฒนาต้นแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ด้วยการระบุตำแหน่งแสงอัตโนมัติ สำหรับเป็นแนวทางการพัฒนาระบบประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับจ่ายพลังงานให้กับหุ่นยนต์ โดยมีการกำหนดพื้นที่โถงกลางอาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะการรับแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาแตกต่างกันไป ทำให้เป็นแนวทางให้พัฒนาหุ่นยนต์ที่พยายามติดตาม ค้นหาพื้นที่ที่มีแสงอาทิตย์ และเคลื่อนที่ไปรับแสงตลอดเวลา สำหรับเป็นต้นแบบเพื่อพัฒนาหุ่นยนต์ที่สามารถประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ที่มีแสงอาทิตย์และเงาเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาของวันได้

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่หาตำแหน่งแสงอาทิตย์ด้วยการระบุตำแหน่ง โดยการทำงานร่วมกัน ระหว่างเซ็นเซอร์ระบุพิกัดตำแหน่ง (GPS) เซ็นเซอร์วัดทิศทาง (Compass sensor) และเซ็นเซอร์แสง (LDR)

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

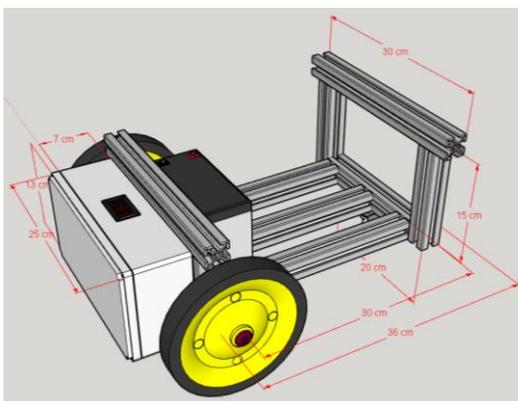
ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ด้วยการระบุตำแหน่งแสงอัตโนมัติ สำหรับเป็นแนวทางการพัฒนาระบบประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการขับเคลื่อนตามภารกิจให้กับหุ่นยนต์ การออกแบบระบบควบคุมตำแหน่ง

ของการเคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ระบุพิกัดตำแหน่งโลก (GPS) ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1. การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ และการขับเคลื่อน 2. การประยุกต์อุปกรณ์เซ็นเซอร์ต่างๆ มาใช้งานร่วมกันโดยใช้เซ็นเซอร์ระบุพิกัดตำแหน่ง (GPS) ระบุเวลาและตำแหน่งของหุ่นยนต์ ณ เวลาขณะนั้น โดยทำการเคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่กำหนดจากการเก็บข้อมูลพื้นที่รับแสงอาทิตย์ด้วยเซ็นเซอร์วัดทิศทาง (Compass sensor) และใช้เซ็นเซอร์แสง (LDR) ตรวจสอบเช็คตำแหน่งหยุดรับแสงอาทิตย์ 3. รูปแบบการเคลื่อนที่ของแสงอาทิตย์และเงาในโรงอาคารใช้เป็นข้อมูลในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์เคลื่อนที่หาตำแหน่งรับแสงอาทิตย์จากการเก็บข้อมูลตำแหน่งในการรับแสง กรณีศึกษาโรงกลางอาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เพื่อเป็นแนวทางพัฒนาระบบประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์อัตโนมัติในช่วงเวลากลางวัน ด้วยการแบ่งพื้นที่บริเวณโรงอาคารออกเป็น 4 โซน และระบุค่าละติจูด (Latitude) / ลองจิจูด (Longitude) แต่ละบริเวณเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของหุ่นยนต์ ณ เวลานั้น ใช้เวลาที่ได้จากข้อมูลเซ็นเซอร์ระบุพิกัด GPS ทำการตรวจสอบเช็คตำแหน่งที่ตั้งค่าไว้ในแต่ละช่วงเวลาว่ามีแสงอาทิตย์ในบริเวณโซนใด นำไปกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ตามทิศทางที่กำหนดด้วยการระบุตำแหน่งได้ โดยใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์แสงเพื่อตรวจสอบเช็คการหยุดที่ตำแหน่งที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ ในพื้นที่จำลองที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพแสงตลอดวัน โดยการดำเนินการวิจัยมีดังนี้

3.1 โครงสร้างของหุ่นยนต์และการขับเคลื่อน

3.1.1 โครงสร้างของหุ่นยนต์

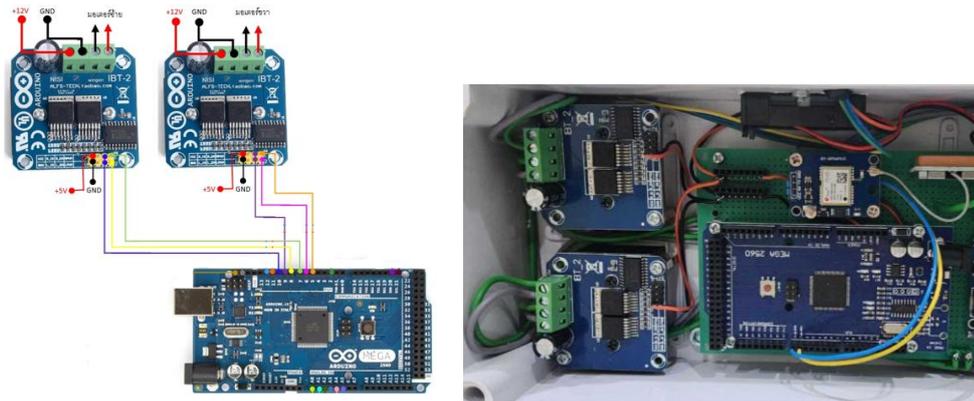
การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ใช้อะลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาด 3x3 เซนติเมตร มีขนาดความกว้าง x ความยาว x ความสูง เท่ากับ 30x36x15 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ในบทความนี้จะพิจารณาออกแบบตามวัตถุประสงค์การใช้งาน เป็นไปในเชิงสำรวจตำแหน่งรับแสงอาทิตย์ในพื้นที่กรณีศึกษามีขอบเขตการทำงานบนพื้นที่เรียบ ที่สามารถเคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งต่างๆ ภายในโรงได้ หุ่นยนต์ถูกออกแบบให้เคลื่อนที่โดยใช้ล้อคู่หน้าที่ใช้งานบนพื้นราบ โดยมีข้อดีคือ หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว การควบคุมง่าย การขับเคลื่อน 2 ล้อหน้าแยกอิสระ สำหรับการควบคุมการเลี้ยว หรือกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างของหุ่นยนต์

3.1.2 ระบบการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ และเซ็นเซอร์ตรวจจับ

การขับเคลื่อนมอเตอร์ของหุ่นยนต์ ใช้มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) ขับเคลื่อนด้วยชุดควบคุมชนิดเอช-บริดจ์ (H bridge) แยกตำแหน่งล้อซ้ายและล้อขวา แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ และควบคุมการทำงานของวงจรด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมการขับเคลื่อนด้วยเทคนิคการควบคุมแบบพีดีบีเอสเอ็ม (PWM) ดังแสดงในภาพที่ 2

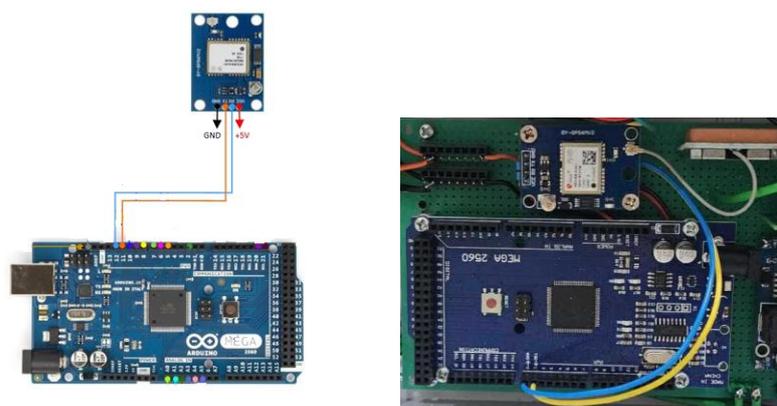


ภาพที่ 2 ภาพรวมวงจรระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์

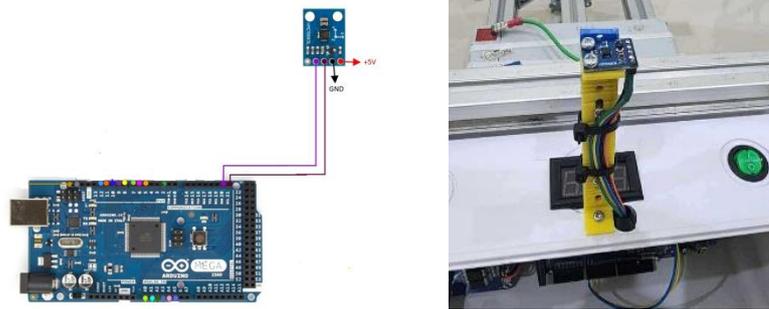
3.2 การทำงานวงจรเซ็นเซอร์ระบุทิศทาง (GPS) เซ็นเซอร์วัดทิศทาง (Compass sensor) และเซ็นเซอร์แสง (LDR)

3.2.1 เซ็นเซอร์ระบุทิศทาง (GPS)

เซ็นเซอร์ระบุทิศทาง (Global positioning system : GPS) ที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ใช้โมดูล GPS NEO-6M ที่ใช้ในการรับข้อมูลจากดาวเทียม ติดตั้งในชุดควบคุมตรวจจับตำแหน่งของหุ่นยนต์ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้โมดูล อาทิเช่น ตำแหน่งละติจูด ตำแหน่งลองจิจูด และค่าเวลา โดยการอ่านค่าจากการต่อโมดูลร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยใช้เพื่อให้หุ่นยนต์ระบุตำแหน่งภายในห้องอาคาร สำหรับเปรียบเทียบตำแหน่งของหุ่นยนต์และบริเวณที่มีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่เก็บผลในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 3 เซ็นเซอร์ระบุทิศทาง



ภาพที่ 4 เซ็นเซอร์วัดทิศทาง

3.2.2 เซ็นเซอร์วัดทิศทาง (Compass sensor)

เซ็นเซอร์วัดทิศทางใช้ทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์ระบุพิกัดในหัวข้อที่ผ่านมา เนื่องจากการโคจรของดวงอาทิตย์จะค่อยๆ เปลี่ยนตำแหน่งตามช่วงเวลาในแต่ละวัน ทำให้แสงอาทิตย์และเงาของอาคารเปลี่ยนตำแหน่งไป แต่ลักษณะการเปลี่ยนตำแหน่งจะเป็นไปในลักษณะเคลื่อนที่ไปตามทิศทางใดทิศทางหนึ่งที่แน่นอน ทำให้ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ต้องใช้เซ็นเซอร์ระบุทิศทางกำหนดทิศในการเคลื่อนที่ ที่แสดงในภาพที่ 4 และให้ทำงานสัมพันธ์กับเซ็นเซอร์ตรวจจับแสงที่กล่าวในหัวข้อถัดไป

3.2.3 เซ็นเซอร์แสง (LDR)

ในการตรวจจับแสงว่าหุ่นยนต์อยู่ในตำแหน่งที่รับแสงอาทิตย์ โดยการใช้เซ็นเซอร์แสง (Light dependent resistor : LDR) ติดตั้งในตำแหน่งด้านบนกล่องควบคุมซึ่งเป็นตำแหน่งรับแสงอาทิตย์โดยตรง (LDR 1) และตำแหน่งใต้กล่องควบคุม (LDR 2) ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยใช้เทคนิคผลต่างของค่าความเข้มแสงที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์เป็นค่าที่ระบุหรือตรวจเช็คความถูกต้องของตำแหน่งรับแสงอาทิตย์ของหุ่นยนต์ เมื่อมีการตรวจเช็คความเข้มแสงเปรียบเทียบกับค่าความเข้มแสงที่เก็บผลในแต่ละช่วงเวลาในแต่ละวันในหัวข้อถัดไปทำให้หุ่นยนต์หยุดนิ่งที่ตำแหน่งดังกล่าวจนกระทั่งเงาเคลื่อนที่มายังตำแหน่งของหุ่นยนต์อยู่ ทำให้ต้องมีการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งอื่นถัดไป

ภาพรวมบล็อกไดอะแกรมการทำงานวงจร โครงสร้างของระบบหุ่นยนต์ประกอบด้วยชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ ชุดเซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่ง เซ็นเซอร์ตรวจจับทิศทาง การหันทิศของหุ่นยนต์ และตรวจเช็คแสงอาทิตย์ตกกระทบด้วยเซ็นเซอร์วัดแสง เพื่อตรวจเช็คตำแหน่งรับแสงอาทิตย์ โดยภาพรวมวงจรรวมของหุ่นยนต์เคลื่อนที่หาแสงด้วยการระบุตำแหน่ง ดังแสดงในภาพที่ 6 การคำนวณระยะจากค่าละติจูด / ลองจิจูด ณ ตำแหน่งของหุ่นยนต์เปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงตำแหน่งทั้ง 4 โซน (Maria *et al.*, 2020) และ (David & Carlson, 1998) ดังสมการความสัมพันธ์ดังนี้

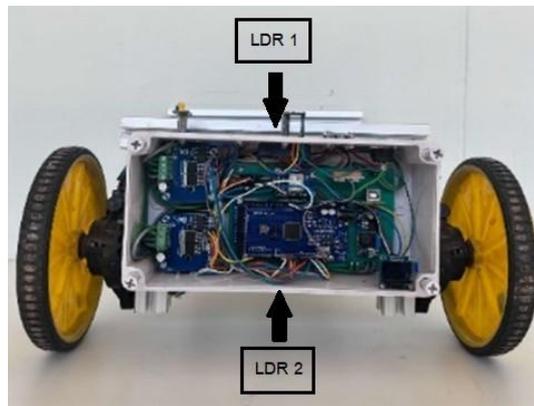
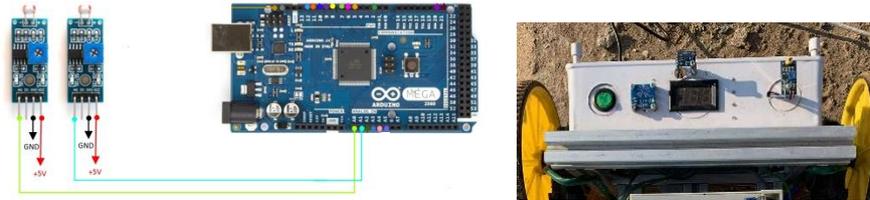
$$distance_{zone1} = \sqrt{(Latitude - Latitude_{zone1})^2 + (Longitude - Longitude_{zone1})^2} \quad (1)$$

$$distance_{zone2} = \sqrt{(Latitude - Latitude_{zone2})^2 + (Longitude - Longitude_{zone2})^2} \quad (2)$$

$$distance_{zone3} = \sqrt{(Latitude - Latitude_{zone3})^2 + (Longitude - Longitude_{zone3})^2} \quad (3)$$

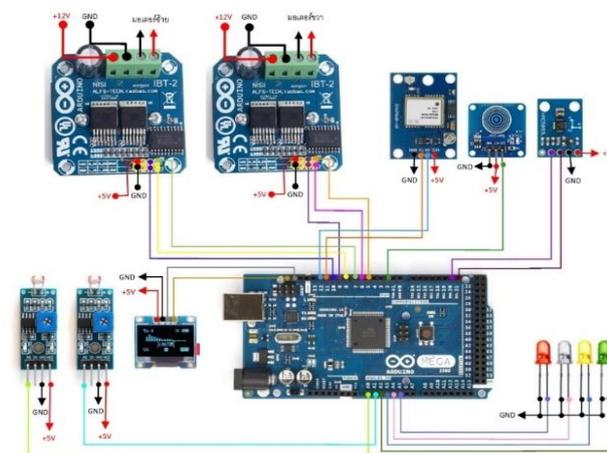
$$distance_{zone4} = \sqrt{(Latitude - Latitude_{zone4})^2 + (Longitude - Longitude_{zone4})^2} \quad (4)$$

เมื่อ distance_{zone1-4} คือ ระยะห่างจากตำแหน่งอ้างอิงโซน 1-4 ตามลำดับ
Latitude_{zone1-4} คือ ค่าละติจูดตำแหน่งอ้างอิงโซน 1-4 ตามลำดับ
Longitude_{zone1-4} คือ ค่าลองจิจูดตำแหน่งอ้างอิงโซน 1-4 ตามลำดับ
Latitude คือ ตำแหน่งละติจูดของหุ่นยนต์
Longitude คือ ตำแหน่งลองจิจูดของหุ่นยนต์



ภาพที่ 5 ภาพรวมวงจรเซ็นเซอร์แสงและตำแหน่งการติดตั้ง

จากการพิจารณาค่าที่ตั้งของหุ่นยนต์จากสมการความสัมพันธ์ (1) – (4) ได้ทำการเปรียบเทียบระยะห่างจากที่ตั้งกับตำแหน่งอ้างอิงโซน 1 – 4 ทำให้เป็นข้อมูลในการระบุโซนของหุ่นยนต์ขณะนั้นได้



ภาพที่ 6 ภาพรวมวงจรของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามแสง

3.3 การเก็บข้อมูลรูปแบบการเคลื่อนที่ของแสงอาทิตย์และเงาในโรงอาคาร

การเก็บข้อมูลเรื่องแสงอาทิตย์และเงาในกรณีศึกษาของ โรงอาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พบว่าพื้นที่ของโรงมีขนาดกว้าง 14 เมตร ยาว 30 เมตร สูง 16 เมตร เป็นอาคารที่มีความสูง 3 ชั้นมีห้องเรียนล้อมรอบทั้งสี่ด้าน ทำให้มีแสงอาทิตย์และเงาเกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาดังตัวอย่างของการเก็บข้อมูลดังภาพที่ 7 โดยมีการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พบว่าตัวอย่างของแสงอาทิตย์และเงาที่เกิดขึ้นในโรงอาคารเปลี่ยนตำแหน่งตามช่วงเวลา ซึ่งช่วงเวลาในช่วงเช้าของวัน 09.00 น. – 10.00 น. และช่วงเวลาเย็น 15.00 น. – 16.00 น. มีพื้นที่แสงตกกระทบในปริมาณพื้นที่ที่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่รวมของโรงภายในอาคาร และนอกจากนั้นผู้วิจัยยังได้กำหนดโซน 1 – 4 โซน แต่ละโซนมีความกว้าง 7 เมตร ยาว 15 เมตร ดังแสดงภาพที่ 8 เพื่อให้หุ่นยนต์ระบุตำแหน่งคร่าวๆ ได้ และเคลื่อนที่สอดคล้องไปกับทิศทางของแสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบได้



(ก) 09.00 น.



(ข) 10.00 น.



(ค) 11.00 น.



(ง) 14.00 น.

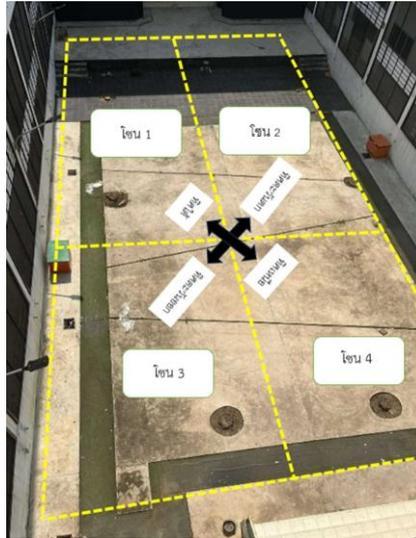


(จ) 16.00 น.



(ฉ) 17.00 น.

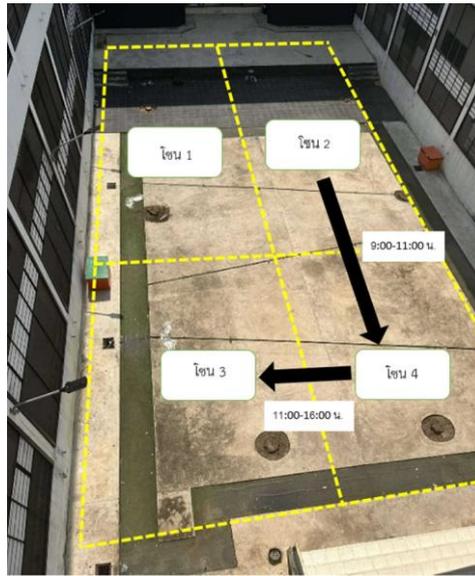
ภาพที่ 7 ตำแหน่งของแสงอาทิตย์และเงา ในโรงอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ช่วงเวลาต่างๆ
ตัวอย่างการเก็บผลวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2568



ภาพที่ 8 ตำแหน่งโซน 1 – 4 โซน และทิศ ของโรงอาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

4. ผลการวิจัย

จากข้อมูลเรื่องแสงอาทิตย์ตกกระทบและเงาภายในโรงอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากตัวอย่างในการเก็บผลเรื่องแสงอาทิตย์ ในวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2568 ในภาพที่ 7 และเปรียบเทียบกับบริเวณที่แบ่งโซนในภาพที่ 8 พบว่าแสงอาทิตย์ตกกระทบตั้งแต่ช่วงเวลา 09.00 น. ถึงเวลา 11.00 น. ผู้วิจัยได้กำหนดเวลาโดยอ้างอิงเวลาเปรียบเทียบกับเซ็นเซอร์ระบุพิกัดตำแหน่ง (GPS) การระบุโซนให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากตำแหน่งโซนที่ 2 ไปยังโซนที่ 4 โดยที่หุ่นยนต์หันไปตามทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ดังลักษณะแสงอาทิตย์ตกกระทบ ภาพที่ 7 (ก) – (ค) หลังจากช่วงเวลานั้น 11.00 น. จนกระทั่ง 16.00 น. ระบุให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากตำแหน่งโซนที่ 4 ไปยังโซนที่ 3 โดยที่หุ่นยนต์หันไปตามทิศทางตะวันออกเฉียงใต้ (SE) ดังตัวอย่างภาพการระบุตำแหน่งอ้างอิงโซนการเคลื่อนที่ในภาพที่ 9 จากการระบุโซนในช่วงเวลาต่างๆ เป็นการสอนให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ผู้วิจัยเก็บข้อมูลเรื่องแสงอาทิตย์ตกกระทบในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งหุ่นยนต์จะต้องใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ระบุพิกัดตำแหน่ง และเซ็นเซอร์วัดทิศทาง เพื่อให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางและตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง และใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตรวจจับแสงเพื่อสั่งให้หุ่นยนต์หยุดรับแสงอาทิตย์



ภาพที่ 9 การเคลื่อนที่รับแสงอาทิตย์ช่วงเวลา 09.00 น. ถึงเวลา 16.00 น.

ตารางที่ 1 แสดงตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ช่วงเวลา 09.00 น. ถึงเวลา 17.00 น.

เวลา	ละติจูด	ลองจิจูด	เซ็นเซอร์ วัด ทิศทาง	เซ็นเซอร์วัด แสงด้านบน (kLux)	เซ็นเซอร์วัด แสงด้านล่าง (kLux)	ความต่างของ เซ็นเซอร์แสง (kLux)	ตำแหน่ง หุ่นยนต์ (โซน)
09.00 น.	16.235875	100.265485	NE	18.7	0.9	17.8	2
10.00 น.	16.258479	100.254896	NE	19.4	1.0	18.4	2
11.00 น.	16.254895	100.235684	NE	20.6	1.1	19.5	2
12.00 น.	16.254876	100.254862	NE	21.5	1.2	20.3	2
13.00 น.	16.265484	100.254894	SE	22.8	1.4	21.4	4
14.00 น.	16.254894	100.254896	SE	22.9	1.4	21.5	4
15.00 น.	16.251489	100.326547	SE	21.5	1.3	20.2	4
16.00 น.	16.254896	100.365489	SE	20.2	1.1	19.1	3
17.00 น.	16.256849	100.325484	SE	1.9	0.3	1.6	3

หมายเหตุ NE คือ ตำแหน่งในการกำหนดทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

SE คือ ตำแหน่งในการกำหนดทิศตะวันออกเฉียงใต้

จากตารางที่ 1 ได้มีการเก็บข้อมูลตำแหน่งโซนของหุ่นยนต์ โดยเก็บข้อมูลละติจูด, ลองจิจูด, เซ็นเซอร์วัดทิศทาง และผลต่างที่ได้จากเซ็นเซอร์แสงทั้งสองตัวเพื่อเปรียบเทียบการตรวจเช็คตำแหน่งการรับแสงอาทิตย์ของหุ่นยนต์ จากการเก็บข้อมูลความเข้มแสงจากเซ็นเซอร์แสงทั้งสองตัวเปรียบเทียบกัน พบว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งแสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นที่ของโถงอาคารในช่วงเวลา 09.00 น. - 16.00 น. เป็นไปตามโซนที่ระบุตำแหน่งในช่วงเวลาต่างๆ ของวันได้ จากช่วงเวลาดังกล่าวมีความต่างของเซ็นเซอร์แสงอยู่ในระหว่าง 17.8 - 21.5 kLux และในช่วงเวลา



16.00 - 17.00 น. เป็นช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบ พบว่ามีความต่างของเซ็นเซอร์แสงทั้งสองตัวเท่ากับ 1.6 kLux ซึ่งผลต่างจากเซ็นเซอร์แสงทั้งสองมาเป็นเงื่อนไขระบุความแม่นยำในการตรวจวัดตำแหน่งที่รับแสงอาทิตย์ตกกระทบ นอกจากการระบุตำแหน่งด้วยข้อมูลละติจูด, ลองจิจูดเพียงอย่างเดียว

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

เพื่อเป็นแนวทางต่อยอดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามแสงด้วยการระบุตำแหน่งที่ผู้วิจัยได้ออกแบบขึ้นมา จากการเก็บผลข้อมูลช่วงเดือนกุมภาพันธ์ มีลักษณะแสงอาทิตย์ตกกระทบในโรงอาคารตั้งแต่วันที่ 09.00 น. - 16.00 น. เป็นช่วงเวลาที่กำหนดให้หุ่นยนต์เริ่มทำงานโดยอัตโนมัติ ใช้เวลาอ้างอิงจากเซ็นเซอร์ระบุพิกัดเป็นเวลาอ้างอิงปัจจุบัน โดยการเก็บข้อมูล ณ พิกัดตำแหน่งโซนที่ 1 ถึง 4 ดังแสดงในภาพที่ 8 และใช้ผลต่างจากค่าละติจูด / ลองจิจูด ณ ตำแหน่งปัจจุบันของหุ่นยนต์ เพื่อหาผลต่างในการตรวจเช็คตำแหน่งหุ่นยนต์อยู่ใกล้พิกัดตำแหน่งในโซนใดจากนั้น ใช้ข้อมูลเซ็นเซอร์ระบุทิศทางเพื่อให้หุ่นยนต์หมุนและเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งโซนที่ระบุไว้ โดยพิจารณาค่าความต่างของเซ็นเซอร์แสงทั้งสองตำแหน่ง จากผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลา 09.00 น. - 11.00 น. การระบุโซนให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากโซนที่ 2 ไปยังโซนที่ 4 และช่วงเวลา 11.00 น. - 16.00 น. ระบุให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากตำแหน่งโซนที่ 4 ไปยังโซนที่ 3 จาก พบว่าการเคลื่อนที่เป็นไปตามช่วงเวลาและตำแหน่งโซนที่กำหนดได้ จากการทดลองค่าความต่างของเซ็นเซอร์แสงทั้งสอง ตามช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบ พบว่าเซ็นเซอร์แสงมีค่าความต่าง มากกว่า 17 kLux และช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เซ็นเซอร์แสงมีค่าความต่าง น้อยกว่า 2 kLux ซึ่งเป็นการใช้ข้อมูลต่างๆ ของเซ็นเซอร์แสง, เซ็นเซอร์วัดทิศทาง และเซ็นเซอร์ระบุพิกัดโลกร่วมกันทำให้หุ่นยนต์ใช้ข้อมูลทั้งสองทำงานได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น สำหรับเป็นแนวทางพัฒนาระบบระบุตำแหน่งด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดเรื่องแสงต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้รับความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอำนวยความสะดวกด้านสถานที่เครื่องมืออุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลทำให้งานวิจัยในครั้งนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี ท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยวิจัยทุกท่าน ซึ่งให้การสนับสนุนในด้านแรงงาน และให้กำลังใจอีกทั้งที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

Ajewole., P., Oni, I., & Koyenikan, O., (2024). Development of a Solar-Powered Robotic Lawn Mower. *Journal of Engineering Research and Reports*, 26(7), 310-316.



- Arents, J., & Greitans, M. (2022). Smart industrial robot control trends, challenges and opportunities within manufacturing. **Applied Sciences**, 12(2), 937.
- Brougham, D., & Haar, J., (2018). Smart technology, artificial intelligence, robotics, and algorithms. **(STARA) : Employees perceptions of our future workplace. J. Manag. Organ.** 24(2), 239–257.
- David, E.C., & Carlson, C.G. (1998). **The earth model-calculating field size and distance between points using GPS coordinates.** In Site-specific management guidelines. Norcross: Phosphate Institute (PPI).
- Maria, E., Budiman, E., Haviluddin, & Taruk, M. (2020). Measure distance locating nearest public facilities using haversine and euclidean methods. **Journal of Physics: Conference Series**, 1450(1), 1-7. Doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1450/1/012052>
- Shidujaman, M., Samani, H., Raayatpanah, M.A., Mi, H., & Premachandra, C. (2018, June). **Towards deploying the wireless charging robots in smart environments.** In 2018 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE), New Taipei, Taiwan. Doi: <https://doi.org/10.1109/ICSSE.2018.8520002>
- Qamar, Y., Agrawal, R.K., Samad, T.A., & Jabbour, C.J.C. (2021). When technology meets people: The interplay of artificial intelligence and human resource management. **Journal of Enterprise Information Management**, 34(5), 1339–1370. Doi: <https://doi.org/10.1108/JEIM-12-2020-0549>
- Wang, S., Lim, W.M., Cheah, J.H., & Lim, X.J. (2025). Working with robots: Trends and future directions. **Technological Forecasting and Social Change**, 212. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123648>



การออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์ จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร

HAUTE COUTURE COSTUME DESIGN FROM THE IDENTITY OF PHICHIT PROVINCE

ชาติชาย จันทรประทีป*, วิมลฉวี บัวโต, ศุภวัฒน์ วิจิตรพงษา, ชัชวาลิต แก้วลาดวงษ์, สุริยา สุริยาทิพย์
Chartchay Junprateep*, Wimonmanee Buato, Suppawat Wijipongsa,
Chudwalit Kaewladwong, Suriya Suriyatip

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000
Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: ck_architect@hotmail.com

วันที่เข้าระบบ 24 กรกฎาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 26 สิงหาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 27 สิงหาคม 2568

บทคัดย่อ

จังหวัดพิจิตรเป็นเมืองเก่าแก่ที่มีเอกลักษณ์ทางประวัติศาสตร์และวัฒนธรรมอันทรงคุณค่าผสมผสานเรื่องเล่าทางตำนานท้องถิ่นอันเป็นมรดกทางการรับรู้ของคนในชาติไทย สะท้อนถึงเอกลักษณ์และมรดกทางวัฒนธรรม มีศักยภาพในการนำมาต่อยอดเชิงสร้างสรรค์ในบริบทสมัยใหม่ถ่ายทอดเรื่องราวผ่านกระบวนการออกแบบ ผู้วิจัยมีความสนใจนำบริบทแนวคิดเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์ ซึ่งเป็นศิลปะแฟชั่นประเทศฝรั่งเศส เป็นการตัดเย็บชั้นสูงหรือแฟชั่นชั้นสูงมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว มาประยุกต์เชื่อมโยงกับเรื่องราวและอัตลักษณ์ของจังหวัดพิจิตร เพื่อมุ่งหวังในการส่งเสริมเชื่อมโยงการอนุรักษ์วัฒนธรรมท้องถิ่น สร้างคุณค่าใหม่ และเปิดโอกาสให้กลุ่มคนรุ่นใหม่ได้เข้าถึงอัตลักษณ์ทางศิลปวัฒนธรรมในรูปแบบร่วมสมัยในประเทศไทย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้ 1) เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร 2) เพื่อประเมินความพึงพอใจจากผลงานออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร ผู้วิจัยดำเนินการศึกษาและออกแบบตามวัตถุประสงค์ โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบแฟชั่น จำนวน 3 ท่าน และ 2) กลุ่มผู้บริโภค จำนวน 50 คน อายุระหว่าง 20-40 ปี ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร เพื่อประเมินระดับความพึงพอใจ 3 ด้าน คือ (1) ด้านทัศนียภาพและความสวยงาม (2) ด้านประโยชน์และการใช้สอย (3) ด้านการคำนึงถึงแนวคิดวิธีในกระบวนการในการผลิต

เมื่อผู้วิจัยทำการศึกษาและ ได้นำแบบ A ไปพัฒนาต้นแบบ จึงได้ทราบผล ดังนี้ (1) ด้านทัศนียภาพและความสวยงามมีค่าเฉลี่ย ($\bar{x} = 4.43$) (S.D. = 0.48) ระดับมาก (2) ด้านประโยชน์และการใช้สอย ค่าเฉลี่ย ($\bar{x} = 4.33$) (S.D. = 0.51) ระดับมาก (3) ด้านการคำนึงถึง

แนวคิดและกระบวนการผลิต ค่าเฉลี่ย ($\bar{x} = 4.30$) (S.D. = 0.52) ระดับมาก ผลรวมทั้ง 3 ด้าน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x} = 4.35$) (S.D. = 0.50) ระดับมาก แสดงให้เห็นว่าผลงานสร้างสรรค์ มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้จริง รวมถึงมีศักยภาพต่อยอดเชิงพาณิชย์ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

คำสำคัญ: โอด์ กูตูร์, เอกลักษณ์, จังหวัดพิจิตร

Abstract

Phichit Province is an ancient city with valuable historical and cultural identities, enriched by local legends that serve as an important part of Thailand's cultural heritage. These narratives reflect the uniqueness of the province and present opportunities for creative reinterpretation in a modern context through design processes. This research focuses on integrating Haute Couture fashion-French high fashion characterized by exclusivity, meticulous craftsmanship, and custom-made designs-with the cultural narratives and identity of Phichit Province. The aim is to promote local cultural preservation, generate new cultural value, and provide younger generations with access to cultural identity in a contemporary format.

The study had two objectives: (1) to investigate and design Haute Couture garments inspired by the cultural identity of Phichit Province, and (2) to evaluate consumer satisfaction with the designed garments. A purposive sampling method was employed, comprising two groups: three fashion design experts who assessed the appropriateness of the designs, and fifty consumers aged 20–40 years in Mueang District, Phichit Province, who evaluated satisfaction across three dimensions: (1) aesthetics and visual appeal, (2) functionality and usability, and (3) consideration of design concepts and production processes.

After conducting the study and developing Prototype A, the results indicated the following: (1) aesthetics and visual appeal were rated at a high level ($\bar{x} = 4.43$) (S.D. = 0.48), (2) functionality and usability were rated at a high level ($\bar{x} = 4.33$) (S.D. = 0.51), and (3) consideration of design concepts and production processes was rated at a high level ($\bar{x} = 4.30$) (S.D. = 0.52). The overall evaluation across all three dimensions was also rated at a high level ($\bar{x} = 4.35$) (S.D. = 0.50). These findings demonstrate that the creative design is feasible for practical application and has potential for commercial development in line with the objectives of the study.



Keywords: Haute Couture costume design, Identity, Phichit province

1. บทนำ

จังหวัดพิจิตรเป็นเมืองโบราณที่มีความสำคัญมาตั้งแต่สมัยสุโขทัย มีเอกลักษณ์ทางประวัติศาสตร์และวัฒนธรรมอันทรงคุณค่า ทั้งด้านโบราณสถาน โบราณวัตถุ ขนบธรรมเนียม ประเพณี และภูมิปัญญาท้องถิ่น อีกทั้งยังผสมผสานเรื่องเล่าทางตำนานที่ถ่ายทอดต่อกันมา เช่น ตำนานพญาชาละวัน ตลอดจนสถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์อย่างบึงสีไฟ อันถือเป็นสัญลักษณ์ของจังหวัด เรื่องราวและภูมิทัศน์เหล่านี้ไม่เพียงสะท้อนอัตลักษณ์ที่โดดเด่นของพิจิตร แต่ยังเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่มีคุณค่าและมีศักยภาพในการนำมาต่อยอดเชิงสร้างสรรค์ในบริบทร่วมสมัย ในยุคปัจจุบัน งานออกแบบถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการถ่ายทอดเรื่องราวและคุณค่าทางวัฒนธรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานแฟชั่น ซึ่งสามารถเชื่อมโยงภูมิปัญญาและอัตลักษณ์ท้องถิ่นให้เข้ากับวิถีชีวิตของผู้คนรุ่นใหม่ สำหรับแนวคิดการนำเอกลักษณ์ของจังหวัดพิจิตรมาเป็นแรงบันดาลใจในงานออกแบบแฟชั่นระดับสูง เครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์ ซึ่งมีลักษณะเด่นด้านความประณีต หุหุระ และความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะบุคคล จึงนับเป็นแนวทางสำคัญที่จะช่วยต่อยอดอัตลักษณ์ทางวัฒนธรรมให้มีความร่วมสมัยและสามารถเผยแพร่สู่สากลได้

ผู้วิจัยมุ่งเน้นการศึกษาและออกแบบบูรณาการรูปแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์ที่เน้นการถ่ายทอดอัตลักษณ์ของจังหวัดพิจิตร โดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างสรรค์ผลงานที่สะท้อนคุณค่าทางวัฒนธรรมในรูปแบบใหม่ ตลอดจนเป็นแนวทางในการอนุรักษ์ สืบสาน และพัฒนาศักยภาพของงานแฟชั่นเชิงสร้างสรรค์ให้สามารถต่อยอดเชิงพาณิชย์ในอนาคต โดยถ่ายทอดผ่านรูปแบบ ลวดลาย และสีที่สะท้อนอัตลักษณ์ท้องถิ่น เพื่ออนุรักษ์และส่งเสริมเอกลักษณ์ของจังหวัดพิจิตร เพื่อมุ่งหวังในการส่งเสริมเชื่อมโยงการอนุรักษ์วัฒนธรรมท้องถิ่น สร้างคุณค่าใหม่ และเปิดโอกาสให้กลุ่มคนรุ่นใหม่ได้เข้าถึงอัตลักษณ์ทางศิลปวัฒนธรรมในรูปแบบร่วมสมัยในประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร
- 2.2 เพื่อประเมินความพึงพอใจจากผลงานออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาและออกแบบเครื่องแต่งกายแนวไอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาเบื้องต้นโดยรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งในเชิงวิชาการและเชิงพื้นที่ ครอบคลุมด้านประวัติศาสตร์ ภูมิปัญญาท้องถิ่น ศิลปะ และวัฒนธรรมของจังหวัดพิจิตร เพื่อวิเคราะห์และระบุอัตลักษณ์ที่มีความโดดเด่น จากนั้นจึงดำเนินการศึกษาจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ อาทิ เอกสาร หนังสือ รายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงข้อมูลจากสื่อออนไลน์ เพื่อนำมาสังเคราะห์เป็นองค์ประกอบเชิงแนวคิดที่สะท้อนเอกลักษณ์ของจังหวัดพิจิตร

แบบสอบถามและแบบประเมินผลงานได้รับการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ๓ จำนวน 3 ท่าน ซึ่งมีประสบการณ์ด้านการออกแบบแฟชั่นและการประเมินงานวิจัย เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างเนื้อหาของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การวิจัย โดยกำหนดเกณฑ์ค่าดัชนีความตรงเชิงเนื้อหา (IOC) ที่ยอมรับได้ ≥ 0.67 ก่อนนำไปใช้จริง ผู้วิจัยจัดทำแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อประเมินผลงานให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยมีหลักการ 3 ด้าน คือ (1) ด้านการออกแบบลวดลายและองค์ประกอบศิลป์ (2) ด้านวัสดุและเทคนิคการตัดเย็บ (3) ด้านฟังก์ชันการสวมใส่และความเหมาะสมของรูปทรง , จากนั้นจึงคัดเลือกต้นแบบที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปพัฒนาและผลิตผลงานจริง

3.2 การประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มผู้บริโภค โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) อายุระหว่าง 20-40 ปี จำนวน 50 คน และนำผลงานต้นแบบที่เหมาะสมที่สุด มีการผลิตผลงานจริง ภายใต้แนวคิดเครื่องแต่งกายแนวไอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร จากเครื่องมือแบบสอบถามที่ผ่านกระบวนการ ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) เรียบร้อยแล้ว โดยมีหลักการ 3 ด้าน คือ (1) ด้านการออกแบบลวดลายและองค์ประกอบศิลป์ (2) ด้านวัสดุและเทคนิคการตัดเย็บ (3) ด้านฟังก์ชันการสวมใส่และความเหมาะสมของรูปทรง

3.3 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 ศึกษาเอกสาร หนังสือ งานวิจัย และข้อมูลออนไลน์เกี่ยวกับจังหวัดพิจิตร

3.3.2 จัดทำและพัฒนาแบบร่างเครื่องแต่งกายแนวไอต์ กูตูร์ตามข้อมูลที่ได้

3.3.3 นำแบบร่างมาเข้ากระบวนการศึกษาแนวคิด และพัฒนาข้อคิดเห็นตามหลักวิชาการ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ๓ จำนวน 3 ท่าน

3.3.4 ปรับปรุงและพัฒนาต้นแบบให้สมบูรณ์ตามข้อเสนอแนะ

3.3.5 กระบวนการสร้างต้นแบบเครื่องแต่งกายแนวไอต์ กูตูร์

3.3.6 ประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและกลุ่มผู้บริโภคตามลำดับ

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญและกลุ่มผู้บริโภคนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา โดยใช้ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: S.D.) พร้อมแปลผลตามเกณฑ์การตีความมาตรฐาน 5 ระดับตาม Likert scale (Likert, 1932) เพื่อตรวจสอบระดับความพึงพอใจและความเหมาะสมของต้นแบบที่ออกแบบขึ้น

ในการแปลความหมายของค่าเฉลี่ยนำนักคะแนนถูกกำหนดเป็น 5 ระดับ ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา (Likert, 1932) เพื่อให้การตีความผลการวิจัยมีความชัดเจน ดังนี้

ช่วงระดับ 4.50 – 5.00	หมายถึง	มีค่าการประเมิน ระดับมากที่สุด
ช่วงระดับ 3.50 – 4.49	หมายถึง	มีค่าการประเมิน ระดับมาก
ช่วงระดับ 2.50 – 3.49	หมายถึง	มีค่าการประเมิน ระดับปานกลาง
ช่วงระดับ 1.50 – 2.49	หมายถึง	มีค่าการประเมิน ระดับน้อยสุด
ช่วงระดับ 1.00 – 1.49	หมายถึง	มีค่าการประเมิน ระดับน้อยที่สุด

4. ผลการวิจัย

4.1 ขั้นตอนที่ 1 เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร หนังสือ และศึกษาเบื้องต้นโดยรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งในเชิงวิชาการและเชิงพื้นที่ ครอบคลุมด้านประวัติศาสตร์ ภูมิปัญญาท้องถิ่น ศิลปะ และวัฒนธรรมของจังหวัดพิจิตร เพื่อวิเคราะห์และระบุอัตลักษณ์ที่มีความโดดเด่นและทำการออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร จำนวน 3 รูปแบบ เพื่อนำไปประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบฯ จำนวน 3 ท่าน ดังนี้

4.1.1 รูปแบบ A เป็นการออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์ที่นำดอกบัวหลวงมาผสมผสานกับลักษณะของจระเข้และโทสนีที่สื่อถึงตำนานชาละวัน เพื่อสร้างเอกลักษณ์เฉพาะตัวของจังหวัดพิจิตร วัสดุหลักคือหนังเทียมที่ให้ผิวสัมผัสคล้ายเกล็ดจระเข้ เพิ่มมิติให้ชุด ส่วนกระโปรงออกแบบเป็นเดรสสั้นเพื่อสะท้อนความร่วมสมัยและความคล่องตัว เหมาะกับการสวมใส่ในงานแฟชั่นโชว์หรืองานพิธีการที่ต้องการภาพลักษณ์โดดเด่นและร่วมสมัย



ภาพที่ 4.1 ผลงานการออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร รูปแบบ A

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลการประเมินรูปแบบ A จากผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบฯ (n = 3)

รายละเอียด	\bar{x}	S.D.	ระดับ
1. ด้านทัศนียภาพและความสวยงาม			
1.1 รูปแบบ รูปร่าง รูปทรง มีความลงตัวเป็นไปตามวัตถุประสงค์	3.67	1.50	มาก
1.2 แนวความคิดการออกแบบ หลักการใช้ทฤษฎีสีได้อย่างเหมาะสม	4.00	1.00	มาก
1.3 ผลงานออกแบบสามารถสื่อสารทัศนียภาพและความสวยงาม	4.00	1.00	มาก
รวมผลประเมินด้านที่ 1 (รูปแบบ A)	3.89	1.17	มาก
2. ด้านประโยชน์และการใช้สอย			
2.1 ผลงานมีรูปแบบที่สามารถสวมใส่ได้จริง และสอดคล้องกับหลักสรีรศาสตร์	4.00	1.00	มาก
2.2 ผลงานสามารถถ่ายทอดอัตลักษณ์และเอกลักษณ์ของจังหวัดพิจิตรได้อย่างชัดเจน	4.33	0.58	มาก
2.3 ผลงานมีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์	4.00	1.00	มาก
รวมผลประเมินด้านที่ 2 (รูปแบบ A)	4.11	0.86	มาก
3. ด้านการคำนึงถึงแนวคิดวิธีในกระบวนการการผลิต			
3.1 ผลงานมีความเป็นไปได้ในการผลิตจริง	3.67	1.15	มาก
3.2 มีการออกแบบวิธีการตัดเย็บให้สอดคล้องกับรูปแบบและวัสดุที่เลือกใช้	4.33	1.15	มาก
3.3 โครงสร้างวัสดุมีความเหมาะสมและสามารถรองรับการสวมใส่ได้จริง	3.89	1.15	มาก
รวมผลประเมินด้านที่ 3 (รูปแบบ A)	3.96	1.15	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด 3 ด้าน (รูปแบบ A)	3.99	1.06	มาก

4.1.2 รูปแบบ B เป็นการออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์ที่เน้นลักษณะเด่นของ จระเข้และการใช้โทนสีที่สื่อถึงวัฒนธรรมพื้นถิ่นพิจิตร โดยเลือกวัสดุหนังเทียมเพื่อสร้างพื้นผิวและ ลวดลายที่คล้ายเกล็ดจระเข้ ผสมผสานช่วงกระโปรงเดรสสั้นกับช่วงอกเดรสยาว ทำให้เกิดโครงสร้างที่ ซับซ้อนและมีมิติ สะท้อนความหรูหราในแบบแฟชั่นโอต์ กูตูร์ ตอบโจทย์ผู้สวมใส่ที่ต้องการชุดแสดง ภาพลักษณ์หรูและสื่อถึงอัตลักษณ์พื้นถิ่นอย่างเด่นชัด



ภาพที่ 4.2 ผลงานการออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร รูปแบบ B

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลการประเมินรูปแบบ B จากผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบฯ (n = 3)

รายละเอียด	\bar{x}	S.D.	ระดับ
1. ด้านทัศนียภาพและความสวยงาม			
1.1 รูปแบบ รูปร่าง รูปทรง มีความลงตัวเป็นไปตามวัตถุประสงค์	3.67	1.00	มาก
1.2 แนวความคิดการออกแบบ หลักการใช้ทฤษฎีสีได้อย่างเหมาะสม	4.00	0.80	มาก
1.3 ผลงานออกแบบสามารถสื่อสารทัศนียภาพและความสวยงาม	3.67	1.00	มาก
รวมผลประเมินด้านที่ 1 (รูปแบบ B)	3.78	0.90	มาก
2. ด้านประโยชน์และการใช้สอย			
2.1 ผลงานมีรูปแบบที่สามารถสวมใส่ได้จริง และสอดคล้องกับหลักสรีรศาสตร์	4.00	0.80	มาก
2.2 ผลงานสามารถถ่ายทอดอัตลักษณ์และเอกลักษณ์ของจังหวัดพิจิตรได้อย่างชัดเจน	4.00	0.80	มาก
2.3 ผลงานมีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์	4.00	0.80	มาก
รวมผลประเมินด้านที่ 2 (รูปแบบ B)	4.00	0.80	มาก
3. ด้านการคำนึงถึงแนวคิดวิธีในกระบวนการการผลิต			
3.1 ผลงานมีความเป็นไปได้ในการผลิตจริง	3.67	1.00	มาก

รายละเอียด	\bar{x}	S.D.	ระดับ
3.2 มีการออกแบบวิธีการตัดเย็บให้สอดคล้องกับรูปแบบและวัสดุที่เลือกใช้	4.00	0.80	มาก
3.3 โครงสร้างวัสดุมีความเหมาะสมและสามารถรองรับการสวมใส่ได้จริง	3.67	1.00	มาก
รวมผลประเมินด้านที่ 3 (รูปแบบ B)	3.78	0.90	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด 3 ด้าน (รูปแบบ B)	3.85	0.86	มาก

4.1.3 รูปแบบ C เป็นการออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์ที่นำลวดลายดอกบัวหลวง ลักษณะจระเข้ และโทนสีที่สื่อถึงจังหวัดพิจิตร มาประยุกต์กับรูปทรงและรายละเอียดที่คล้ายชุดไทยประยุกต์ ชุดนี้มุ่งเน้นการสื่อสารความเป็นไทยร่วมสมัย สอดแทรกองค์ประกอบวัฒนธรรมท้องถิ่นเข้ากับแฟชั่นโอต์ กูตูร์อย่างประณีต เน้นงานตัดเย็บเฉพาะบุคคล ใช้เทคนิคฝีมือสูง เพื่อถ่ายทอดมรดกทางวัฒนธรรมในรูปแบบแฟชั่นสมัยใหม่ที่มีเอกลักษณ์ชัดเจน



ภาพที่ 4.3 ผลงานการออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร รูปแบบ C

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลการประเมินรูปแบบ C จากผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบฯ (n = 3)

รายละเอียด	\bar{x}	S.D.	ระดับ
1. ด้านทัศนียภาพและความสวยงาม			
1.1 รูปแบบ รูปร่าง รูปทรง มีความลงตัวเป็นไปตามวัตถุประสงค์	3.33	1.00	ปานกลาง
1.2 แนวความคิดการออกแบบ หลักการใช้ทฤษฎีสีได้อย่างเหมาะสม	3.33	1.00	ปานกลาง
1.3 ผลงานออกแบบสามารถสื่อสารทัศนียภาพและความสวยงาม	3.33	1.00	ปานกลาง
รวมผลประเมินด้านที่ 1 (รูปแบบ C)	3.33	1.00	ปานกลาง
2. ด้านประโยชน์และการใช้สอย			



รายละเอียด	\bar{x}	S.D.	ระดับ
2.1 ผลงานมีรูปแบบที่สามารถสวมใส่ได้จริง และสอดคล้องกับหลักสรีรศาสตร์	3.67	0.80	มาก
2.2 ผลงานสามารถถ่ายทอดอัตลักษณ์และเอกลักษณ์ของจังหวัดพิจิตรได้อย่างชัดเจน	3.67	0.80	มาก
2.3 ผลงานมีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์	3.67	0.80	มาก
รวมผลประเมินด้านที่ 2 (รูปแบบ C)	3.67	0.80	มาก
3.ด้านการคำนึงถึงแนวคิดวิธีในกระบวนการการผลิต			
3.1 ผลงานมีความเป็นไปได้ในการผลิตจริง	3.33	1.00	ปานกลาง
3.2 มีการออกแบบวิธีการตัดเย็บให้สอดคล้องกับรูปแบบและวัสดุที่เลือกใช้	3.67	0.80	มาก
3.3 โครงสร้างวัสดุมีความเหมาะสมและสามารถรองรับการสวมใส่ได้จริง	3.33	1.00	ปานกลาง
รวมผลประเมินด้านที่ 3 (รูปแบบ C)	3.44	0.93	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด 3 ด้าน (รูปแบบ C)	3.48	0.91	มาก

จากตารางสามารถแปรผล และวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบฯ จำนวน 3 ท่าน พบว่ารูปแบบ A มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x} = 3.99$) (S.D. = 1.06) อยู่ในระดับมาก รูปแบบ B มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x} = 3.85$) (S.D. = 0.86) อยู่ในระดับมาก และรูปแบบ C มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x} = 3.48$) (S.D. = 0.91) อยู่ในระดับมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงทราบผลว่า รูปแบบ A ซึ่งมีผลคะแนนมากที่สุด

สรุปประเด็นข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ เพื่อการนำไปประกอบในการพัฒนาแบบที่สมบูรณ์ โดยสามารถสรุปข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนารูปแบบ A ในประเด็นสำคัญ 3 ด้าน คือ (1) ด้านทัศนียภาพและความสวยงาม ควรเพิ่มรายละเอียดของลวดลายดอกบัวหลวงให้มีมิติชัดเจนยิ่งขึ้น และเชื่อมโยงกับโครงสร้างจะเข้าได้กลมกลืน เพื่อสื่ออัตลักษณ์ท้องถิ่นอย่างเด่นชัด (2) ด้านประโยชน์และการใช้สอย แนะนำให้เลือกวัสดุหนังเทียมที่มีคุณภาพสูงและมีความยืดหยุ่น เพื่อให้ได้รูปทรงที่สวมใส่สบาย และยังคงเอกลักษณ์ความหรูหราในแนวโอต์ กูตูร์ (3) ด้านการคำนึงถึงแนวคิดวิธีในกระบวนการในการผลิต เสนอให้ปรับความยาวของเดรสสั้นให้เหมาะสมกับสรีรศาสตร์ เพื่อเพิ่มความคล่องตัวและสอดคล้องกับโอกาสการใช้งาน พร้อมทั้งตรวจสอบความแข็งแรงของรอยตะเข็บและรายละเอียดการเย็บเพื่อให้ได้มาตรฐานงานแฟชั่นระดับสูง ซึ่งผู้วิจัยนำผลการประเมินและข้อเสนอแนะไปพัฒนาสู่กระบวนการตามวัตถุประสงค์ต่อไป

4.2 ขั้นตอนที่ 2 เพื่อประเมินความพึงพอใจจากผลงานออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร

จากผลการประเมินพบว่ารูปแบบ A มีความเหมาะสมที่สุดในด้านการสื่อสารอัตลักษณ์ ความสร้างสรรค์ และความเป็นไปได้ในการผลิตจริง ผู้วิจัยจึงนำข้อเสนอแนะไปปรับปรุงรายละเอียดทั้งวัสดุ วิธีตัดเย็บ และเทคนิคการผลิตเพื่อให้ได้มาตรฐานโอต์ กูตูร์และสอดคล้องหลักสรีรศาสตร์

จากนั้นจึงจัดทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจจากผลงานออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 50 คน อายุระหว่าง 20–40 ปี โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) ตามแนวคิดของ Teddlie & Yu (2007) ที่เน้นคัดเลือกกลุ่มที่มีคุณลักษณะเฉพาะเหมาะสมกับวัตถุประสงค์การวิจัย ให้ได้ข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณภาพและสะท้อนความคิดเห็นของกลุ่มเป้าหมายได้อย่างแท้จริง จากนั้นทำการรวบรวมความคิดเห็นและสรุปผล ให้การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ ระเบียบวิธีวิจัย ตามวัตถุประสงค์ต่อไป



ภาพที่ 4.4 การผลิตผลงานจริง เครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร



ภาพที่ 4.5 การผลิตผลงานจริง เครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร

ผู้วิจัยได้นำผลงานการผลิตผลงานจริง เครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัด พิษณุตร ประเมินความพึงพอใจ โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 50 คน ในประเด็นสำคัญ 3 ด้าน ได้แก่ ในประเด็นสำคัญ 3 ด้าน คือ (1) ด้านทัศนียภาพและความสวยงาม (2) ด้านประโยชน์และการใช้สอย (3) ด้านการคำนึงถึงแนวคิดวิถีในกระบวนการในการผลิต จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติพื้นฐาน ได้แก่ (Descriptive statistics) ประกอบด้วยความถี่ (Frequency) ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: S.D.) เพื่อประเมินระดับความเหมาะสมของการผลิตผลงานจริง เครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิษณุตร

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลการประเมินรูปแบบ A จากผลงานผลิตชิ้นงานจริง (n = 50)

รายละเอียด	\bar{x}	S.D.	ระดับ
1. ด้านทัศนียภาพและความสวยงาม			
1.1 รูปแบบ รูปร่าง รูปทรง มีความลงตัวเป็นไปตามวัตถุประสงค์	4.69	0.45	มากที่สุด
1.2 แนวความคิดการออกแบบ หลักการใช้ทฤษฎีสีได้อย่างเหมาะสม	4.29	0.50	มาก
1.3 ผลงานออกแบบสามารถสื่อสารทัศนียภาพและความสวยงาม	4.31	0.48	มาก
รวมผลประเมินด้านที่ 1	4.43	0.48	มาก
2. ด้านประโยชน์และการใช้สอย			
2.1 ผลงานมีรูปแบบที่สามารถสวมใส่ได้จริง และสอดคล้องกับหลักสรีรศาสตร์	4.35	0.52	มาก
2.2 ผลงานสามารถถ่ายทอดอัตลักษณ์และเอกลักษณ์ของจังหวัดพิษณุตรได้อย่างชัดเจน	4.31	0.51	มาก
2.3 ผลงานมีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์	4.33	0.50	มาก
รวมผลประเมินด้านที่ 2	4.33	0.51	มาก
3. ด้านการคำนึงถึงแนวคิดวิถีในกระบวนการการผลิต			
3.1 ผลงานมีความเป็นไปได้ในการผลิตจริง	4.37	0.50	มาก
3.2 มีการออกแบบวิธีการตัดเย็บให้สอดคล้องกับรูปแบบและวัสดุที่เลือกใช้	4.27	0.53	มาก
3.3 โครงสร้างวัสดุมีความเหมาะสมและสามารถรองรับการสวมใส่ได้จริง	4.25	0.54	มาก
รวมผลประเมินด้านที่ 3	4.30	0.52	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด 3 ด้าน	4.35	0.50	มาก

จากตารางที่ 4 ได้ทราบผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามผู้บริโภคนจำนวน 50 คน พบว่า ผลงานออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิษณุตร ได้รับการประเมิน ทั้งด้านทัศนียภาพและความสวยงามมีค่าเฉลี่ย ($\bar{x} = 4.43$) (S.D. = 0.48) ระดับมาก , ด้านประโยชน์และการใช้สอย ค่าเฉลี่ย ($\bar{x} = 4.33$) (S.D. = 0.51) ระดับมาก และด้านการคำนึงถึงแนวคิดและ

กระบวนการผลิต ค่าเฉลี่ย ($\bar{x} = 4.30$) (S.D. = 0.52) ระดับมาก โดยรวมทั้ง 3 ด้าน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x} = 4.35$) (S.D. = 0.50) ระดับมาก และสะท้อนให้เห็นว่าผลงานได้รับความพึงพอใจในระดับมากทุกด้าน แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคร้อยละส่วนใหญ่เห็นว่าผลงานสามารถถ่ายทอดอัตลักษณ์จังหวัดพิจิตรได้อย่างเหมาะสม มีความสร้างสรรค์ และมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้จริง รวมถึงมีศักยภาพต่อยอดเชิงพาณิชย์ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

ผู้วิจัยดำเนินงานตามวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร และเพื่อประเมินความพึงพอใจจากผลงานออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร ผู้วิจัยพบว่า การออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์ที่ถ่ายทอดอัตลักษณ์จังหวัด สามารถสร้างสรรค์ผลงานที่มีความเหมาะสมทั้งด้านความงามเชิงทัศนียภาพ ความสร้างสรรค์ และความเป็นไปได้เชิงการผลิตจริง โดยจากผลการประเมินผู้บริโภคจำนวน 50 คน สะท้อนว่ารูปแบบผลงาน ได้รับประเมิน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x} = 4.35$) (S.D. = 0.50) ระดับมาก ผลงานสามารถสื่อสารอัตลักษณ์ท้องถิ่นได้ชัดเจน สอดคล้องกับแนวคิดโอต์ กูตูร์ที่เน้นความประณีต พิเศษเฉพาะบุคคล และต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้จริง

ผลงานออกแบบเครื่องแต่งกายแนวโอต์ กูตูร์จากเอกลักษณ์จังหวัดพิจิตร มีความเหมาะสมกับหลักสรีรศาสตร์และสามารถประยุกต์เข้ามาตรฐานงานเครื่องแต่งกายได้เหมาะสม สามารถปรับให้สอดคล้องกับบริบท นำมาสวมใส่จริง ผลวิจัยนี้สอดคล้องกับแนวคิดการออกแบบร่วมสมัยที่ใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นเป็นฐาน เสริมให้การออกแบบเครื่องแต่งกายครั้งนี้ เกิดคุณค่าเชิงวัฒนธรรม และมีทิศทางเศรษฐกิจในอนาคต

6. เอกสารอ้างอิง

- กฤติกา พงษ์พิศ. (2562). จิตวิทยาของสีในงานแฟชั่นและการสื่อสาร. **วารสารศิลปกรรมศาสตร์**, 11(1), 101-112.
- จิตรพิ ชวลาวัฒน์. (2555). การออกแบบเครื่องแต่งกายสมัยใหม่. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- บรรจง มไหสวริยะ. (2557). การวิจัยและพัฒนางานออกแบบแฟชั่น. **วารสารศิลปกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**, 19(1), 80-92.
- ปริดา เหวตระกุล. (2558). การสร้างและแก้ไขแพทเทิร์นขั้นพื้นฐาน. กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์แม่บ้าน จำกัด.
- พรรณวดี ศรีวิชัย. (2561). การเลือกใช้สีในการออกแบบเครื่องแต่งกายร่วมสมัย. **วารสารการออกแบบ**, 5(2), 78-92.



- สมชาย สีนุเสณ. (2561). **หลักการออกแบบเสื้อผ้าแฟชั่น**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์วิทย์พัฒน์.
- สุภาวดี สุทธิศักดิ์. (2560). การออกแบบเสื้อผ้าแนวโอต์ กูตูร์สำหรับงานแฟชั่นโชว์. **วารสารวิชาการ ศิลปกรรมศาสตร์**, 4(1), 55–65.
- อัมพร พินิจพงษ์. (2558). **การใช้สีในงานออกแบบแฟชั่น**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ศิลปวัฒนธรรม.
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, 140, 1–55.
- Pantone. (2024). **Color of the Year 2024: Peach Fuzz**. Retrieved from <http://www.pantone.com/articles/color-of-the-year/what-is-peach-fuzz>
- Kim, H. & DeLong, M. (1992). Research in Visual Perception and Clothing. **Clothing and Textiles Research Journal**, 10(3), 47–53.



มาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ
กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ENERGY CONSERVATION STRATEGIES IN AIR CONDITIONING
SYSTEMS: A CASE STUDY OF THE MULTIPURPOSE ACADEMIC
BUILDING, FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY,
PIBULSONGKRAM RAJABHAT UNIVERSITY

สุทธิเกียรติ แข็งแรง¹, วรเมธ หินอ่อน¹, สรวิต สอนสารี^{1*}, เอื้อบุญ ที่พึ่ง¹,
สาธิต การุณบุญญานันท์¹, สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์²
Sutthikiat Kangrang¹, Vorameth Hinoon¹, Sorawit Sonsaree^{1*}, Ueaboon Teeprung¹,
Satit Karoonboonyanan¹, Somchai Jiajitsawat²

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

²Faculty of Science, Naresuan University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: sorawitsonsaree@psru.ac.th

วันที่เข้ารับ 10 กรกฎาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 31 สิงหาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 31 สิงหาคม 2568

บทคัดย่อ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ส่งผลให้สภาพอากาศโดยทั่วไปมีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์มากตลอดทั้งปีส่งผลต่อความรู้สึกไม่สบายเชิงความร้อน ดังนั้นจึงนิยมติดตั้งระบบปรับอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งส่งผลให้สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารจากระบบปรับอากาศมีสัดส่วนที่สูง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาแนวทางการบริหารจัดการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ กรณีศึกษา อาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศจำนวน 32 ตัว ผลการศึกษาพบว่า มาตรการที่เหมาะสมที่สามารถนำมาเป็นแนวทางการบริหารจัดการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศแบ่งออกเป็น 2 มาตรการ คือ (1) ปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศใหม่เนื่องจากเครื่องปรับอากาศที่ใช้อยู่มีการใช้งานมากกว่า 10 ปี โดยจะต้องตั้งงบประมาณในการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ 1,652,800.00 บาท และเมื่อเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศทั้งหมดจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 78,566.00 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 377,117.00 บาท/ปี โดยคิดเป็นระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย 4.38 ปี (2) ซ่อมบำรุงด้วยการล้าง

เครื่องปรับอากาศ 2 ครั้ง/ปี เพื่อช่วยรักษาสมรรถนะการทำงานที่ดีของเครื่องปรับอากาศ โดยจะต้องตั้งงบประมาณในการซ่อมบำรุงเท่ากับ 41,600.00 บาท/ปี คิดเป็นเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 12,888.00 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 55,789.00 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 0.37 ปี อย่างไรก็ตามในการดำเนินงานจริงมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาตามความเหมาะสมของงบประมาณที่มีอีกครั้ง

คำสำคัญ: การอนุรักษ์พลังงาน, มหาวิทยาลัย, ระบบปรับอากาศ

Abstract

Thailand is located in a tropical climate zone, resulting in generally high temperatures and humidity throughout the year. This leads to thermal discomfort for building occupants. Therefore, air conditioning systems are commonly installed to control temperature and humidity within a comfortable range. However, this practice contributes to a high proportion of energy consumption in buildings, particularly from air conditioning systems. This study investigated energy conservation management strategies for air conditioning systems, using the multipurpose academic building at the Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University as a case study. The building houses 32 air conditioning units, prompting an assessment of feasible measures to reduce energy consumption. Two key strategies were identified: (1) Replacing outdated air conditioners (in use for over ten years) at a proposed budget of 1,652,800.00 Bath. This measure is projected to save 78,566 kWh/year (377,117.00 Baht/year) with a simple payback period of 4.38 years. (2) Implementing periodic maintenance through twice-yearly cleaning, requiring an annual budget of 41,600 Bath and offering savings of 12,888 kWh/year (55,789 Baht/year) with a very short payback period of 0.37 years. These findings highlight practical and cost-effective approaches to managing energy usage in air conditioning systems. However, budget considerations are crucial for ensuring the suitability of the selected measures prior to implementation.

Keywords: Energy conservation, University, Air conditioning

1. บทนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ส่งผลให้สภาพอากาศโดยทั่วไปมีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์มากตลอดทั้งปี ซึ่งส่งผลต่อความรู้สึกไม่สบายเชิงความร้อน (Thermal discomfort) ของผู้ใช้อาคาร ดังนั้น อาคารบ้านเรือนและอาคารสำนักงานในประเทศไทยจึงนิยมติดตั้งระบบปรับอากาศ (Air conditioning) เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยและการทำงาน อย่างไรก็ตามการใช้ระบบปรับอากาศในอาคารมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึงประมาณร้อยละ 60 ของการใช้พลังงานทั้งหมดในอาคาร (กัญญาณัฐ, 2564) ดังนั้นการอนุรักษ์พลังงานในส่วนนี้ก็จะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในภาพรวมได้ การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศสามารถดำเนินการได้หลายแนวทาง เช่น การเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy efficiency ratio: EER) สูง การตั้งอุณหภูมิภายในห้องที่ 27°C ร่วมกับการใช้พัดลม และการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ เช่น การล้างเครื่องปรับอากาศปีละ 2 ครั้ง ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ถึงร้อยละ 10 (ปรีชพงศ์ และ นลินี, 2563) อย่างไรก็ตาม อาคารภาครัฐมักเผชิญกับข้อจำกัดในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน เช่น งบประมาณบำรุงรักษาที่ไม่เพียงพอ การใช้งานเครื่องปรับอากาศที่มีอายุเกิน 10 ปี และข้อจำกัดด้านการจัดซื้อครุภัณฑ์ ซึ่งส่งผลให้การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศทำได้ยาก การบริหารจัดการที่เหมาะสม เช่น การสำรวจสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ การคำนวณเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนเครื่องใหม่กับการซ่อมบำรุง และการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม จึงเป็นแนวทางที่สามารถช่วยให้หน่วยงานภาครัฐดำเนินการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยที่ผ่านมาได้เสนอแนวทางที่หลากหลายในการลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เช่น การปรับปรุงวัสดุอาคารเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน (วุฒิกานต์ และ พันธุ์ระวี, 2561; พิศาล และคณะ, 2565) การติดตั้งสเปรย์น้ำที่แผงคอยล์ร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็น (กันตภณ และคณะ, 2564) การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นแบบปรับความเร็วรอบได้ หรือ Inverter (เอื้อการณ, 2566) และการใช้ระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน (Variable refrigerant flow: VRF) ที่มีความคุ้มค่าในระยะยาว (สุทัศน์ และคณะ, 2564) จากการศึกษาของ สกลสุภา และยิ่งสวัสดิ์ (2567) พบว่าในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ระบบปรับอากาศเป็นแหล่งใช้พลังงานหลักคิดเป็นร้อยละ 76.52 โดยเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพต่ำ ($\text{EER} < 11.0$) และมีอายุการใช้งานสูง ส่งผลให้ใช้พลังงานมากเกินจำเป็น งานวิจัยดังกล่าวเสนอแนวทางในการลดการใช้พลังงาน 3 แนวทาง ได้แก่ การปิดแอร์และไฟช่วงพักกลางวัน การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นรุ่นใหม่ และการใช้พลังงานทดแทนโดยติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ในด้านการบริหารจัดการและการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ธนีสร และปิยนุช (2564) ได้ศึกษาการใช้พลังงานในอาคารเรียน พบว่าห้องที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงมีการใช้พลังงานสูงกว่าห้องทั่วไปถึงร้อยละ 37 และเสนอแนวทางลดการใช้



พลังงาน เช่น การเลือกใช้ห้องที่ได้รับรังสีอาทิตย์น้อย การลดการใช้ห้องขนาดใหญ่ และการใช้สีผนังที่เหมาะสม สอดคล้องกับ ศรัณย์ และธนิต (2562) วิเคราะห์การปรับปรุงอาคารราชการที่มี OTTV สูง โดยเสนอ 3 มาตรการ ได้แก่ การปรับปรุงวัสดุอาคาร ระบบปรับอากาศ และการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานได้ถึงร้อยละ 54.37 และบรรลุเป้าหมาย NZEB (Net zero energy building) ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมาตรการที่สอดคล้องกับมาตรฐานต่างๆ พิรพัฒน์ และคณะ (2568) ประเมินแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (EEP2011) พบว่าแม้จะลดการใช้พลังงานได้ต่อเนื่อง แต่ยังไม่สามารถลดการปล่อยคาร์บอนให้เป็นไปตามเป้าหมายของ SBTi (Science based target institute) ได้ จึงเสนอให้มีการชดเชยด้วยพลังงานหมุนเวียน เช่น การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ เช่นเดียวกับ ศุภชัย และโจเซฟ (2567) ศึกษาการปรับปรุงอาคารสำนักงานเพื่อให้ผ่านเกณฑ์ TREES-NC ระดับ Platinum โดยเน้นการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร การติดตั้งฉนวน การเปลี่ยนระบบปรับอากาศเป็น VRV (Variable refrigerant volume) การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ และการเปลี่ยนระบบแสงสว่างเป็น LED สิริสวัสดิ์ (2568) เสนอการนำพลังงานความเย็นที่เหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้ถังกักเก็บน้ำเย็นระหว่างเครื่องทำระเหยและเครื่องอัดไอ ซึ่งช่วยเพิ่ม COP ของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ศุภกฤต และธนารักษ์ (2563) ศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินของการพัฒนาอาคารสำนักงานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคให้เป็น NZEB พบว่าแม้จะมีศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน แต่ยังคงขาดความน่าสนใจเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากต้นทุนของอุปกรณ์ประหยัดพลังงานและพลังงานทดแทนยังคงค่อนข้างสูง Yang *et al.*, (2018) ได้พัฒนาเครื่องมือ FMEA (Failure mode and effects analysis) สำหรับระบบปรับอากาศ (HVAC) โดยใช้ข้อมูลใบแจ้งซ่อมในอาคาร ซึ่งช่วยให้สามารถตรวจจับและพยากรณ์ความเสียหายของอุปกรณ์ที่มีผลต่อการใช้พลังงาน เช่น พัดลม วาล์ว และปั๊มน้ำ ได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้ผู้ดูแลอาคารสามารถวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ Sanzana *et al.*, (2022) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค Deep learning เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานของระบบ HVAC โดยเฉพาะในด้านการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานเกินจำเป็น และสามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากเซนเซอร์และพฤติกรรมผู้ใช้อาคารได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้ระบบ HVAC ทำงานอย่างชาญฉลาดและประหยัดพลังงานมากขึ้น ในระดับครัวเรือน Nezhad *et al.* (2021) ได้นำเสนอโมเดลการจัดการพลังงานภายในบ้านที่สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบ Inverter โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารร่วมกับโครงสร้างราคาค่าไฟฟ้าแบบ Time-of-Use (TOU) เพื่อปรับระดับการทำงานของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับช่วงเวลาที่มียาค่าพลังงานต่ำ ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานในช่วงพีคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่ามีมาตรการมากมายที่สามารถนำมาลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ ทั้งในด้านการออกแบบอาคาร การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม การ



บำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการใช้พลังงานหมุนเวียน อย่างไรก็ตาม การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ โดยเฉพาะในอาคารของภาครัฐ ยังมีข้อจำกัดหลายประการที่ต้องพิจารณา เช่น ความสามารถในการนำมาตราการไปประยุกต์ใช้จริง งบประมาณที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี และข้อจำกัดด้านการจัดซื้อครุภัณฑ์ นอกจากนี้ การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศใหม่ยังจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลทางเทคนิคที่สำคัญ เช่น อายุการใช้งาน สมรรถนะการทำความเย็นในปัจจุบัน และประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่อง เพื่อให้สามารถตัดสินใจเลือกแนวทางที่เหมาะสมในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการพลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารภาครัฐ โดยเน้นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเทคนิคของเครื่องปรับอากาศ เพื่อเสนอแนวทางที่สามารถนำไปใช้ได้จริงภายใต้ข้อจำกัดของหน่วยงาน

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อหาแนวทางการจัดการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก

2.2 เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของมาตรการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สมรรถนะเครื่องปรับอากาศ (ยูทอปงซ์ และคณะ, 2562) สมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) โดยทั่วไปนิยมใช้กัน 3 แบบ คือ

(1) ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of performance, COP) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็น (Watt) และกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศในการทำความเย็น (Watt) โดยค่า COP มีหน่วยเป็น W/W สามารถหาได้ดังนี้

$$COP = \frac{Q}{W} \quad \text{หรือ} \quad COP = \frac{\dot{m}(\Delta h_{out})}{\dot{m}(\Delta h_{in})} \quad (1)$$

เมื่อ	Q	คือ	ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศ (W)
	W	คือ	พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (W)
	\dot{m}	คือ	อัตราการไหลของสารทำความเย็น (kJ/kg)
	Δh_{out}	คือ	ผลต่างของเอนทาลปีด้านทำความเย็น $h_1 - h_4$ (kJ/kg)
	Δh_{in}	คือ	ผลต่างของเอนทาลปีด้านเครื่องอัดไอ $h_2 - h_1$ (kJ/kg)

(2) ค่าประสิทธิภาพพลังงาน (Energy efficiency ratio, EER) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถในการทำความเย็น (BTU/hr) รวมสุทธิ และกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศในการทำความเย็น (Watt) โดยค่า EER มีหน่วยเป็น BTU/hr/Watt สามารถหาได้ดังนี้

$$EER = \frac{Q}{W} \quad (2)$$

โดยที่ Q คือ ขีดความสามารถทำความเย็นสุทธิของระบบปรับอากาศ (BTU/hr) และ W คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (W)

และสำหรับงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญไปที่ “ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP)” และ “ค่าประสิทธิภาพพลังงาน (EER)” ที่ถือว่าเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่เป็นตัวบ่งชี้ว่าเครื่องปรับอากาศเครื่องใดมีประสิทธิภาพ และ/หรือ ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศใหม่

(3) ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (CHP) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศในการทำความเย็น (kW) และความสามารถในการทำความเย็น (TR หรือตันความเย็น) ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$CHP = \frac{kW}{TON} \quad (3)$$

โดยที่ CHP คือ ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/TR), kW คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ภาระเต็มพิกัด (kW) และ TON คือ ขีดความสามารถการทำความเย็นรวมที่ภาระเต็มพิกัด (TR) ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$TON(TR) = 5.707 \times 10^{-3} \times CMM \times (H_r - H_s) \quad (4)$$

โดยที่ CMM คือ ปริมาณลมเย็นหมุนเวียนผ่านเครื่องปรับอากาศ (m^3/min), H_r คือ เอนทาลปีของอากาศด้านลมกลับ ($kJ/kg_{dry\ air}$) และ H_s คือ เอนทาลปีของอากาศด้านลมจ่าย ($kJ/kg_{dry\ air}$)

จะเห็นว่าค่านิยามของ $EER, kW/TR$ และ COP เป็นส่วนกลับซึ่งกันและกัน โดย EER และ COP ยิ่งมีค่าสูงเท่าไรก็หมายความว่าเครื่องปรับอากาศมีสมรรถนะการทำงานที่ดีในขณะที่ค่า kW/TR ยิ่งมีค่าต่ำเท่าไร เครื่องปรับอากาศเครื่องนั้นก็ยิ่งมีค่าสมรรถนะการทำงานที่ดีเท่านั้นด้วย ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{kW}{TON} = \frac{12}{EER}, COP = \frac{EER}{3.412} \quad (5)$$

โดยที่ ค่าคงที่ 3.412 คือ ค่าคงที่สำหรับแปลงค่า BTU/hr ไปเป็น Watt

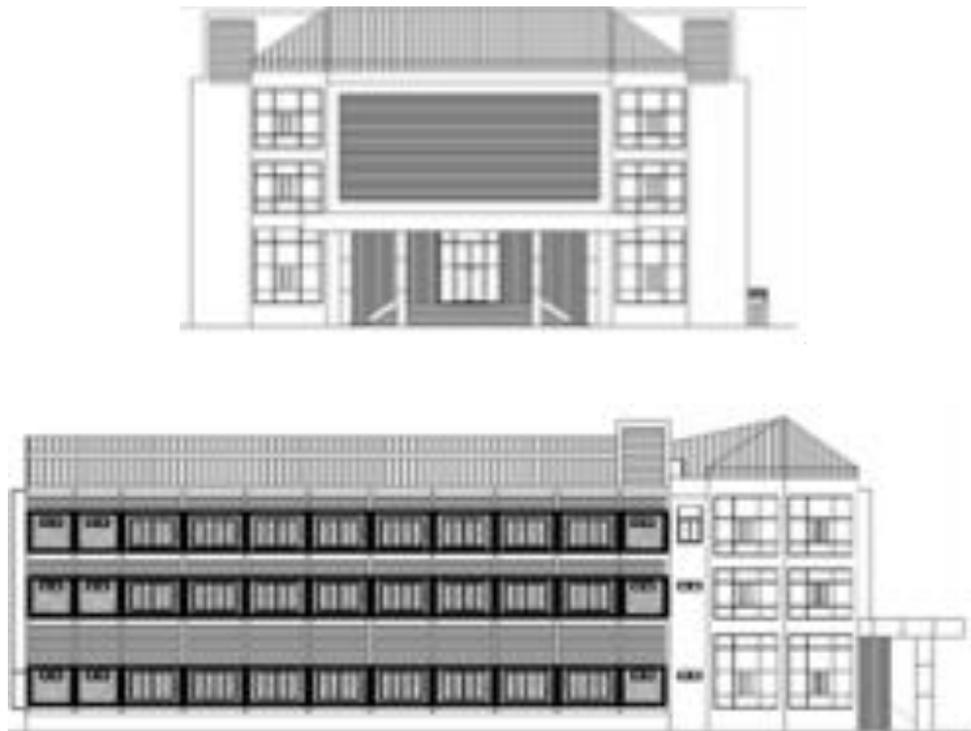
การคำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period) (สุรพงษ์ สำลีพันธ์ และ ชัยยศ ดำรงกิจโกศล, 2567)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งหมด (บาท)}}{\text{ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)}} \quad (6)$$

จากสมการที่ (6) ระยะเวลาคืนทุน (ปี) มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน คือ เป็นการคำนวณที่ไม่ได้คำนึงถึงมูลค่าของเงินตามเวลา และไม่ได้นำกระแสเงินสดมาพิจารณาหลังได้รับระยะเวลาคืนทุน

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการหามาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ อาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก โดยในการศึกษาจะเป็นการสำรวจและวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน โดยกระบวนการวิจัยสามารถแสดงได้ดังนี้



ภาพที่ 1 ลักษณะอาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก

4.1 ศึกษาข้อมูลทั่วไปของอาคารเรียนรวม

อาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก มีตำแหน่งที่ตั้ง ละติจูด 16.84° และ ลองจิจูด 100.21° เป็นอาคารสำนักงานการศึกษา จำนวน 3 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยรวม $3,645 \text{ m}^2$ แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ $3,159 \text{ m}^2$ และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 486 m^2 แสดงลักษณะของอาคารดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ปัจจุบันมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) จำนวน 32 เครื่อง



ภาพที่ 2 ภาพถ่ายอาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก

4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการสำรวจ ตรวจสอบและเก็บรวบรวมข้อมูลของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศจำนวน 32 เครื่อง (แสดงดังตารางที่ 1) โดยมีรายละเอียดของข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลโดยทั่วไปของเครื่องปรับอากาศของอาคารเรียนรวม

ชั้นที่ 1 (จำนวน 10 เครื่อง)					
ที่	ห้อง	Cap. (BTU/hr)	Power (kW)	จำนวน (เครื่อง)	อายุการใช้งาน (Year)
1	ห้องพักอาจารย์ (1)	48,000	4.82	3	16
2	ห้องพักอาจารย์ (2)	36,000	3.40	1	12
3	ห้องเรียน 4104	60,000	4.50	2	17
4	ห้องเรียน 4105	36,000	3.40	2	11
5	ห้องเรียน 4109	48,000	4.82	2	16
ชั้นที่ 2 (จำนวน 13 เครื่อง)					
6	ห้องพักอาจารย์ (1)	25,000	2.33	1	16
7	ห้องบัณฑิตศึกษา	36,000	3.40	2	11
8	ห้องประชุมบัณฑิต	48,000	4.50	2	16
9	ห้องพักอาจารย์ (2)	48,000	4.50	2	16
10	ห้องเรียน 4206	48,000	4.80	2	17
11	ห้องเรียน 4207	36,000	3.40	2	11
12	ห้องเรียน 4211	48,000	4.80	2	17
ชั้นที่ 3 (จำนวน 9 เครื่อง)					
13	ห้องพักอาจารย์ (1)	36,000	3.40	2	11
14	ห้องปฏิบัติการ	48,000	4.50	1	16
15	ห้องศูนย์ทดสอบ	48,000	4.50	2	16
16	ห้องเรียน 4305	60,000	5.80	2	17
17	ห้องเรียน 4310	48,000	4.50	2	17

4.2.1 ข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลครุภัณฑ์ ประกอบไปด้วย หมายเลขครุภัณฑ์เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน, สถานที่ใช้งาน, อายุการใช้งาน และ สภาพการใช้งาน

4.2.2 ข้อมูลต่างๆ ของผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศ (เป็นข้อมูลที่ได้จาก Name plate) ประกอบไปด้วย ความสามารถในการทำความเย็น (BTU/hr), ขนาดกำลังไฟฟ้า (kW), สมรรถนะการทำความเย็น (kW/TR), ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) และ ยี่ห้อ/รุ่น

4.2.3 ข้อมูลของเครื่องปรับอากาศที่ได้จากการบันทึกข้อมูลปฏิบัติงานปี 2567

4.2.4 ข้อมูลของเครื่องปรับอากาศที่ได้จากการตรวจวัด ประกอบไปด้วย

- ความเร็วลมด้านลมจ่าย/กลับ (m/s) ด้วยเครื่องวัดความเร็วลม Digital Anemometer ยี่ห้อ HABOTEST รุ่น HT625 ความละเอียด $\pm(2\%+0.5\text{m/s})$ (แสดงดังภาพที่ 3 (ก))

- อุณหภูมิด้านลมจ่าย/กลับ ($^{\circ}\text{C}$) และ ความชื้นสัมพัทธ์ด้านลมจ่าย/กลับ (%RH) ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นแบบพกพา/เทอร์โมคัปเปิล ยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM1361 ความแม่นยำ $\pm 3\%(30-95\%); \pm 5\%(10-30\%)$ และความละเอียด 0.1%RH (แสดงดังภาพที่ 3 (ข))



(ก) เครื่องวัดความเร็วลม
ยี่ห้อ HABOTEST รุ่น HT625



(ข) เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์
ยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM1361



(ค) เครื่องวัดแรงดัน และกระแสไฟฟ้า
ยี่ห้อ Fluke รุ่น 377FC



(ง) ตลับเมตร

ภาพที่ 3 อุปกรณ์/เครื่องมือ ที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูลของเครื่องปรับอากาศ

- กำลังไฟฟ้า (kW) ด้วยเครื่องวัดแคลมป์ AC/DC แรงดันไฟฟ้าแบบไม่สัมผัส ยี่ห้อ Fluke รุ่น 377FC (แสดงดังภาพที่ 3 (ค))

- พื้นที่หน้าตัดช่องลมจ่าย/กลับ (m^2) ด้วยตลับเมตร (แสดงดังภาพที่ 3 (ง))

4.4 วิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องปรับอากาศที่ได้จากการคำนวณ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาหรือมาตรการที่ถูกรับเลือกในงานวิจัยนี้จะสอดคล้องกับผลการศึกษาในงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา ประกอบกับมาตรการที่จะถูกนำเสนอมักจะสอดคล้องกับบริบทของอาคารภาครัฐที่จะต้องคำนึงถึงงบประมาณที่สามารถนำมาใช้ได้และการเปลี่ยน/การจำหน่ายรายการครุภัณฑ์ ผลการศึกษาสามารถแสดงได้ดังนี้

5.1 มาตรการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศใหม่

การศึกษาได้ให้ความสำคัญไปที่การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี เนื่องด้วยเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี จะมีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานที่ต่ำ และมีการใช้พลังงานที่สูงกว่าเครื่องปรับอากาศใหม่ถึงแม้จะมีการดูแลบำรุงรักษาดีก็ตาม ผลการวิเคราะห์การปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแสดงดังตารางที่ 2 (เครื่องปรับอากาศใหม่ คือ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) แบบ Inverter)

จากข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1 เครื่องปรับอากาศที่ติดตั้ง ณ อาคารเรียนรวมทั้งหมดมีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี โดยมีขนาดการทำความเย็นอยู่ระหว่าง 25,000 – 60,000 BTU/hr และมีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ระหว่าง 6.18 – 9.87 BTU/hr/W และผลการวิเคราะห์การปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแสดงดังตารางที่ 2 พบว่า จะต้องตั้งงบประมาณในการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 1,652,800.00 บาท และเมื่อเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศทั้งหมดจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 78,566.00 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 377,117.00 บาท/ปี ซึ่งคิดเป็นระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายได้เท่ากับ 4.38 ปี

5.2 มาตรการซ่อมบำรุงด้วยการล้างเครื่องปรับอากาศ

การซ่อมบำรุงด้วยการล้างคอยล์เย็น (Evaporating coil) และคอยล์ร้อน (Condensing coil) และเช็คระดับความดันของสารทำความเย็น (Refrigerant) ในระบบปรับอากาศจะช่วยให้เครื่องปรับอากาศมีสมรรถนะการทำงานหรือค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานสูงขึ้นประมาณร้อยละ 10 (ปรีชพงศ์ นันถิ์ตรง และ นลินี หมุ่มหมื่นศรี, 2563) ดังนั้นผลการศึกษาในส่วนนี้จะแสดงผลการวิเคราะห์การล้างเครื่องปรับอากาศของอาคารเรียนรวม โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์การปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศอาคารเรียนรวม

ที่	ห้อง	Cap. (BTU/hr)	จำนวน (เครื่อง)	EER		Energy saves (kWh/ปี)	Saves (บาท/ปี)	Inv. (บาท)	PB (ปี)
				(เก่า)	(ใหม่)				
ชั้นที่ 1									
1	ห้องพักอาจารย์ (1)	48,000	3	6.18	10.11	6,801	32,645	178,500	5.47
2	ห้องพักอาจารย์ (2)	36,000	1	8.05	12.22	2,291	10,997	45,500	4.14
3	ห้องเรียน 4104	60,000	2	8.98	12.4	5,484	26,323	107,000	4.06
4	ห้องเรียน 4105	36,000	2	8.58	12.22	3,436	16,493	91,000	5.52
5	ห้องเรียน 4109	48,000	2	5.55	10.11	3,400	16,320	107,000	6.56
ชั้นที่ 2									
6	ห้องพักอาจารย์ (1)	25,000	1	7.33	12.22	1,370	6,576	36,300	5.52
7	ห้องบัณฑิตศึกษา	36,000	2	8.05	12.22	4,582	21,994	91,000	4.14
8	ห้องประชุมบัณฑิต	48,000	2	8.73	12.4	6,160	29,568	107,000	3.62
9	ห้องพักอาจารย์ (2)	48,000	2	7.38	12.4	6,160	29,568	107,000	3.62
10	ห้องเรียน 4206	48,000	2	7.1	12.4	4,620	22,176	107,000	4.83
11	ห้องเรียน 4207	36,000	2	8.75	12.22	3,436	16,493	91,000	5.52
12	ห้องเรียน 4211	48,000	2	9.87	12.4	4,620	22,176	107,000	4.83
ชั้นที่ 3									
12	ห้องพักอาจารย์ (1)	36,000	2	8.05	12.22	4,582	21,994	91,000	4.14
14	ห้องปฏิบัติการ	48,000	1	8.34	12.4	2,310	11,088	53,500	4.83
15	ห้องศูนย์ทดสอบ	48,000	2	7.19	12.4	4,620	22,176	107,000	4.83
16	ห้องเรียน 4305	60,000	2	8.25	12.4	8,534	40,963	119,000	2.91
17	ห้องเรียน 4310	48,000	2	8.34	12.4	6,160	29,568	107,000	3.62
						78,566	377,117	1,652,800	4.38

หมายเหตุ

(1) พลังงานไฟฟ้า คำนวณจาก $[\text{Cooling Cap. (BTU/hr)} / \text{EER}] \times [\text{ชม.การทำงานใน 1 ปี} * \text{Load factor (0.70)}] / 1000$
(Load factor = 0.7 คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา ซึ่งสามารถใช้คาดการณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด และปรับปรุงการบริหารจัดการพลังงาน)

(2) พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ คือ พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศ “เก่า” ใช้งาน เทียบกับเครื่องปรับอากาศ “ใหม่”

(3) ระยะเวลาคืนทุน คือ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (บาท/year)หารด้วย เงินลงทุน (บาท)

(4) (เก่า) คือ เครื่องปรับอากาศเครื่องเก่า และ (ใหม่) คือ เครื่องปรับอากาศเครื่องใหม่

(5) กำหนดให้ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน เท่ากับ 4.80 บาท/kWh

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์การซ่อมบำรุงด้วยการล้างเครื่องปรับอากาศอาคารเรียนรวม

ที่	ห้อง	Cap. (BTU/hr)	จำนวน (เครื่อง)	Energy (kWh/ปี)		Energy saves (kWh/ปี)	Saves (บาท/ ปี)	Inv. (บาท)	PB (ปี)
				(ก่อน)	(หลัง)				
ชั้นที่ 1									
1	ห้องพักอาจารย์ (1)	48,000	3	4,674	4,249	1,275	6,120	1,950	0.32
2	ห้องพักอาจารย์ (2)	36,000	1	3,529	3,207	322	1,540	650	0.42
3	ห้องเรียน 4104	60,000	2	5,674	5,158	1,032	2,476	1,300	0.53
4	ห้องเรียน 4105	36,000	2	3,529	3,207	644	1,540	1,300	0.84
5	ห้องเรียน 4109	48,000	2	4,674	4,249	850	2,040	1,300	0.64
ชั้นที่ 2									
6	ห้องพักอาจารย์ (1)	25,000	1	2,332	2,119.85	212	1,018	650	0.64
7	ห้องบัณฑิตศึกษา	36,000	2	3,529	3,207.95	642	3,082	1,300	0.42
8	ห้องประชุมบัณฑิต	48,000	2	4,674	4,249.23	850	4,078	1,300	0.32
9	ห้องพักอาจารย์ (2)	48,000	2	4,674	4,249.23	850	4,078	1,300	0.32
10	ห้องเรียน 4206	48,000	2	4,674	4,249.23	850	4,078	1,300	0.32
11	ห้องเรียน 4207	36,000	2	3,529	3,207.95	642	3,082	1,300	0.42
12	ห้องเรียน 4211	48,000	2	4,674	4,249.23	850	4,078	1,300	0.32
ชั้นที่ 3									
12	ห้องพักอาจารย์ (1)	36,000	2	3,529	3,207.95	642	3,082	1,300	0.42
14	ห้องปฏิบัติการ	48,000	1	4,674	4,249.23	425	2,039	650	0.32
15	ห้องศูนย์ทดสอบ	48,000	2	4,674	4,249.23	850	4,078	1,300	0.32
16	ห้องเรียน 4305	60,000	2	6,076	5,523.59	1,105	5,303	1,300	0.25
17	ห้องเรียน 4310	48,000	2	4,674	4,249.23	850	4,078	1,300	0.32
				73,793	67,082	12,888	55,789	20,800	0.37

ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า ในแต่ละปีงบประมาณควรตั้งงบประมาณเพื่อซ่อมบำรุงเครื่องปรับอากาศด้วยการล้างทำความสะอาดคอยล์เย็น คอยล์ร้อนและตรวจเช็คสารทำความเย็น เท่ากับ 41,600.00 บาท/(2 ครั้ง)/ปี โดยสามารถคิดเป็นเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้ 12,888.00 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 55,789.00 บาท/ปี ซึ่งคิดเป็นระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายได้เท่ากับ 0.37 ปี

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าการตั้งงบประมาณเพื่อเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับการซ่อมบำรุงโดยการล้างเครื่องปรับอากาศนั้นมีความจำเป็นเป็นอย่างมาก เนื่องด้วยจะช่วยให้สมรรถนะการ



ทำงานของเครื่องปรับอากาศมีค่าที่ต่ำอยู่เสมอซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการใช้พลังงาน แต่อย่างไรก็ตามมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงอายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ โดยเฉพาะเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี ที่มีความจำเป็นที่จะต้องหางบลงทุนเพื่อปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศใหม่ เนื่องด้วยเครื่องปรับอากาศใหม่จะมีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานที่สูง ซึ่งวิธีการนี้ถึงแม้จะใช้งบประมาณลงทุนที่สูง แต่สามารถที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายจากต้นทุนพลังงานในระยะยาวได้

6. สรุปผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาแนวทางการบริหารจัดการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศกรณีศึกษาอาคารเรียนรวม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก ผลการศึกษาพบว่า มาตรการที่เหมาะสมกับหน่วยงานประกอบไปด้วย 2 มาตรการหลัก ดังนี้

(1) การซ่อมบำรุงด้วยการล้างคอยล์เย็น คอยล์ร้อนและตรวจเช็คแรงดันของสารทำความเย็น มาตรการนี้จะใช้งบประมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ โดยหน่วยงานของรัฐจำเป็นต้องตั้งงบประมาณในการซ่อมบำรุง 2 ครั้ง/ปี เพื่อช่วยให้เครื่องปรับอากาศสามารถรักษาสมรรถนะการทำงานให้ต่ำอยู่เสมอ (ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ปรีชพงศ์ นัถสิทธิ์ & หม่อมจันทร์, 2563) โดยในแต่ละปีงบประมาณควรตั้งงบประมาณเพื่อซ่อมบำรุงเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 41,600.00 บาท/(2 ครั้ง)/ปี และจะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 12,888.00 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 55,789.00 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 0.37 ปี

(2) การปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี เป็นเครื่องปรับอากาศแบบ Inverter มาตรการนี้จะต้องตั้งงบประมาณในการลงทุนสูง แต่หากสามารถทำได้จะช่วยให้การลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ผลดีที่สุด (ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ อ้อการณ บุตโรทธิ์ศรี, 2566) โดยจะต้องตั้งงบประมาณในการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 1,652,800.00 บาท ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 78,566.00 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 377,117.00 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 4.38 ปี

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ได้แนวทางการบริหารจัดการที่ดีที่สุดควรวิเคราะห์ถึงงบประมาณที่ทางหน่วยงานมีหรือสามารถตั้งงบประมาณได้ แต่ทั้งนี้การซ่อมบำรุงเครื่องปรับอากาศก็ควรทำอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง และควรมีการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเมื่อมีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี นอกจากนี้หากต้องการได้ข้อมูลที่ถูกต้องและสมบูรณ์มีความจำเป็นที่จะต้องเก็บข้อมูลชั่วโมงการใช้ห้องเรียน และ/หรือ ชั่วโมงการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม สำหรับสถานที่ทำงานวิจัย ขอขอบคุณ หน่วยวิจัยพลังงานสะอาด ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับการสนับสนุนเครื่องมือต่างๆ ที่ช่วยทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ

8. เอกสารอ้างอิง

- กัญญาณัฐ คงพรปรารณา. (2021). การประเมินผลประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน. **สารศาสตร์**, 4(2), 303-313.
- กันตภณ มะหาหมัด, ปิ่นพงษ์ ยอดสะคุณ, และวนิดา เพ็ชรลมูล. (2564). ระบบการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยการฉีดสเปรย์น้ำที่แผงคอยล์ร้อน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ**, 1(1), 10-18.
- ปรัชพงศ์ นัถือตรง, และนลินี หมูหมื่นศรี. (2563). การศึกษาการใช้พลังงานและแนวทางการประหยัดพลังงานในวิทยาลัยธาตุพนม มหาวิทยาลัยนครพนม. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี**, 8(1), 89-104.
- พิสิทธิ์ ถ้าวาปี, และชูพงษ์ ทองคำสมุทร. (2018). แนวทางการออกแบบอาคารเริ่มต้นแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามนโยบายมหาวิทยาลัยสีเขียว. **Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)**, 15(2), 107-120.
- พิศาล ศิริวงก์, ปุณชกริก สุกุลมีศักดิ์, และพีรเดช นิยะสม. (2565). การเพิ่มประสิทธิภาพคอนกรีตบล็อกกระบายอากาศในการต้านทานการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร. **วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา**, 6(1), 9-15.
- พีรพัฒน์ ทริเลิศรัฐ, อรรถจัน เศรษฐบุตร, และสริน พินิจ. (2568). การประเมินประสิทธิผลของเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารของประเทศไทยภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ. **Sarasatr: Journal of Architecture and Design**, 8(1), 205-217.
- ยุทธพงษ์ ศรีวิชัยมูล, สุรเกียรติ์ คล้ายศรี, ชัชพงศ์ หอมจันทร์, และบุญยัง ปลั่งกลาง. (2562). การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เพื่อพัฒนาประสิทธิผลนวัตกรรมเครื่องปรับอากาศด้วยลมเย็นประหยัดพลังงาน. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- ศรัณย์ ตันรัตน์วงศ์, และธนิต จินดาวณิ. (2562). การปรับปรุงอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์กรณีศึกษาแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการ. **Sarasatr: Journal of Architecture and Design**, 2(4), 523-535.

- ศุภกฤต เฉลิมเกียรติ, และธนารักษ์ เหล่าสุทธิ. (2563). การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินโครงการพัฒนาอาคารสำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคให้ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์. **Journal of Buddhist Education and Research (JBER)**, 6(2), 174-189.
- ศุภชัย ปัญญาวิীর, และโจเซฟ เคदार. (2567). การปรับปรุงอาคารสำนักงาน บริษัท เอ็ม.อี.ซี. วิศวกรรม จำกัด ในหมวดพลังงานและบรรยากาศตามเกณฑ์ TREES-NC. **Journal of Research Creative Architecture and Design**, 1(1).
- สุทัศน์ ศิลาเกษ, ดุสิต งามรุ่งโรจน์, กิตติ เกื้อสกุล, โกวิทย์ กัลยาทอง, จงจิตร หิรัญลาภ, สุเมธ สถิตบุญอนันต์, โจเซฟ เคदार, นุภาพ แยมไตรพัฒน์, โยธิน อึ้งกุล, สิทธิพร ใหญ่ธนายศ, และปรีดา จันทวงษ์. (2564). การศึกษาจุดคุ้มทุนระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันของอาคารสำนักงาน. **Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College**, 8(2), 79-90.
- สุรพงษ์ สำลีพันธุ์, และชัยศ ดำรงกิจโกศล. (2567). การศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในฟาร์มเป็ด. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 18(2), 62-72.
- สิริสวัสดิ์ จิงเจริญนิรชร. (2568). การศึกษาเชิงเทคนิคการดึงพลังงานความเย็นเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศมากักเก็บในรูปแบบน้ำเย็น. **วารสารวิทยาศาสตร์ มข.**, 53(2), 233-244.
- สกลสุภา เต็มสวัสดิ์, และยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. (2567). สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารมหาวิทยาลัย กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. **วารสารสถาปัตยกรรมการออกแบบและการก่อสร้าง**, 6(1), 52-65.
- เอื้อการณ์ บุตรโพธิ์ศรี. (2566). การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ในการอนุรักษ์พลังงาน โรงพยาบาลหนองสูงศรี จังหวัดกาฬสินธุ์. **วารสารสิ่งแวดล้อมศึกษาการแพทย์และสุขภาพ**, 8(2), 237-244.
- Nezhad, A. E., Rahimnejad, A., & Gadsden, S. A. (2021). Home energy management system for smart buildings with inverter-based air conditioning system. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, 133, 107230.
- Sanzana, M. R., Maul, T., Wong, J. Y., Abdulrazic, M. O. M., & Yip, C.-C. (2022). Application of deep learning in facility management and maintenance for heating, ventilation, and air conditioning. **Automation in Construction**, 141, 104445.
- Yang, C., Shen, W., Chen, Q., & Gunay, B. (2018). A practical solution for HVAC prognostics: Failure mode and effects analysis in building maintenance. **Journal of Building Engineering**, 15, 26-32.