

วิทยสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
และวิศวกรรมประยุกต์
Wittayasara: Integration Apply Engineering
and Industrial Technology

ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2568
Volume 18 No.1 January - June 2025

ISSN: 3027-8376 (Print)
ISSN: 3056-9559 (Online)

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
119 ถ.ลำปาง-แม่ทะ ต.ชมพู อ.เมือง จ.ลำปาง 52100
โทรศัพท์ 0 5423 7352 ต่อ 1339
<http://www.itech.lpru.ac.th>

**คณะกรรมการและกองบรรณาธิการ วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**

เจ้าของ ที่ปรึกษา	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อธิการบดี รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนจกิตติกร รองศาสตราจารย์บุญชาติ เนติศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ อ้นยะลา รองศาสตราจารย์ธิดิมา คุณยอชิง
บรรณาธิการผู้ก่อตั้ง บรรณาธิการ ผู้ช่วยบรรณาธิการ	

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก Peer Review)

ศ.เกียรติคุณ เสริมศักดิ์ นาคบัว	มหาวิทยาลัยศิลปากร	รศ. สุมาลี อุณหวนิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ศ.ดร. ก้องกิติ พุสสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	รศ. นิลวัฒน์ พัฒนพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ศ.ดร. ตริตศ เหล่าศิริหงษ์ทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. ยืน ภู่วรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	รศ. วิชัย พฤกษ์ธาราธิกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร. ธนารักษ์ อีระมั่นคง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. สมชาย ชื่นพัฒนาประณิธิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ศ.ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	รศ. สมพงษ์ บุญเลิศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ศ.ดร. ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. สายัณห์ จันทวิรัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ศ.ดร. สุพล อนันตา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	รศ. สุวิช บุตรสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร. วัฒนวงศ์ รัตนวราห	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	รศ. आयुวัฒน์ สว่างผล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ศ.ดร. อภิรัฐ ศิริธราวัตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ผศ.ดร. จิรพัฒน์ วาณิชวัฒนาโกศล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. กวิน สนิธิเพิ่มพูน	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	ผศ.ดร. นิวัตร พัฒนะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
รศ.ดร. เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง	มหาวิทยาลัยบูรพา	ผศ.ดร. ศศิธร คนทน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร. ชิตชัย อนันตเศรษฐ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร. ศักดิพล เทียนเสมอ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. ช่างโชติ พันธเวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	ผศ.ดร. สมชาย มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รศ.ดร. ดรณิ วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	ผศ.ดร. สุธี วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
รศ.ดร. อีรศิลป์ ทุมวิภาต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลรัตนโกสินทร์		

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน)

รศ.ดร. นกตล อุทัยภักดี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ.ดร. กิตติศักดิ์ สมุทรารักษ์	
รศ.ดร. นิพนธ์ เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	ศ. จำเนียร นันทิลัก	
รศ.ดร. นพมณี โทบุญญานนท์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	รศ.ดร. นันทะ บุตรน้อย	
รศ.ดร. นัฐพร ไชยญาติ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	รศ.ดร. อนิรุจน์ มะโนธรรม	
รศ.ดร. ปรงศักดิ์ อัมพพ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	ผศ. พงษ์สวัสดิ์ อำนจกิตติกร	
รศ.ดร. พิระวุฒิ สุวรรณจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	รศ. ธิดิมา คุณยอชิง	
รศ.ดร. พงศ์ หรดาล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	Mr. Richard Lawrence Mann	
รศ.ดร. มนตรี ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า		
รศ.ดร. วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร	มหาวิทยาลัยพะเยา		
รศ.ดร. วิชัย แหวนเพชร	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร		
รศ.ดร. ภูพงษ์ พงษ์เจริญ	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	รศ. ธิดิมา คุณยอชิง	ฝ่ายประสานงานทั่วไป
รศ.ดร. สรา อารณ	มหาวิทยาลัยมหิดล	ผศ.ดร. วศินวิโรตม์ เนติศักดิ์	ฝ่ายออกแบบงานศิลป์
รศ.ดร. อภิชาติ แจ้งบำรุง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	นางสาว รุ่งระวี ปวงปันวงศ์	ฝ่ายการเงิน
รศ.ดร. เอกรัฐ บุญเชียง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	นางสาว กมลชนก ถาแก้ว	ฝ่ายจัดเตรียมต้นฉบับ

ฝ่ายสนับสนุนการดำเนินการจัดทำวารสาร

วารสารวิชาการ “วิทยาสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์” ISSN: 3027-8376 (Print)/ ISSN: 3056-9559 (Online) เป็นวารสารระดับชาติที่ทุกบทความได้รับการกลั่นกรองจากคณะกรรมการ และตรวจประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายใน และภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อย่างน้อยบทความละ 3 ท่าน และไม่ได้อยู่ในสถาบันเดียวกันในการพิจารณาประเมินคุณภาพของบทความ โดยทำการพิจารณาให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงแก้ไขให้บทความมีเนื้อหาที่ถูกต้องและมีคุณภาพตามมาตรฐานสากล

วัตถุประสงค์ : เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัย และบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กำหนดออกวารสาร : ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม

เว็บไซต์วารสาร : <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/itech>

สารจาก อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

วารสารวิชาการ “วิทยสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์” ดำเนินการโดยคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เข้าสู่ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2568 โดยยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลางเพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการ สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิจัยและวิชาการ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่บูรณาการเข้ากับวิถีภูมิปัญญาท้องถิ่น และการสร้างสรรค์ผลงานใหม่ เพื่อส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้สนใจ และการใช้ประโยชน์ของบุคคล สังคม ท้องถิ่น และยังเป็นแหล่งแสวงหาความรู้ สร้างความรู้ และการต่อยอดองค์ความรู้ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ในโอกาสนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผู้อ่าน นักวิจัย นักศึกษา นักวิชาการ หรือผู้สนใจทั่วไป จะได้รับข้อมูลทางวิชาการที่เป็นประโยชน์จากวารสารฉบับนี้ และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ และกองบรรณาธิการ ที่ร่วมกลั่นกรองและคัดสรรผลงานที่มีคุณภาพ รวมทั้งคณะทำงานทุกท่านที่มีส่วนร่วมการดำเนินการจัดทำวารสารวิชาการนี้ ที่ทำให้ “วารสารวิชาการวิทยสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์” คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง สามารถดำเนินการมาอย่างต่อเนื่องและพร้อมที่จะพัฒนาวารสาร และผลิตผลงานคุณภาพเช่นนี้ต่อไป



รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ สมุทธารักษ์
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารจาก บรรณาธิการ

วารสารวิชาการ “วิทยาสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์” ดำเนินการโดยคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ในปีที่ 18 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2568 โดยยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลางเพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการ สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิจัยและวิชาการ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ บูรณาการเข้ากับวิถีภูมิปัญญาท้องถิ่นและการสร้างสรรค์ผลงานใหม่

จากผลการดำเนินการของคณะทำงานวารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาที่เป็นสื่อกลางในการตีพิมพ์ เผยแพร่บทความ วิจัยและบทความวิชาการของนักวิชาการ คณาจารย์ และนักวิจัย ในศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรมศาสตร์ จนเป็นที่รู้จักและยอมรับในวงวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี เพื่อส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้ที่สนใจ และการใช้ประโยชน์ของบุคคล สังคม ท้องถิ่น และยังเป็นแหล่งแสวงหาความรู้ สร้างความรู้ และการต่อยอดองค์ความรู้ ทำให้คณะทำงาน มีแรงผลักดันในการพัฒนาคุณภาพวารสารวิชาการให้ดียิ่งขึ้นอย่างต่อเนื่อง ท้ายนี้ ขอขอบคุณ ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องจากทุกฝ่าย ที่ทำให้วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สามารถดำเนินการ มาอย่างต่อเนื่อง และพร้อมที่จะพัฒนาสู่วารสารที่มีคุณภาพดียิ่ง ๆ ขึ้นต่อไป



ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ ฮั่นยะลา

บรรณาธิการ วารสารวิชาการ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารบัญ

สารจากอธิการบดี

สารจากบรรณาธิการ

หน้า

การประเมินด้านพลังงาน วัฏจักรชีวิต และต้นทุนพลังงานจากการนำ ความร้อนทิ้งกลับคืนของหลุมเจาะน้ำมันดิบโดยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ภูชีสต์ เฟ็งคิริ และนัฐพร ไชยญาติ	1
การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการเบิก – จ่ายสินค้าแผนกค้าปลีก โดยการใช้โปรแกรม SAP : กรณีศึกษาบริษัทค้าปลีกและค้าส่ง อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี วรเทพ ตริวิจิตร, สมจินต์ อักษรธรรม, เถลิง พลเจริญ และพรเทพ แก้วเชื้อ	15
การประเมินเชิงเปรียบเทียบความแม่นยำและความเที่ยงตรงของเครื่องมือสำรวจ สำหรับการสำรวจวัดความสูงต้นสักและประเมินการกักเก็บคาร์บอน ศรายุทธ มาลัย, ดลฤดี สุขใจ, ถิรนนท์ สอนแก้ว, ละม้าย จันทะขาว และปัญชาน์ ต่อกิตติกุล	27
การวิเคราะห์การขนส่งท่อเหล็กด้วยกลไก Star Wheel เพื่อการใช้พลังงาน อย่างมีประสิทธิภาพ ศรัณย์ ถิอดิก, จิรัฏฐ์ พรหมพลอย, รชต โทบัสส์ เบาว์เออร์ และกิริติ กิรสมุทรานนท์	41
การติดตามและปรับปรุงประสิทธิภาพเตาหลอมอลูมิเนียม Striko ด้วยปัญญาประดิษฐ์ ธีระภัทร อินทร์ตา, ชุติศักดิ์ พรสิงห์ และธนาธร เกรอด	54
ภาคผนวก ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการ	65

CONTENTS

Letters from the president

Letters from the Editors

Page

Energy, Life Cycle, and Energy Cost Analysis from Waste Heat Recovery
of Crude Oil Wells using Organic Rankine Cycle (ORC) 1

Puchit Pengsiri and Nattaporn Chaiyat

Improving Efficiency of the Picking and Disbursement Process 15
in the Retail Department using the SAP Program: Case Study
of Retail and Wholesale Companies Bang Yai District, Nonthaburi

*Worathep Treewichit, Somjin Aksorntham, Thaloeng Poljaroen
and Pornthep Kaewchur*

Comparative Accuracy and Precision Assessment of Survey Instruments 27
for Teak Tree Height Measurement and Carbon Sequestration Estimation

*Sarayut Malai, Donrudee Sookjai, Thiranan Sonkaew, Lamay Junthakhao
and Pincha Torkittikul*

Analysis of Steel Pipe Conveyance using Star Wheel Mechanism 41
for Energy Efficiency

Sarun Tuedic, Jirath Promploy, Rachata Tobias Baur and Keerati Kirasamutranon

AI-Driven Monitoring and Optimizing of Striko Aluminium Melting Furnace 54

Teeraphat Inta, Choosak Pornsing and Thanathorn Karot

Appendix 65

Standard requirements for academic journals

การประเมินด้านพลังงาน วัฏจักรชีวิต และต้นทุนพลังงานจากการนำความร้อนทิ้งกลับคืนของหลุมเจาะน้ำมันดิบโดยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ Energy, Life Cycle, and Energy Cost Analysis from Waste Heat Recovery of Crude Oil Wells using Organic Rankine Cycle (ORC)

ภูชิสส์ เพ็งศิริ¹ และนัฐพร ไชยญาติ^{2*}

Puchit Pengsiri¹ and Nattaporn Chaiyat^{2*}

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

^{2*} ห้องวิจัยการออกแบบและเทคโนโลยีด้านอุณหภาพ

¹School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, Thailand

^{2*}Thermal Design and Technology Laboratory (TDeT Lab), Thailand

E-mail: benz178tii@hotmail.com

วันที่รับบทความ 23 พฤศจิกายน 2567

Received: Nov. 23, 2024

วันที่รับแก้ไขบทความ 12 กุมภาพันธ์ 2568

Revised: Feb. 12, 2025

วันที่ตอบรับบทความ 14 มีนาคม 2568

Accepted: Apr. 14, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับการนำความร้อนทิ้งกลับคืนของหลุมเจาะน้ำมันดิบโดยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาด 10 kW_e ที่ใช้สารทำงาน R-245fa และระบายความร้อนด้วยอากาศ ของไหลร้อนได้พิภพอุณหภูมิในช่วง 84.00 - 101.50 °C และอัตราการไหลเชิงมวล 2.91 L/s ถูกใช้ในการผลิตไฟฟ้า จากผลการทดสอบ พบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนสามารถผลิตไฟฟ้าสุทธิได้ 4.95 kW_e ที่ประสิทธิภาพของระบบร้อยละ 3.20 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการประเมินวัฏจักรชีวิต พบว่า ผลกระทบชั้นกลางที่มีค่าผลกระทบสูงสุดคือ การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ 9.06E+04 kg 1,4-DB eq และรองลงมา คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 2.49E+04 kg CO₂ eq และส่งผลกระทบต่อชั้นปลายด้านสุขภาพของมนุษย์ 8.35E-02 DALY ด้านสิ่งแวดล้อม 2.27E-02 Species-y และด้านทรัพยากร 1.71E+03 USD รวมทั้งทำการวิเคราะห์คะแนนเชิงเดียวจากการประเมินวัฏจักรชีวิตได้เท่ากับ 0.00047 Pt โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเกิดจากการใช้ทองแดงและเหล็ก ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจ พบว่า ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยเท่ากับ 2.26 Baht/kWh ภายใต้มูลค่าเงินลงทุน 1,100,000 บาท

คำสำคัญ: ระบบผลิตไฟฟ้า, การนำความร้อนทิ้งกลับคืน, วัฏจักรแรงดันอินทรีย์, การประเมินวัฏจักรชีวิต, หลุมเจาะน้ำมันดิบ

Abstract

This research presents a power generation system for waste heat recovery from crude oil wells. The system employed a 10-kW_e organic Rankine cycle (ORC) with an R-245fa refrigerant as the working fluid and an air-cooled system. A geofluid temperature range of 84.00 – 101.50 °C and a mass flow rate of 2.91 L/s were used to generate power from the ORC system. Test results revealed a net power output of 4.95 kW_e and a system efficiency of 3.20% from the heat-to-power system. The life

cycle assessment (LCA) revealed highly significant midpoint effects under human toxicity of $9.06\text{E}+04$ kg 1,4-DB eq and climate change of $2.49\text{E}+05$ kg CO_2 eq. The endpoint impact values encompassed a human health of $8.35\text{E}-02$ DALY, an ecosystem quality of $2.27\text{E}-02$ Species-y, and natural resources of $1.71\text{E}+03$ USD. The LCA single score was approximately 0.00047 Pt. All of these impacts were associated with the use of copper and steel. The economic analysis indicates a leveled energy cost of 0.064 USD/kWh under an investment cost of 1,100,000 Baht.

Keywords: Power generation system, Waste heat recovery, Organic Rankine cycle (ORC), Life cycle assessment (LCA), Crude oil wells

1. บทนำ

ปิโตรเลียมเป็นหนึ่งในพลังงานฟอสซิลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และในกระบวนการผลิตปิโตรเลียมก่อให้เกิดความร้อนทิ้งจำนวนมาก จากรายงานศักยภาพความร้อนทิ้งทั่วโลกตามภาคส่วน (McKinsey's sustainability practice, 2023) พบว่า ภาคส่วนอุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซได้สร้างความร้อนทิ้งมากกว่า 1,300 TWh (ตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ) คิดเป็นร้อยละ 42 ของภาคส่วนทั้งหมด ดังนั้นการนำความร้อนทิ้งกลับคืนจึงเป็นการอนุรักษ์พลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานโดยการผลิตร่วมพลังงานไฟฟ้าและปิโตรเลียม (Combined petroleum and power generation process) รวมทั้งตอบสนองนโยบายของรัฐบาลในด้านเศรษฐกิจสีเขียว (Green economy) รวมทั้งพัฒนาตลาดซื้อขายไฟฟ้าเสรี ส่งเสริมความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon neutrality) และสนับสนุนการซื้อขายคาร์บอนเครดิต (Carbon credit) (Ministry of Energy, 2025)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผันความร้อนเป็นไฟฟ้าถูกนำเสนอโดย Zheng et al. (2022) ศึกษาการนำความร้อนทิ้งกลับคืนมาใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ซึ่งเหมาะสำหรับการเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิ 80 - 150 °C ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ Zhar et al. (2021) และ Díaz-Secades et al. (2024) ได้ศึกษาความสามารถใช้ความร้อนทิ้งที่อุณหภูมิต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเลือกใช้สารทำงานที่เหมาะสม เช่น R-245fa R-123 และ R-152a สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าได้ 10-20% Rijpkema et al. (2022) และ Ravindran et al. (2024) ประยุกต์ใช้วัฏจักรแรงดันอินทรีย์กับแหล่งความร้อนทิ้งหลายประเภท ทั้งจากระบบการผลิตในอุตสาหกรรมและไอเสีย สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนด้านความร้อนนำเสนอโดย Djemaa et al. (2022) ทดสอบโรงไฟฟ้าไฮบริดจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมพลังงานความร้อนได้พิกขพบว่ามีประสิทธิภาพความร้อนประมาณ 3,823 kW และร้อยละ 16.10 ตามลำดับ Chaiyat et al. (2020) พัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน (Combined cooling, heating, power, CCHP) พบว่า พลังงานสุทธิที่ระบบผลิตได้เท่ากับ 32.62 kWh ที่ประสิทธิภาพร้อยละ 11.60 และทำการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA) โดยพิจารณาผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบด้วยระเบียบวิธี Recipe เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ในรูปแบบค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 0.026 Pt นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์ผลด้านเศรษฐศาสตร์ โดยดัชนีต้นทุนพลังงานต่อหน่วย (Levelized

energy costing, LEnC) เท่ากับ 0.069 USD/kWh จากงานวิจัยข้างต้น พบว่า การนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตปิโตรเลียมมาผลิตไฟฟ้า ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษความเป็นไปได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และผลประโยชน์ด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาต้นแบบการผลิตร่วมพลังงานไฟฟ้าและปิโตรเลียมอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนทิ้งสำหรับความร้อนทิ้งกลับคืนของหลุมเจาะน้ำมันดิบ

2.2 เพื่อวิเคราะห์ผลด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งกลับคืนของหลุมเจาะน้ำมันดิบ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

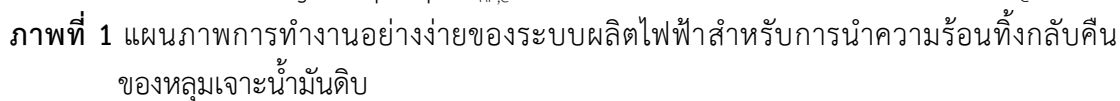
3.1 วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและกายภาพของของไหลร้อนจากหลุมเจาะน้ำมันดิบ

ดำเนินการสำรวจและรวบรวมข้อมูลของหลุมเจาะน้ำมันดิบในจังหวัดกำแพงเพชร เพื่อนำตัวอย่างของไหลร้อนจากหลุมเจาะน้ำมันดิบ มาทำการวิเคราะห์สมบัติด้านความร้อนและกายภาพอันประกอบไปด้วย ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity, C_p) ค่าความหนาแน่น (Density, ρ) อุณหภูมิ และอัตราการไหลเชิงปริมาตร ($\dot{V}$)

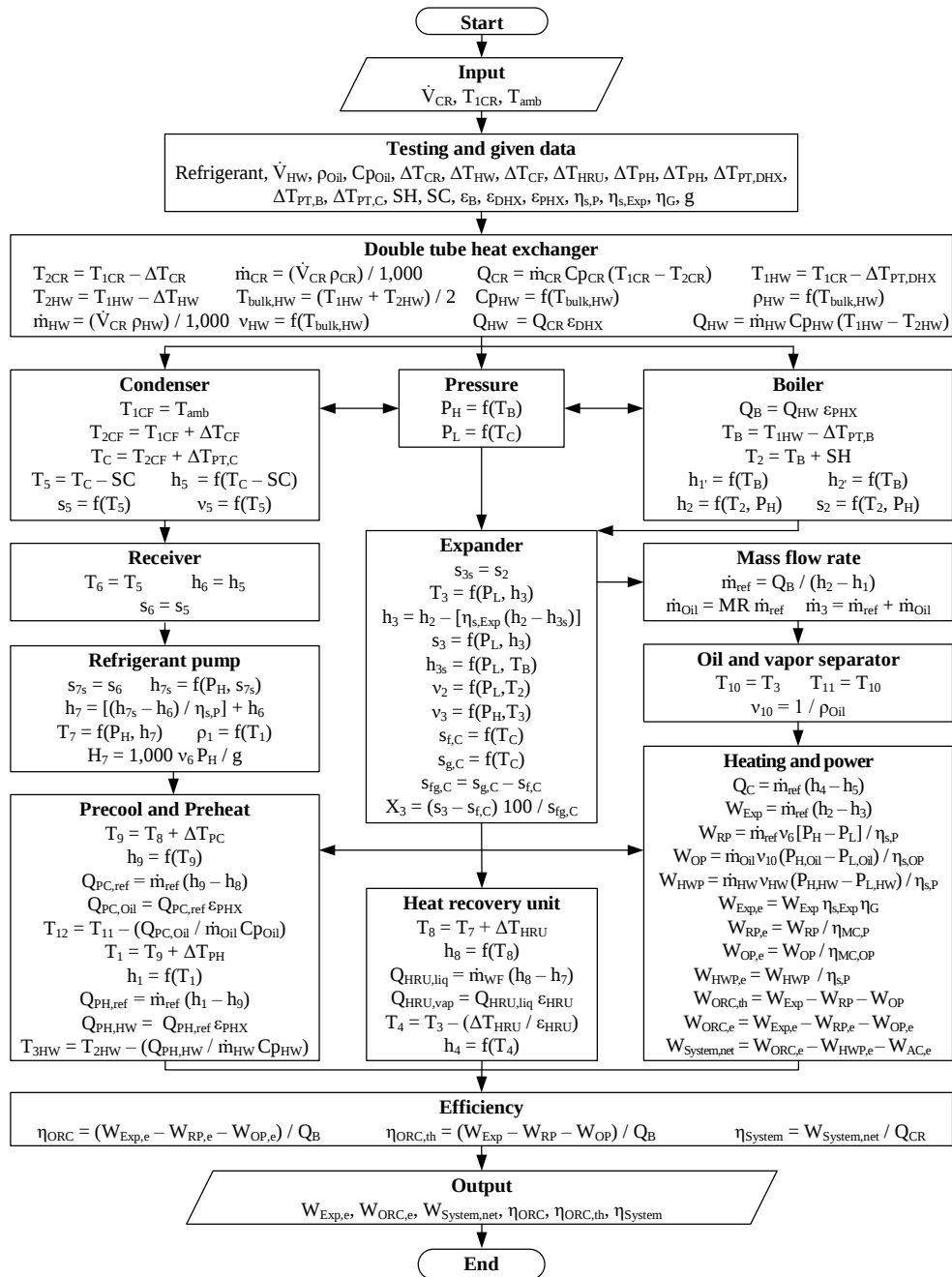
3.2 พัฒนาต้นแบบระบบผลิตไฟฟ้า สำหรับการนำความร้อนทิ้งกลับคืนของหลุมเจาะน้ำมันดิบ

พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ข้อมูลทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของของไหลร้อนได้พิภพ ร่วมกับเงื่อนไขเริ่มต้นการทำงาน (Initial conditions) จากงานวิจัยของ Chaiyat et al. (2020) เพื่อออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนทิ้งขนาด 10 kW_e สำหรับการนำความร้อนทิ้งกลับคืนของหลุมเจาะน้ำมันดิบ (Crude oil well, Q_{CR}) ดังแสดงกระบวนการทำงานในภาพที่ 1 เริ่มจากของไหลร้อนได้พิภพจากหลุมเจาะน้ำมันดิบจุดที่ 1CR-2CR ถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำสะอาดในจุดที่ 1HW-5HW ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนท่อ (Double tube heat exchanger) จากนั้นปั๊มน้ำร้อน (Hot water pump, Q_{HW}) จ่ายน้ำร้อนสะอาดจากถังเก็บน้ำร้อน (Hot water tank) ถ่ายเทความร้อนให้แก่สารทำงานในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนจุดที่ 1 - 9 ที่หม้อต้ม (Boiler, Q_B) ทำให้สารทำงานเปลี่ยนสถานะเป็นไอร้อนยวดยิ่ง และถูกผสมด้วยน้ำมันหล่อลื่นซึ่งไหลเวียนในระบบโดยปั๊มน้ำมันหล่อลื่น (Oil pump, $W_{OP,e}$) ในจุดที่ 10-12 ป้อนเข้าสู่เครื่องขยายตัว (Expander, W_{Exp}) ที่ต่อร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator, $W_{Exp,e}$) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าทำให้สารทำงานมีความดันและอุณหภูมิลดลง และไหลไปยังเครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-cooled condenser, Q_C) ซึ่งสาเหตุสำคัญที่เลือกใช้ระบบระบายความร้อนด้วยอากาศทดแทนระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ เพราะพื้นที่โดยรอบหลุมเจาะน้ำมันดิบ ไม่มีแหล่งน้ำสะอาด (น้ำบาดาลและระบบประปา) สำหรับใช้ในระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ จากนั้นสารทำงานจะควบแน่นเป็นของเหลวอิ่มตัวและถูกอัดตัวที่ปั๊มสารทำงาน (Refrigerant pump, $W_{RP,e}$) ผ่านตัวนำความร้อนกลับคืน (Heat recovery unit, Q_{HRU}) เครื่องระบายความร้อน (Precool, Q_{PC}) และเครื่องอุ่นความร้อน (Preheat, Q_{PH}) เพื่อนำความร้อน

สมการทางคณิตศาสตร์และความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 1



นำผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการและข้อมูลสมบัติทางความร้อนของน้ำมันดิบไปวิเคราะห์หาสมการสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบ โดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) เพื่อหาสมการสมรรถนะ รวมทั้งทำการเปรียบเทียบผลการออกแบบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลการทดสอบเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลอง สำหรับการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับการนำความร้อนทิ้งกลับคืนของหลุมเจาะน้ำมันดิบต่อไปในอนาคต

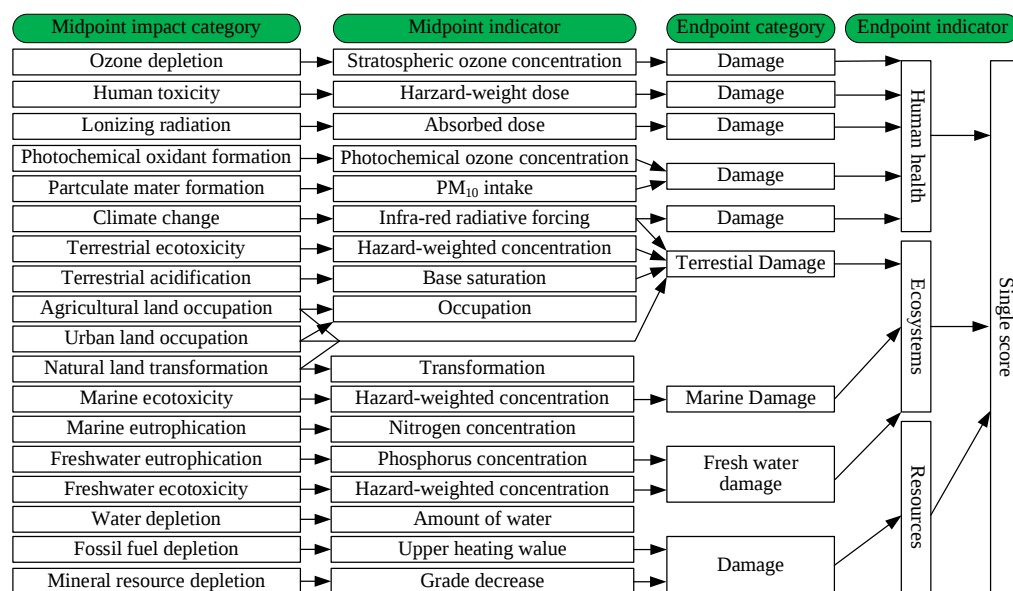


ภาพที่ 2 การประเมินด้านพลังงานของการนำความร้อนทิ้งกลับคืนของหลุมเจาะน้ำมันดิบ

3.4 วิเคราะห์ผลด้านสิ่งแวดล้อม

การประเมินวัฏจักรชีวิตมีกรอบการพิจารณาประกอบไปด้วย ระบบวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ ระบบน้ำร้อน ระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และระบบท่อ มีขอบเขตการศึกษาแบบแครดิล-ทู-เกรฟ (Cradle-to-Grave) พิจารณาสารขาเข้าและสารขาออกครอบคลุมทุกขั้นตอน ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การก่อสร้าง การดำเนินงาน การปล่อยมลพิษ และการรีไซเคิล (การรีไซเคิลและการฝังกลบ) หน่วยการทำงาน (Function unit, FU) ที่ใช้ในการประเมิน คือ 1 kWh ของพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้ มีอายุการทำงาน

(Life span) 20 ปี การวิเคราะห์ใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล SimaPro และใช้วิธีการ Recipe เพื่อประเมินผลกระทบชั้นกลาง 18 ผลกระทบ ชั้นปลาย 3 ผลกระทบ และผลกระทบเชิงเดี่ยว (Single score) ดังแสดงกรอบการประเมินในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การประเมินด้านสิ่งแวดล้อมของการนำความร้อนทิ้งกลับคืนของหลุมเจาะน้ำมันดิบ

3.5 วิเคราะห์ผลด้านเศรษฐศาสตร์

ต้นทุนพลังงานต่อหน่วย (Levelized cost of energy, LEC) คือ ดัชนีการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจของงานวิจัยนี้ ดังแสดงในสมการ 2 และ 3 พิจารณาต้นทุนไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดอายุโครงการจากปัจจัยได้แก่ มูลค่าเงินลงทุน (Investment cost, Inv) ต้นทุนพลังงานในการผลิตต่อปี (Production energy cost, PEC) พลังงานไฟฟ้าสุทธิต่อปี ($W_{ORC,net\ top}$) อายุการใช้งานของระบบ (N) อัตราส่วนลด (Discount rate, r) และปัจจัยการเสื่อมสภาพ (Deterioration factor, DF) ผลลัพธ์ของอัตราดอกเบี้ยจริงของธนาคาร (Real interest rate, i_{Real}) และอัตราเงินเฟ้อ (Inflation rate, $i_{inflation}$) ร่วมกับเงื่อนไขการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 1

$$LEC = \left(Inv + \sum_{t=1}^n \frac{PEC}{(1+r)^t} \right) / \left(\sum_{t=1}^n \frac{W_{net\ top}}{(1+DF)^{(t-1)}} \right) \quad (2)$$

$$R = [(1 + i_{Real}) / (1 + i_{inflation})] - 1 \quad (3)$$

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

รายละเอียด	ปริมาณ
อัตราดอกเบี้ยแท้จริง (i_{Real} , %) (The World Bank Group, 2024)	1.50
อัตราเงินเฟ้อ ($i_{inflation}$, %) (The World Bank Group, 2024)	1.00
ปัจจัยการเสื่อมสภาพ (DF, %) (Chaiyat et al., 2020)	2.00
อายุของโครงการ (n, y)	20
เวลาการทำงานต่อปี (t_{op} , h/y) ¹	8,400

4. ผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและกายภาพของของไหลร้อน

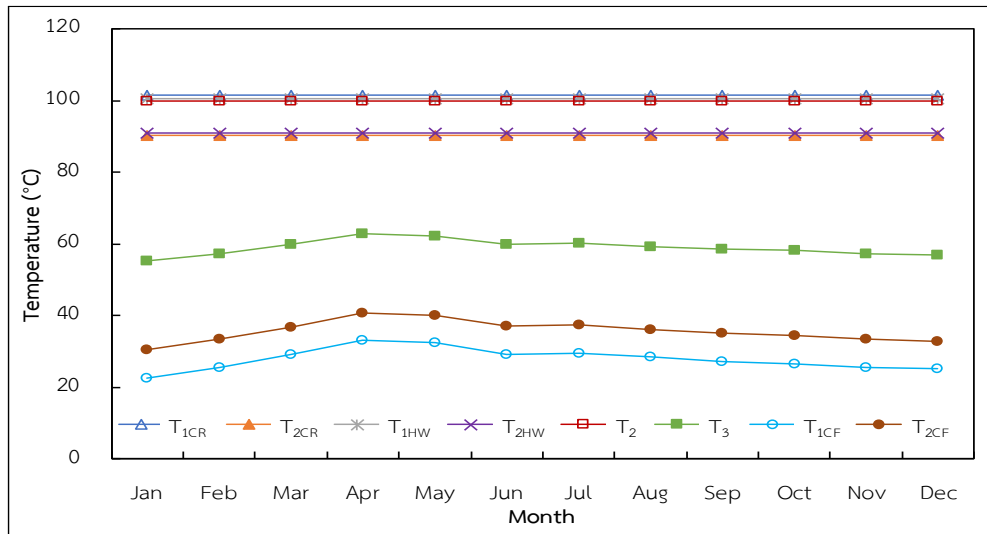
ของไหลที่ได้จากหลุมเจาะน้ำมันดิบในจังหวัดกำแพงเพชร มีลักษณะทางกายภาพดังแสดงในภาพที่ 4 คือ เป็นของผสมระหว่างน้ำมันดิบและน้ำใต้ดินในสัดส่วนประมาณ 70:30 ซึ่งแต่ละหลุมเจาะน้ำมันดิบจะมีสัดส่วนน้ำมันดิบและน้ำใต้ดินแตกต่างกันไป เมื่อนำของเหลวดังกล่าวไปทำการทดสอบหาสมบัติทางความร้อน พบว่า ความจุความร้อนจำเพาะ (C_p) มีค่าเท่ากับ $4.59 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ โดยใช้อุปกรณ์ DCS-Analyzer และความหนาแน่น (ρ) มีค่าเท่ากับ 987.30 kg/m^3 ด้วยมาตรฐาน ASTM D4052-18a (AmSpec (Thailand) Limited, 2022) ในขณะที่สมบัติด้านกายภาพ พบว่า ของไหลร้อนจากหลุมเจาะน้ำมันมีอุณหภูมิไม่แน่นอน แต่โดยรวมจะสูงกว่า 55°C รวมทั้งมีอัตราการไหลไม่แน่นอนแต่จะมากกว่า 1.5 L/s ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ปั๊มแรงเหวี่ยง (Crank balanced pumping unit) ในการสูบของไหลร้อนออกจากหลุมเจาะน้ำมันดิบ



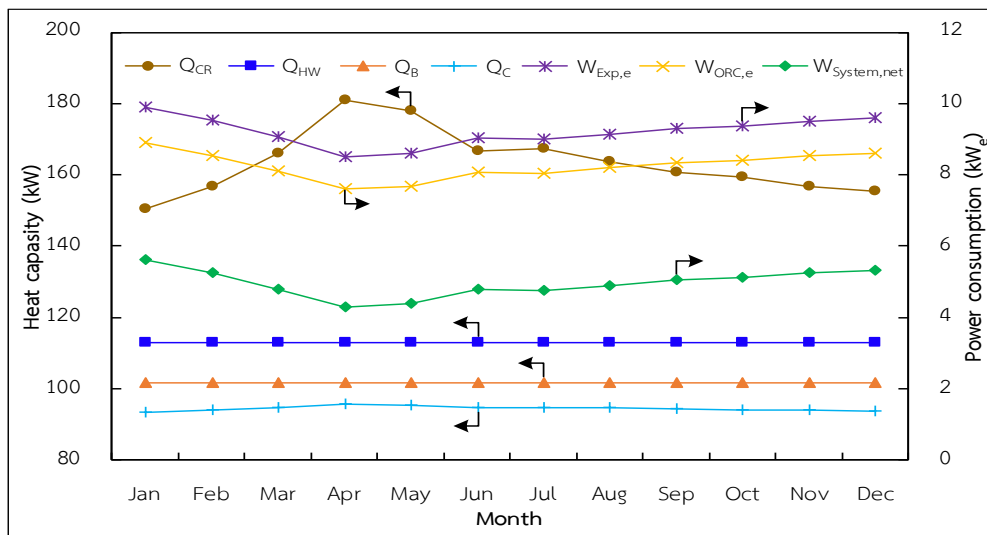
ภาพที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของหลุมเจาะน้ำมันดิบ

4.2 ผลการออกแบบด้านพลังงาน

ผลการออกแบบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ที่ได้รับความร้อนจากน้ำมันดิบขาเข้า (T_{1CR}) ที่อุณหภูมิ 101.50°C อัตราการไหลเชิงมวล ($\dot{m}_{CR}$) 2.91 kg/s ต้องการปริมาณความร้อนทั้งจากน้ำมันดิบ (Q_{CR}) 163.48 kW เพื่อใช้ในแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำสะอาด ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนท่อ โดยใช้ปั๊มน้ำร้อนที่มีกำลังไฟฟ้า 0.70 kW_e เพิ่มเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ น้ำสะอาด (T_{1HW}) 100.50°C และจะลดลงเมื่อป้อนให้แก่ระบบผลิตไฟฟ้า (T_{2HW}) 91.06°C โดยมีปริมาณความร้อนของน้ำสะอาด (Q_{HW}) 112.79 kW ป้อนเข้าสู่วัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ ความร้อนที่หม้อต้ม (Q_B) 101.51 kW ถ่ายเทให้แก่สารทำงาน R-245fa ที่อัตราการไหลเชิงมวล ($\dot{m}_{ref}$) 0.52 kg/s ในจุดที่ 1 (T_1) มีอุณหภูมิ 59.63°C สารทำงานจะแลกเปลี่ยนความร้อนที่หม้อต้มและกลายเป็นไอร้อนยวดยิ่งในจุดที่ 2 (T_2) มีอุณหภูมิ 99.80°C หลังจากนั้นสารทำงานจะขับเคลื่อนเครื่องขยายและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ($W_{Exp,e}$) เพื่อผลิตไฟฟ้า 9.21 kW_e ในกระบวนการระบายความร้อนด้วยเครื่องควบแน่น (Q_C) ปริมาณ 94.41 kW มีการใช้กำลังไฟฟ้าจากพัดลมระบายความร้อน ($W_{AC,e}$) 2.60 kW_e อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมเข้าและออกเฉลี่ยเท่ากับ 27.90°C และ 35.70°C ดังแสดงในภาพที่ 5 ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ ($\eta_{th,ORC}$) และประสิทธิภาพการผันความร้อนเป็นไฟฟ้าของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ (η_{ORC}) เท่ากับร้อยละ 11.56 และร้อยละ 8.13 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิ ($W_{System,net}$) ได้ 4.96 kW_e โดยมีประสิทธิภาพรวม (η_{System}) ที่ร้อยละ 3.05 ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 5 อุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ ภายในระบบผลิตไฟฟ้าจากโรงจักรแรงดันอินทรีย์



ภาพที่ 6 อัตราการถ่ายเทความร้อนและการใช้พลังงาน

4.3 ผลการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับการนำความร้อนทิ้งกลับคืนจากหลุมน้ำมัน

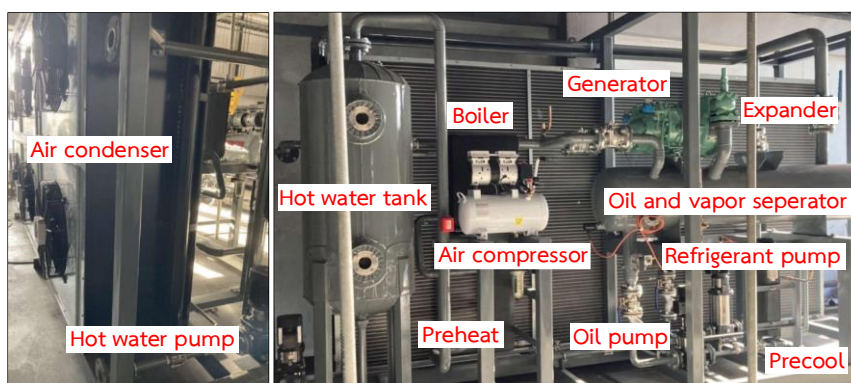
ต้นแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากโรงจักรแรงดันอินทรีย์ขนาด 10 kW_e ดังแสดงในภาพที่ 7 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนท่อขนาด 240 kW (ความดันและอุณหภูมิสูงสุด 16 bar gauges และ 160 °C) ถูกใช้ในการนำความร้อนทิ้งกลับคืนจากหลุมเจาะน้ำมันดิบ เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำสะอาด และจ่ายให้แก่ระบบผลิตไฟฟ้าจากโรงจักรแรงดันอินทรีย์ที่หม้อต้ม (อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น 150 kW ผลิตจากสแตนเลส SUS-304) มีการออกแบบการนำความร้อนทิ้งกลับคืนจากสารทำงานภายในระบบผลิตไฟฟ้า R-245fa โดยใช้เครื่องระบายความร้อนและเครื่องอุ่นความร้อนขนาดตัวละ 15 kW เพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิตไฟฟ้าให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction generator) ขนาด 11 kW_e แบบ 3 phase ต่อกับเครื่องขยายตัวที่พัฒนามาจากเครื่องอัดไอแบบสกรู (Screw compressor) ขนาด 15 kW ที่มีความเร็วรอบ 1,450 – 4,500 rpm และปริมาตรการกระจัด (Displacement volume) 250–302 m³/h ติดตั้ง

ระบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 130 kW และใช้พัดลม 6 ตัว แบบ 3 phase ที่มีปริมาตร การไหลของอากาศ 8,830 m³/h ความเร็วรอบ 1,320 rpm ขนาดกำลังไฟฟ้าตัวละ 0.55 kW_e สำหรับการขับเคลื่อนอากาศถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำงาน R-245fa โดยสารทำงาน เมื่อควบแน่นจะถูกกักเก็บไว้ในตัวแยกสารทำงานและน้ำมันแบบแนวนอน (Horizontal type) ขนาด 60 L ซึ่งถูกออกแบบ พิเศษให้มีการติดตั้งตัวนำความร้อนทั้งกลับคืน (Inner heat recovery unit) ขนาด 10 kW ภายในตัวแยกสารทำงานและน้ำมัน ป้อนแบบหลายใบพัดแนวตั้ง (Vertical multistage pump) ขนาดกำลังไฟฟ้า 0.37 kW_e และ 0.75 kW_e ถูกใช้สำหรับขับเคลื่อนสารทำงานและน้ำมันตามลำดับ

4.4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านพลังงาน

จากข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่า อุณหภูมิของไหลขาเข้า (T_{1CR}) ในช่วง อุณหภูมิ 84.00 - 101.50 °C ถูกป้อนเข้าไปในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนท่อ ด้วยความร้อนปริมาณ (Q_{CR}) 154.84 kW ที่อัตราการไหลเชิงมวล ($\dot{m}_{CR}$) 2.91 kg/s ของไหลร้อน อุณหภูมิ (T_{1HW}) 100.50 °C จะถ่ายเทความร้อนไปยังน้ำร้อนและลดอุณหภูมิ (T_{2HW}) เหลือประมาณ 91.10 °C น้ำร้อนถูกป้อนเข้าที่หม้อต้มของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (Q_{HW}) 112.26 kW แลกเปลี่ยน ความร้อนกับสารทำงานที่หม้อต้ม (Q_B) 101.03 kW สารทำงานถูกต้มให้เดือดที่อุณหภูมิ (T_2) 87.70 และมีความดันด้านสูง (P_H) 908.89 kPa gauge จนกลายเป็นไอร้อนยวดยิ่งเข้าสู่เครื่องขยายตัว เพื่อผลิตงาน มีการเชื่อมต่อเครื่องขยายตัวและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยตรงเพื่อผลิตไฟฟ้า ($W_{Exp,e}$) 9.21 kW_e การใช้พลังงานจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบ ประกอบไปด้วย ปั๊มสารทำงาน ($W_{RP,e}$) 0.67 kW_e ปั๊มน้ำมัน ($W_{OP,e}$) 0.29 kW_e ปั๊มน้ำร้อน ($W_{HWP,e}$) 0.70 kW_e และพัดลมระบายความร้อน ($W_{AC,e}$) 2.60 kW_e ส่งผลให้มีการผลิตไฟฟ้าสุทธิได้ ($W_{System,net}$) เท่ากับ 4.95 kW_e ที่ประสิทธิภาพ ด้านพลังงานของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (η_{ORC}) เท่ากับร้อยละ 8.17 และมีประสิทธิภาพ ของระบบ (η_{System}) เท่ากับร้อยละ 3.20

โดยประสิทธิภาพด้านพลังงานของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ของงานวิจัยนี้ มีค่าใกล้เคียงกับงานของ Chaayat et al. (2020) ที่ทำการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดัน อินทรีย์ขนาด 10 kW_e พบว่า ประสิทธิภาพด้านพลังงานมีค่าร้อยละ 8.42 แต่ในงานวิจัยดังกล่าว มีการใช้แหล่งความร้อนที่อุณหภูมิ 113 °C จึงทำให้ประสิทธิภาพด้านพลังงานมีค่ามากกว่า

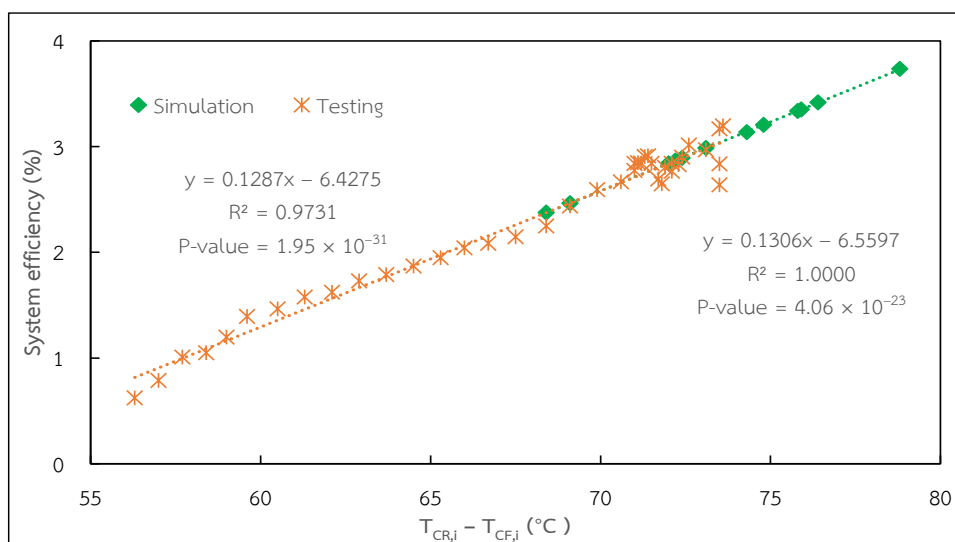


ภาพที่ 7 ต้นแบบระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์สำหรับการนำความร้อนทิ้งกลับคืน

การประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับการนำความร้อนทิ้งกลับคืนจากหลุมเจาะน้ำมันดิบ โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเพื่ออธิบายพฤติกรรมการทำงาน โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิของไหลร้อนขาเข้าและอุณหภูมิอากาศขาเข้า ($T_{CR,i} - T_{CF,i}$) เป็นตัวแปรต้นบนแกน X ในอุณหภูมิช่วง 55.00-80.00 °C และกำหนดประสิทธิภาพการทำงานของระบบ (η_{System}) เป็นตัวแปรตามบนแกน Y รวมทั้งทำการเปรียบเทียบผลการจำลอง (Simulation) และการทดสอบ (Testing) ดังแสดงในภาพที่ 8 พบว่า สมการสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลอง ดังแสดงในสมการที่ 4 มีค่า R^2 เท่ากับ 1.00 และค่า P-value เท่ากับ 4.83×10^{-23} ในขณะที่สมการสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากผลการทดสอบ ดังแสดงในสมการที่ 5 พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.9665 และค่า P-value เท่ากับ 1.21×10^{-29} จากการเปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบ พบว่า แนวโน้มของข้อมูลใกล้เคียงกันค่อนข้างมาก แสดงถึงความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของงานวิจัยที่ได้พัฒนาขึ้น มีประสิทธิผลสำหรับใช้ในการประเมินศักยภาพการนำความร้อนทิ้งกลับคืนมาผลิตไฟฟ้า สำหรับการออกแบบที่มีเงื่อนไขเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงไปในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

$$\eta_{System,Simulation} = 0.1306(T_{CR,i} - T_{CF,i}) - 6.5597 \quad (4)$$

$$\eta_{System,Testing} = 0.1287(T_{CR,i} - T_{CF,i}) - 6.4275 \quad (5)$$



ภาพที่ 8 สมการสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากแบบจำลองและการทดสอบ

4.5 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

การประเมินวัฏจักรชีวิตจะทำการประเมินบัญชีรายการอันประกอบไปด้วย วัตถุดิบและการใช้พลังงานตลอดอายุการใช้งาน เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้น พบว่ามีการใช้เหล็ก 2,276 kg ทองแดง 575.30 kg และพลาสติก 246.50 kg ในช่วงการก่อสร้าง น้ำมันดิบปริมาณ 1,784,160 m³ ถ่ายเทความร้อนไปยังน้ำสะอาดในช่วงดำเนินงาน มีการรั่วไหลของสารทำงานและน้ำมันหล่อลื่นประมาณ 1 kg/y และผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 831,600 kWh สำหรับขั้นตอน

การรื้อถอนสามารถนำเหล็ก 2,276 kg และทองแดง 575.30 kg กลับมาใช้ใหม่ ในขณะที่พลาสติก 246.50 kg ถูกการกำจัดโดยการฝังกลบ

ตารางที่ 2 แสดงการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมชั้นกลาง 18 ผลกระทบ พบว่า ขั้นตอนการก่อสร้างมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดคิดเป็น $2.47\text{E}+05$ kg eq คิดเป็นร้อยละ 69.17 ขั้นตอนการดำเนินการส่งผลกระทบ $2.07\text{E}+05$ kg eq คิดเป็นร้อยละ 5.80 และการฝังกลบส่งผลกระทบ $1.35\text{E}+02$ kg eq คิดเป็นร้อยละ 0.04 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมชั้นกลางที่มากที่สุด คือ การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ $9.06\text{E}+04$ kg 1,4-DB eq และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ $2.49\text{E}+04$ kg CO₂ eq ตามลำดับ

การสูญเสียทรัพยากรสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญเกิดจาก การเลือกใช้วัสดุ การขนส่ง ระยะไกล และการใช้พลังงาน ซึ่งล้วนส่งผลกระทบอย่างมากต่อวงจรชีวิตของมนุษย์และความยั่งยืนของระบบนิเวศ เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานของระบบวัสดุต่าง ๆ เช่น เหล็ก ทองแดง และทองเหลือง ที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างจะถูกปรับรีไซเคิล สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ $8.93\text{E}+04$ kg eq คิดเป็นร้อยละ 24.99

การวิเคราะห์ผลกระทบชั้นปลาย พบว่า การปล่อยมลพิษตลอดอายุการใช้งานส่งผลกระทบต่อด้านสุขภาพของมนุษย์เท่ากับ $8.35\text{E}-02$ DALY หรือ $1.00\text{E}-07$ DALY/kWh ด้านสิ่งแวดล้อมเท่ากับ $2.27\text{E}-02$ Species-y หรือ $2.73\text{E}-08$ (Species-y)/kWh และด้านทรัพยากรเท่ากับ $1.71\text{E}+03$ USD หรือ $2.06\text{E}-03$ USD/kWh

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยจักรแรงดันอินทรีย์สำหรับการนำความร้อนทิ้งกลับคืน มีการปล่อยมลพิษตลอดอายุการใช้งานรวมเท่ากับ $1.79\text{E}+05$ kg eq และมีผลกระทบต่อหน่วยการทำงานเท่ากับ $2.15\text{E}-01$ kg eq/kWh รวมทั้งมีคะแนนเชิงเดี่ยวด้านสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.00047 Pt ซึ่งมีความน้อยกว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยจักรแรงดันอินทรีย์จากน้ำพุร้อนของ Chaiyat et al. (2020) ที่มีคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 0.026 Pt โดยงานวิจัยนี้มีการประเมินวัสดุจากการก่อสร้างโรงเรือนร่วมด้วย จึงทำให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงมากกว่า

ตารางที่ 2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมชั้นกลาง

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	มลพิษทั้งหมด		
	ตลอดอายุ	1 kWh	Pt
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (kg CO ₂ eq)	2.49E+04	3.00E-02	4.60E-07
การลดลงของชั้นโอโซน (kg CFC-11 eq)	8.92E-04	1.07E-09	2.54E-08
การเกิดภาวะหมอกควัน (kg PM ₁₀ eq)	8.64E+01	1.04E-04	7.65E-06
การเกิดภาวะฝนกรด (kg SO ₂ eq)	2.62E+02	3.15E-04	2.68E-04
การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด (kg P eq)	3.81E+01	4.58E-05	5.92E-07
การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำทะเล (kg N eq)	8.62E+00	1.04E-05	1.14E-04
การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ (kg 1,4-DB eq)	9.06E+04	1.09E-01	3.71E-07
การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อที่ดิน (kg 1,4-DB eq)	1.20E+01	1.44E-05	2.29E-07
การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืด (kg 1,4-DB eq)	1.94E+04	2.34E-02	7.90E-08
การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำทะเล (kg 1,4-DB eq)	1.72E+04	2.07E-02	2.63E-05
การลดลงของแร่ธาตุ (kg Fe eq)	1.94E+04	2.34E-02	5.23E-09
การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (kg oil eq)	1.86E+03	2.24E-03	1.04E-06
การเกิดปฏิกิริยาเคมีแสงในชั้นโอโซน (kg NMVOC)	6.87E+01	8.27E-05	2.27E-08

ตารางที่ 2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมชั้นกลาง (ต่อ)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	มลพิษทั้งหมด		
	ตลอดอายุ	1 kWh	Pt
การเกิดรังสีชนิดก่อกัมมันตรังสี (kBq U ₂₃₅ eq)	1.16E+03	1.39E-03	5.14E-08
การลดลงของที่ดินทางการเกษตร (m ² a)	1.12E+03	1.35E-03	6.48E-11
การลดลงของที่ดินเพื่ออยู่อาศัย (m ² a)	4.49E+02	5.40E-04	7.61E-07
การลดลงของที่ดินธรรมชาติ (m ²)	2.60E+00	3.13E-06	4.85E-05
การลดลงของทรัพยากรทางน้ำ (m ³)	2.00E+03	2.40E-03	1.50E-07
ทั้งหมด	1.79E+05	2.15E-01	0.00047

4.6 ผลด้านเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3 พบว่า ต้นทุนเกิดจากระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ 1,000,000 Baht อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนท่อ 50,000 Baht และระบบท่อน้ำร้อน 50,000 Baht ส่งผลให้มีมูลค่าการลงทุนทั้งหมด 1,100,000 บาท มีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าต่อปี 30,000 Baht/y โดยระบบผลิตไฟฟ้าทำงาน 24 h/d และ 350 d/y สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิต่อปี 41,580 kWh/y ทำให้มีต้นทุนในการผลิตพลังงาน (ไฟฟ้า) ต่อหน่วย 2.26 Baht/kWh ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับระบบผลิตพลังงานร่วม Chaayat et al. (2020) ที่มีต้นทุนในการผลิตพลังงานต่อหน่วย 2.18 Baht/kWh

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งของหลุมเจาะน้ำมัน

รายละเอียด	ปริมาณ
1. พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สุทธิ ($W_{System,net}$, kWh)	4.95
2. พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สุทธิต่อปี ($W_{System,net\ TOP}$, kWh/y)	41,580
3. มูลค่าเงินลงทุนระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (Inv_{ORC} , Baht/y)	1,000,000
4. มูลค่าเงินลงทุนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนท่อ (Inv_{DHX} , Baht/y)	50,000
5. มูลค่าเงินลงทุนระบบท่อน้ำร้อน คิดที่ 5% ของราคาวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (Inv_{Piping} , Baht/y)	50,000
6. มูลค่าเงินลงทุนทั้งหมด (Inv , Baht)	1,100,000
7. ค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานต่อปี คิดที่ 3% ของราคาวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (PEC , Baht/y)	30,000
8. ต้นทุนพลังงานต่อหน่วย (LEC , Baht/kWh)	2.26

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) พบว่า ราคาของต้นทุนเกิดจากระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (ORC) และค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานต่อปี (PEC) มีผลต่อค่าต้นทุนพลังงานต่อหน่วยค่อนข้างสูง ในขณะที่มูลค่าเงินลงทุนระบบท่อน้ำร้อน (Piping) และมูลค่าเงินลงทุนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนท่อ (DHX) มีผลต่อค่าต้นทุนพลังงานต่อหน่วยค่อนข้างน้อย ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งของหลุมเจ้าน้ำมัน

ORC	1,000,000	1,100,000	1,200,000	1,300,000	1,400,000	1,500,000
LEC	2.260	2.478	2.697	2.916	3.135	3.353
Piping	3%	4%	5%	6%	7%	8%
LEC	2.231	2.245	2.260	2.274	2.288	2.303
DHX	15,000	30,000	50,000	70,000	85,000	100,000
LEC	2.209	2.231	2.260	2.288	2.310	2.332
PEC	3%	4%	5%	6%	7%	8%
LEC	2.260	2.484	2.709	2.933	3.158	3.382

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

ต้นแบบระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาด 10 kW_e สำหรับการนำความร้อนทิ้งกลับคืนของหลุมเจ้าน้ำมันดิบ มีผลการทดสอบด้านพลังงาน พบว่า ความร้อนทิ้งจากของไหลร้อนจากหลุมเจ้าน้ำมันดิบ 154.84 kW ที่อุณหภูมิ 84.00 - 101.50 °C สามารถผลิตไฟฟ้าสุทธิ 4.95 kW_e ที่ประสิทธิภาพของระบบร้อยละ 3.20 ผลด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตชั้นกลางที่มากที่สุด คือ การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ 9.06E+04 kg 1,4-DB eq และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 2.49E+04 kg CO₂ eq ค่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมชั้นปลายมีผลกระทบด้านสุขภาพของมนุษย์เท่ากับ 8.35E-02 DALY ด้านสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 2.27E-02 Species-y และด้านทรัพยากรเท่ากับ 1.71E+03 USD ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเกิดจากการใช้ทองแดงและเหล็กในขั้นตอนการก่อสร้างเป็นหลัก สำหรับผลคะแนนเชิงเดียวของการประเมินวัฏจักรชีวิตเท่ากับ 0.00047 Pt ผลด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยอยู่ที่ 2.26 Baht/kWh โดยมีมูลค่าเงินลงทุนทั้งหมด 1,100,000 Baht และต้นทุนการผลิตพลังงานต่อปี 30,000 Baht/y

สำหรับแนวทางการวิจัยในอนาคต ควรทำการเลือกแหล่งความร้อนจากหลุมเจ้าน้ำมันดิบที่มีอุณหภูมิมากกว่า 100 °C ในการติดตั้งต้นแบบระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์สำหรับความร้อนทิ้งกลับคืนของหลุมเจ้าน้ำมันดิบ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ทุนโครงการผลิตและพัฒนาบัณฑิตพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับบัณฑิตศึกษา ประจำปีการศึกษา 2566

7. เอกสารอ้างอิง

- AmSpec (Thailand) Limited. (2022). *Test Report Number AmSL-505-22-3389*.
- Chaiyat, N., Chaongew, S., Ondokmai, P., & Makarkard, P. (2020). Levelized energy and exergy costings per life cycle assessment of a combined cooling, heating, power and tourism system of the San Kamphaeng hot spring, Thailand. *Renewable Energy*, 146, 828-842. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.028>.

- Díaz-Secades, L. A., González, R., Rivera, N., Quevedo, J. R., & Montañés, E. (2024). Parametric study of organic Rankine working fluids via Bayesian optimization of a preference learning ranking for a waste heat recovery system applied to a case study marine engine. *Ocean Engineering*, 306, 118124. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118124>.
- Djemaa, A., Merabet, A., Rebhi, R., Lorenzini, G., Bessaih, R., & Menni, Y. (2022). Simulations and optimizations for a low-temperature hybrid geothermal-solar power plant. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 90(2), 109-123. <https://doi.org/10.37934/arfmts.90.2.109123>.
- McKinsey's sustainability practice. (2023, n.d.). *Waste not: Unlocking the potential of waste heat recovery*. www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/waste-not-unlocking-the-potential-of-waste-heat-recovery.
- Meteorological department. (2023, n.d.). *The air temperature of Kampaeng Phet province*. www.aws-observation.tmd.go.th.
- Ministry of Energy. (2025, n.d.). *Government energy policy*. www.energy.go.th/th/government-energy-policy/30252.
- Ravindran, R. V., Cotter, D., Wilson, C., Huang, M. J., & Hewitt, N. J. (2024). Experimental investigation of a small-scale reversible high-temperature heat pump – organic Rankine cycle system for industrial waste heat recovery. *Applied Thermal Engineering*, 257, 124237-124237. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.124237>.
- Rijpkema, J., Erlandsson, O., Andersson, S. B., & Munch, K. (2022). Exhaust waste heat recovery from a heavy-duty truck engine: Experiments and simulations. *Energy*, 238, 121698. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121698>.
- The World Bank Group. (2024, August 30). *Real interest rate and Inflation rate*. <https://data.worldbank.org/indicator/FR.INR.RINR?locations=TH>.
- Zhar, R., Allouhi, A., Jamil, A., & Lahrech, K. (2021). A comparative study and sensitivity analysis of different ORC configurations for waste heat recovery. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 101608. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101608>.
- Zheng, Z., Cao, J., Wu, W., & Leung, M. K. H. (2022). Parallel and in-series arrangements of zeotropic dual-pressure Organic Rankine Cycle (ORC) for low-grade waste heat recovery. *Energy Reports*, 8, 2630-2645. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.057>.

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการเบิก – จ่ายสินค้าแผนกค้าปลีก
โดยการใช้โปรแกรม SAP : กรณีศึกษาบริษัทค้าปลีกและค้าส่ง
อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี

Improving Efficiency of the Picking and Disbursement Process
in the Retail Department using the SAP Program:
Case Study of Retail and Wholesale Companies
Bang Yai District, Nonthaburi

วรเทพ ตริวิจิตร^{1*}, สมจินต์ อักษรธรรม², เถลิง พลเจริญ³ และพรเทพ แก้วเชื้อ⁴

Worathep Treewichit^{1*}, Somjin Aksorntham², Thaloeng Poljaroen³ and Pornthep Kaewchur⁴

^{1*,2,3}คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

248 เพชรเกษม 110 เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160 โทร 0 2809 0823 โทรสาร 0 2809 0823

⁴คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

60 หมู่ 3 อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา 13000 โทร 0 3570 9103 โทรสาร 0 3570 9083

E-mail: worathep_rru@hotmail.com

^{1*,2,3} Faculty of Engineering, Thonburi University

248 Petkasem 110, NongKhaem District, Bangkok, 10160 Tel. +66 2809 0823 Fax. +66 2809 0823

⁴Faculty of Business administration and Information Technology, Rajamangala University of Technology

Suvarnabhumi Phra Nakhon Sri Ayutthaya

60 Moo 3, Phranakhon Si Ayutthaya 13000 Tel. +66 3570 9103 Fax. +66 3570 9083

E-mail: worathep_rru@hotmail.com

วันที่รับบทความ 1 พฤศจิกายน 2567

Received: Nov. 1, 2024

วันที่รับแก้ไขบทความ 24 มีนาคม 2568

Revised: Mar. 24, 2025

วันที่ตอบรับบทความ 6 มิถุนายน 2568

Accepted: Jun. 6, 2025

บทคัดย่อ

วิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อลดขั้นตอนและลดเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าในแผนกค้าปลีก จากการศึกษาข้อมูล พบว่า การเบิกจ่ายสินค้าใช้วิธีการบันทึกเอกสารด้วยมือ การทำงานหลายขั้นตอน และใช้ระยะเวลานาน จึงส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนผังกระบวนการไหล ซึ่งการนำโปรแกรม SAP มาใช้ในการเบิกจ่ายสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเป็นผลการวิเคราะห์จากการใช้หลักการทำไม – ทำไม โดยผลการวิจัย ก่อนการปรับปรุงมี 27 ขั้นตอน หลังการปรับปรุง โดยการใช้โปรแกรม SAP มี 17 ขั้นตอน ซึ่งสามารถลดลง 10 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 37.03 และก่อนปรับปรุงเวลาการเบิกจ่ายสินค้า 2,635 วินาที หลังการปรับปรุง เวลาการเบิกจ่ายสินค้าเหลือเพียง 1,725 วินาที ซึ่งสามารถลดเวลาการเบิกจ่ายได้ 910 วินาที คิดเป็นร้อยละ 34.53

คำสำคัญ: การทำด้วยมือ, การเพิ่มประสิทธิภาพ, แผนผังกระบวนการไหล, โปรแกรม SAP

Abstract

The objective of this research was to reduce the steps and time required for product disbursement in the retail department. Based on the data collected, it was found that the disbursement process involved manual document recording, multiple steps, and a lengthy processing time, resulting in work delays. The researcher analyzed the root causes of the problem using a process flow chart and proposed using the SAP program to enhance the efficiency of product disbursement. This approach was based on the "Why-Why Analysis" method. The research results showed that before the improvement, there were 27 steps involved in the disbursement process. After implementing the SAP program, the steps were reduced to 17, a decrease of 10 steps or 37.03%. Additionally, the time required for product disbursement decreased from 2,635 seconds to 1,725 seconds, reducing the time by 910 seconds or 34.53%.

Keywords: Manual Processing, Efficiency, Flow Process Chart, SAP Program

1. บทนำ

ปัจจุบันสภาพแวดล้อมทางการแข่งขันธุรกิจการค้าปลีกค้าส่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศมีความสำคัญต่อการรับรู้ข้อมูลและการติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยงานภายในและภายนอกองค์กร (Vaka, 2024) ซึ่งองค์การธุรกิจจึงให้ความสนใจในการนำระบบซอฟต์แวร์สำเร็จรูปเข้ามาสนับสนุนการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางการแข่งขัน และซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่ได้นำมาใช้มากที่สุด คือ ระบบ (Enterprise Resource Planning : ERP) เป็นการวางแผนทรัพยากรที่เชื่อมโยงกันทั้งองค์การ เพื่อการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด (Bochek & Olson, 2020) ระบบสารสนเทศจะทำหน้าที่เชื่อมโยงข้อมูลของส่วนงานต่าง ๆ ไว้ด้วยกัน ได้แก่ ฝ่ายการเงิน ฝ่ายการผลิต ฝ่ายการขายและการตลาด ฝ่ายคลังสินค้า เป็นต้น (Rege, 2023) ซึ่งโปรแกรม SAP เป็นส่วนหนึ่งของซอฟต์แวร์สำเร็จรูป (Enterprise Resource Planning : ERP) ที่ได้รับการพัฒนารูปแบบชุดโมดูลาร์สามารถใช้กับการบริหารทรัพยากรขององค์การ และการจัดเก็บข้อมูลเป็นระเบียบมีความปลอดภัยสูง (Kirana et al., 2021)

บริษัทตัวอย่างเป็นหนึ่งในผู้นำทางด้านธุรกิจค้าปลีกและค้าส่ง ซึ่งสินค้ามีหลากหลายประเภท ได้แก่ สินค้าอุปโภคบริโภค วัสดุก่อสร้าง อุปกรณ์ตกแต่งบ้านแบบครบวงจร และการจำหน่ายสินค้าที่หลากหลายในแต่ละวันมีลูกค้ามาใช้บริการไม่น้อยกว่า 500 คน จะประกอบด้วยลูกค้ารายย่อย และลูกค้ารายใหญ่ ซึ่งมีรายได้ประมาณ 1,500,000 – 2,000,000 บาท/วัน จากการดำเนินงานของบริษัทในกระบวนการเบิกจ่ายสินค้าของพนักงานล่าช้า เมื่อมีการเปรียบเทียบกับคู่แข่ง ได้แก่ การหยิบใบเบิก เขียนใบเบิก ผู้จัดการแผนกเซ็นเอกสาร ผู้จัดการโซนเซ็นเอกสาร และมีขั้นตอนการเคลื่อนย้าย ได้แก่ พนักงานเดินไปที่ศูนย์บริการค้าปลีก พนักงานขอลายเซ็นผู้จัดการแผนก และพนักงานขอลายเซ็นผู้จัดการโซน ซึ่งขั้นตอนมีความซับซ้อนส่งผลต่อการทำงานทำให้เกิดความล่าช้า ทางบริษัทได้มีโปรแกรม SAP แต่พนักงานขาดความเข้าใจในระบบจึงไม่ได้นำมาใช้งาน

ให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงาน ดังนั้นผู้วิจัย ผู้ดูแลระบบ หัวหน้างาน และพนักงาน มีความเห็นสอดคล้องกัน และได้นำหลักการทำไม – ทำไมมาวิเคราะห์ปัญหาการทำงาน เพื่อลดขั้นตอนและเวลาในกระบวนการเบิกจ่ายสินค้า โดยการใช้โปรแกรม SAP Module (Materials Management : MM) เกี่ยวกับการบริหาร Inventory เพื่อให้การทำงานกระบวนการเบิกจ่ายสินค้ามีประสิทธิภาพมากขึ้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการเบิกจ่ายสินค้า แผนกค้ำปลีก ซึ่งธุรกิจค้ำปลีกและค้าส่งของสินค้าอุปโภคบริโภค วัสดุก่อสร้าง อุปกรณ์ตกแต่งบ้าน แบบครบวงจรมีการแข่งขันกันสูงมากและการตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1. เพื่อลดขั้นตอนการเบิก - จ่ายสินค้าแผนกค้ำปลีก โดยการใช้โปรแกรม SAP
- 2.2 เพื่อลดเวลาการเบิก - จ่ายสินค้าแผนกค้ำปลีก

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาบริษัทตัวอย่างจำหน่ายสินค้า ได้แก่ สินค้าอุปโภคบริโภค วัสดุก่อสร้าง อุปกรณ์ตกแต่งบ้านแบบครบวงจร อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี
- 2) ศึกษาขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าในแผนกค้ำปลีก มีพนักงาน จำนวน 28 คน ซึ่งการศึกษาและเก็บข้อมูลใช้ระยะเวลา 2 เดือน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้เลือกเครื่องมือการวิจัย ได้แก่ แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) และ Why-Why Analysis ซึ่งใช้เป็นกรณีศึกษาการให้ความรู้ความเข้าใจการใช้เครื่องมือให้กับหัวหน้างาน และพนักงาน เพื่อการวิเคราะห์ปัญหาการทำงานได้อย่างถูกต้อง

- 1) แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) โดยใช้สัญลักษณ์มาตรฐาน 5 สัญลักษณ์ ได้แก่ การปฏิบัติการ การขนส่ง การตรวจสอบ การล่าช้า และการเก็บ เป็นต้น (Wongwian, Chatmuangpak, & Kangsantia, 2024) ผู้วิจัยได้นำมาศึกษาขั้นตอนการเบิก/โอนสินค้าระหว่างคลังสินค้าก่อนและหลังปรับปรุง

- 2) Why-Why Analysis เป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของปัญหา โดยสามารถค้นพบสาเหตุรากเหง้าและกำจัดปัญหาเดิมจะไม่เกิดซ้ำอีกต่อไป (Thatphet & Ruangchoengchum, 2022) ผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์หาสาเหตุการเบิกจ่ายสินค้าล่าช้า

- 3) โปรแกรม SAP ย่อมาจาก Systems Applications and Products: SAP สำหรับการบริหารจัดการการดำเนินธุรกิจ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ ปีเตอร์ รักธรรม (2563) (Raktham, 2020) ผู้วิจัยได้นำมาประยุกต์ใช้ในการเบิก/โอนสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.3 ศึกษาขั้นตอนการเบิก/โอนสินค้านระหว่างคลังสินค้า (ก่อนปรับปรุง)

ผู้วิจัย หัวหน้างาน พนักงานร่วมกันจับเวลาการทำงานและนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยเดือนมกราคม 2567 จำนวน 30 ครั้ง ซึ่งได้ดำเนินการเก็บข้อมูลเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนพนักงานเดินไปที่ศูนย์บริการค้ำปลีกถึงเจ้าหน้าที่ศูนย์ค้ำปลีกทำการเก็บเอกสาร รวมทั้งสิ้น 27 ขั้นตอน ดังนี้

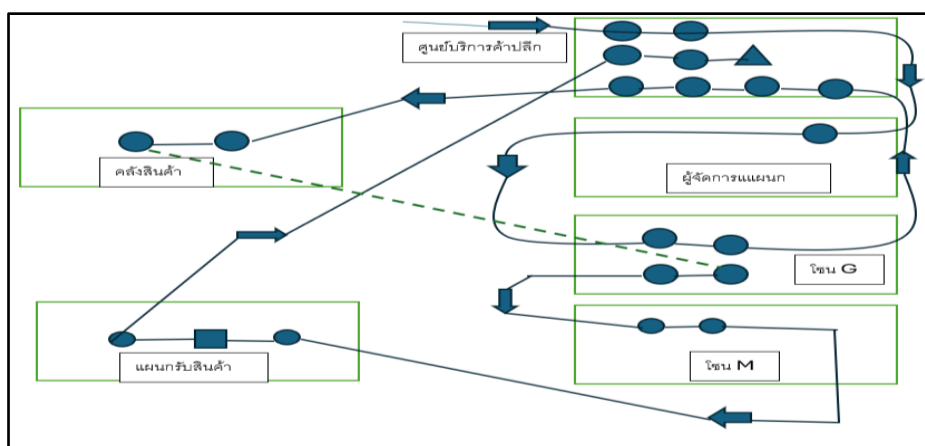
ตารางที่ 1 ขั้นตอนการเบิก/โอนสินค้าระหว่างคลังสินค้า (ก่อนการปรับปรุง)

FLOW PROCESS CHART										
ชื่อกระบวนการ (Subject Charted) : ลดเวลาและขั้นตอนในการทำงาน		ผลสรุป								
Process: กระบวนการลดเวลาและขั้นตอนการเบิก-จ่ายสินค้า		สัญลักษณ์		ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ลดลง		
Check By: พนักงานค้าปลีก			การปฏิบัติการ		16		-		-	
คำอธิบาย			การเคลื่อนย้าย		8		-		-	
			การรอคอย		1		-		-	
			การตรวจสอบ		1		-		-	
			การจัดเก็บ		1		-		-	
			รวม		27		-		-	
สถานะ (Method) : ก่อนปรับปรุง		หน้าที่ (Sheet NO) : 1 to 1								
คำอธิบายการทำงาน		ระยะ (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ	
1.	พนักงานเดินไปที่ศูนย์บริการค้าปลีก	100	180	○	➡	□	□	△		
2.	หยิบใบเบิก	0	5	●	➡	□	□	△		
3.	เขียนใบเบิก	0	80	●	➡	□	□	△		
4.	พนักงานขอลายเซ็นผู้จัดการแผนก	100	180	○	➡	□	□	△		
5.	ผู้จัดการแผนกเซ็นเอกสาร	0	10	●	➡	□	□	△		
6.	พนักงานขอลายเซ็นผู้จัดการโซน	50	120	○	➡	□	□	△		
7.	ผู้จัดการโซนเซ็นเอกสาร	0	10	●	➡	□	□	△		
8.	พนักงานนำใบเบิกไปยังที่ศูนย์บริการค้าปลีก	100	180	○	➡	□	□	△		
9.	เจ้าหน้าที่ศูนย์บริการค้าปลีกรับเอกสาร	0	5	●	➡	□	□	△		
10.	เจ้าหน้าที่ศูนย์บริการค้าปลีกทำการคีย์เบิก	0	240	●	➡	□	□	△		
11.	พนักงานรอเอกสารใบเบิกจากเจ้าหน้าที่	0	240	○	➡	●	□	△		
12.	พนักงานรับเอกสารใบเบิกจากเจ้าหน้าที่	0	10	●	➡	□	□	△		
13.	นำใบเบิกไปยังให้กับพนักงานคลังสินค้า	30	40	○	➡	□	□	△		
14.	พนักงานคลังรับใบเบิกสินค้า	0	10	●	➡	□	□	△		
15.	พนักงานคลังจัดสินค้าตามใบเบิก	0	600	●	➡	□	□	△		
16.	เจ้าหน้าที่โซน G คีย์โอนย้ายสต็อกในระบบ	0	40	●	➡	□	□	△		

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการเบิก/โอนสินค้าระหว่างคลังสินค้า (ก่อนการปรับปรุง) (ต่อ)

คำอธิบายการทำงาน	ระยะ (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ
17. เจ้าหน้าที่โซน G ลำเลียงสินค้าส่งต่อให้โซน M	30	40	○	➡	D	□	△	
18. เจ้าหน้าที่โซน M รับสินค้า	0	30	●	➡	D	□	△	
19. เจ้าหน้าที่โซน M พิมพ์เอกสาร 101, 301	0	60	●	➡	D	□	△	
20. เจ้าหน้าที่โซน M ลำเลียงสินค้าเข้าแผนก	100	180	○	➡	D	□	△	
21. แผนกรับสินค้าจากโซน M	0	20	●	➡	D	□	△	
22. แผนกตรวจสอบเอกสาร 101, 301	0	30	○	➡	D	■	△	
23. แผนกเซ็นรับเอกสาร	0	10	●	➡	D	□	△	
24. แผนกนำเอกสาร 101, 301 ส่งที่ศูนย์ค้ำปลีก	100	180	○	➡	D	□	△	
25. เจ้าหน้าที่ศูนย์ค้ำปลีกรับเอกสารจากแผนก	0	5	●	➡	D	□	△	
26. เจ้าหน้าที่ศูนย์ค้ำปลีกทำการลงบันทึกข้อมูล	0	120	●	➡	D	□	△	
27. เจ้าหน้าที่ศูนย์ค้ำปลีกทำการเก็บเอกสาร	0	10	○	➡	D	□	▲	
รวม	610	2,635	16	8	1	1	1	

ตารางที่ 1 และภาพที่ 1 ก่อนการปรับปรุง แสดงขั้นตอนการทำงาน ทั้งหมด 27 ขั้นตอน ซึ่งใช้เวลาในการเบิกจ่ายสินค้า ทั้งหมด 2,635 วินาที ระยะทางรวม 610 เมตร โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติการ รวม 16 ขั้นตอน ใช้เวลา 1,255 วินาที, การเคลื่อนย้าย รวม 8 ขั้นตอน ใช้เวลา 1,100 วินาที, การรอคอย รวม 1 ขั้นตอน ใช้เวลา 240 วินาที, การตรวจสอบ รวม 1 ขั้นตอน ใช้เวลา 30 วินาที และขั้นตอนการจัดเก็บ 1 ขั้นตอน ใช้เวลา 10 วินาที



ภาพที่ 1 แผนภาพการไหล (Flow diagram) ขั้นตอนการเบิก/โอนสินค้า (ก่อนการปรับปรุง)

3.4 การวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้แผนภูมิ Why – Why Analysis

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์หาสาเหตุการเบิกจ่ายสินค้าล่าช้า

ปัญหา	Why	Why	Action
การเบิกจ่ายสินค้าล่าช้า	เบิกจ่ายสินค้าโดยใช้วิธีการเบิกแบบระบบทำด้วยมือ (Manual)	มีหลายขั้นตอนทำให้ใช้ระยะเวลาในการทำงานนาน	ใช้โปรแกรม SAP Module (Materials Management : MM) ในการเบิกจ่ายสินค้า

ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอแนวทางให้กับผู้จัดการ หัวหน้างาน และพนักงาน โดยการใช้โปรแกรม SAP บริษัทมีโปรแกรมพร้อมใช้กับการทำงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแผนก ซึ่งข้อดีบริษัทไม่ต้องลงทุนเพิ่ม การใช้โปรแกรมให้คุ้มค่ากับการลงทุน ข้อมูลการทำงานเป็นแบบเรียลไทม์ การเพิ่มคุณภาพบริการลูกค้า และประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น ข้อด้อย พนักงานต้องเรียนรู้ทักษะการใช้โปรแกรม SAP และการป้องกันความปลอดภัยการเข้าถึงข้อมูลการทำงานของพนักงาน

3.5 การพัฒนาขั้นตอนการเบิก/โอนสินค้าระหว่างคลังสินค้า

ผู้วิจัยได้พัฒนาขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าของบริษัทตัวอย่าง หลังจากการศึกษาการทำงานด้วยระบบแบบเดิม จึงได้พัฒนาระบบการเบิกจ่ายสินค้าด้วยโปรแกรม SAP ดังนี้

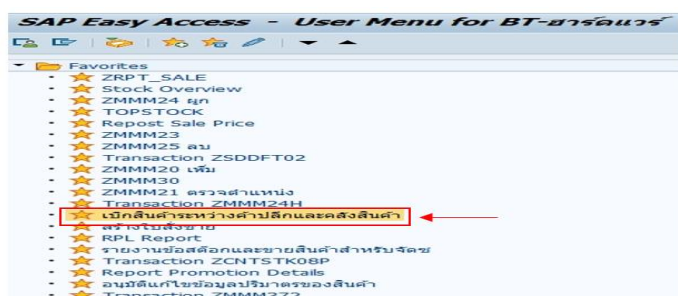
1) การเข้าระบบโปรแกรม SAP

User: กรอกรหัสผู้จัดการแผนก (ตัวอย่าง รหัส 1029973)

Password: กรอก Password

ภาพที่ 2 หน้า Login เข้าสู่ระบบ

2) การเลือกหัวข้อเบิกสินค้าระหว่างค้ำปลีกและคลังสินค้า



ภาพที่ 3 หน้าเมนูหลัก

3) การระบุรหัสสินค้าที่ต้องการเบิก

The screenshot shows the 'Select Data' window. The 'รหัสสินค้า' (Item Code) field is highlighted with a red box and contains the value '10123780'. The 'วันที่' (Date) field is also highlighted with a red box and contains the value '04.12.2023'. The 'Import File' section at the bottom shows a file name field.

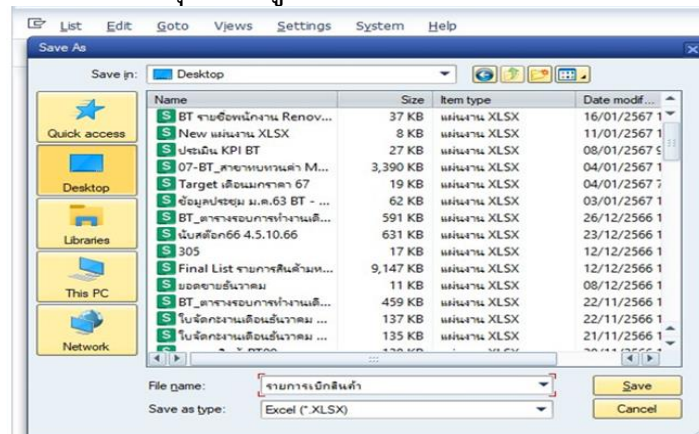
ภาพที่ 4 หน้าเมนูการเบิกสินค้า

4) การระบุจำนวนที่ต้องการเบิกสินค้า

เลือก	รหัสสินค้า	ชื่อสินค้า	ATP	จำนวน	BT20 Iss.loc	BT20 Ship.point	เลขที่ PO
☒	BT11 10123774	ระบุ 2*13 18	109,000	สง	10.000		
☐	BT20 10123774	ระบุ 2*13 18	158,000	สง	0.000		
☒	BT11 10123776	ระบุ 21/2*10	144,000	สง	10.000		
☐	BT20 10123776	ระบุ 21/2*10	23,000	สง	0.000		
☒	BT11 10123780	ระบุ 3*10 18	68,000	สง	10.000		
☐	BT20 10123780	ระบุ 3*10 18	862,000	สง	0.000		

ภาพที่ 5 หน้าตารางรายการข้อมูลสินค้าที่ต้องการเบิก

5) การส่งไฟล์ขออนุมัติจากผู้จัดการสาขา



ภาพที่ 6 การบันทึกไฟล์ขออนุมัติ

6) รอกการอนุมัติจากผู้จัดการสาขา

เลือก	สาขา	รหัสสินค้า	ชื่อสินค้า	ATP	ชื่อหน่วย	BT20 Iss. loc.	BT20 Ship. point	เลขที่ PO
เลือก	BT11	1000000000010123780	ตะปู 3*10 18 คก.	49,000	ตัว	10,000		
เลือก	BT20	1000000000010123780	ตะปู 3*10 18 คก.	710,000	ตัว	0.000		
เลือก	BT11	1000000000010123776	ตะปู 2 1/2*10 18 คก.	132,000	ตัว	10,000		
เลือก	BT20	1000000000010123776	ตะปู 2 1/2*10 18 คก.	63,000	ตัว	0.000		
เลือก	BT11	1000000000010123774	ตะปู 2*13 18 คก.	87,000	ตัว	10,000		
เลือก	BT20	1000000000010123774	ตะปู 2*13 18 คก.	225,000	ตัว	0.000		

ภาพที่ 7 หน้ารายการขออนุมัติ

7) กดยืนยันเลขที่ PO ในระบบ

เลือก	สาขา	รหัสสินค้า	ชื่อสินค้า	ATP	ชื่อหน่วย	BT20 Iss. loc.	BT20 Ship. point	เลขที่ PO
☒	BT11	10123774	ตะปู 2*13 18	109,000	ตัว	10,000		
☐	BT20	10123774	ตะปู 2*13 18	158,000	ตัว	0.000		
☒	BT11	10123776	ตะปู 2 1/2*10	144,000	ตัว	10,000		
☐	BT20	10123776	ตะปู 2 1/2*10	23,000	ตัว	0.000		
☒	BT11	10123780	ตะปู 3*10 18	68,000	ตัว	10,000		
☐	BT20	10123780	ตะปู 3*10 18	862,000	ตัว	0.000		

ภาพที่ 8 การยืนยันเลขที่ PO

4. ผลการวิจัย

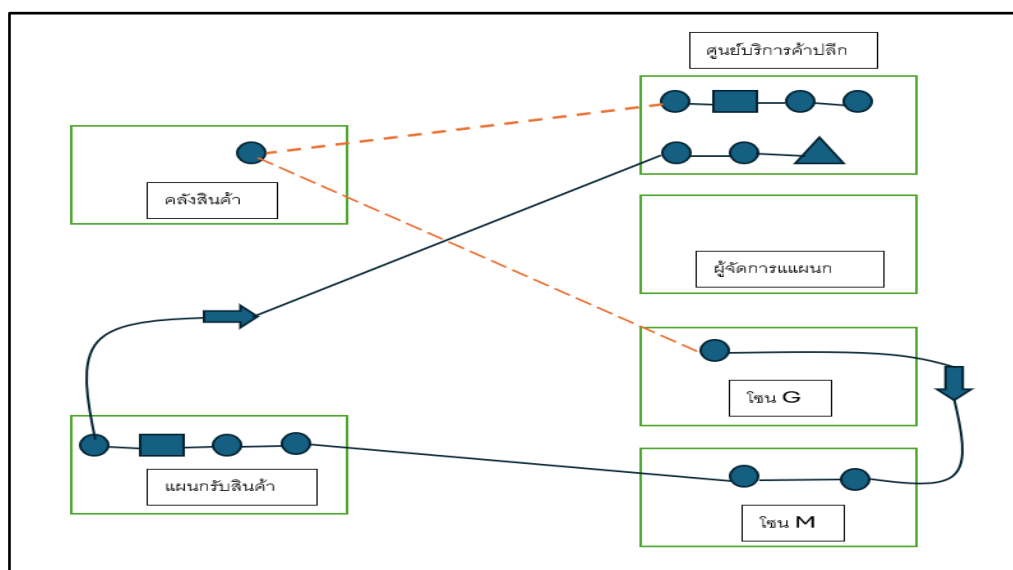
4.1 ขั้นตอนการเบิก / โอนสินค้าระหว่างคลังสินค้า (หลังการปรับปรุง)

ผู้วิจัย หัวหน้างาน พนักงานร่วมกันจับเวลาการทำงานและนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย เดือนกุมภาพันธ์ 2567 จำนวน 30 ครั้ง ดังนี้

ตารางที่ 3 ขั้นตอนการเบิก / โอนสินค้าระหว่างคลังสินค้า (หลังการปรับปรุง)

FLOW PROCESS CHART										
ชื่อกระบวนการ (Subject Charted) : ลดเวลาและขั้นตอนในการทำงาน		ผลสรุป								
Process: กระบวนการลดเวลาและขั้นตอนในการเบิก-จ่ายสินค้า		สัญลักษณ์		ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ลดลง		
Check By: พนักงานค้าปลีก			การปฏิบัติการ		16		11		5	
คำอธิบาย			การเคลื่อนย้าย		8		3		5	
			การรอคอย		1		1		0	
			การตรวจสอบ		1		1		0	
			การจัดเก็บ		1		1		0	
			รวม		27		17		10	
สถานะ (Method) : หลังปรับปรุง		หน้าที่ (Sheet NO) : 1 to 1								
คำอธิบายการทำงาน		ระยะ (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ	
1.	เข้าโปรแกรม SAP ลงบันทึกข้อมูลการเบิกสินค้า	0	240	●	⇒	D	□	△		
2.	ส่งไฟล์การเบิกสินค้าให้ผู้จัดการสาขาอนุมัติ	0	30	●	⇒	D	□	△		
3.	รออนุมัติจากผู้จัดการสาขา ผู้จัดการสาขาอนุมัติการเบิกสินค้า	0	120	○	⇒	●	□	△		
4.	กดยืนยันเลขที่ PO ในระบบ	0	10	●	⇒	D	□	△		
5.	พนักงานคลังจัดสินค้าตามเลขที่ PO	0	600	●	⇒	D	□	△		
6.	เจ้าหน้าที่โซน G คีย์โอนย้ายสต็อกในระบบ	0	40	●	⇒	D	□	△		
7.	เจ้าหน้าที่โซน G ลำเลียงสินค้าส่งต่อให้โซน M	30	40	○	⇒	D	□	△		
8.	เจ้าหน้าที่โซน M รับสินค้า	0	30	●	⇒	D	□	△		
9.	เจ้าหน้าที่โซน M พิมพ์เอกสาร 101, 301	0	60	●	⇒	D	□	△		
10.	เจ้าหน้าที่โซน M ลำเลียงสินค้าเข้าค้าปลีก	100	180	○	⇒	D	□	△		
11.	แผนกรับสินค้าจากโซน M	0	20	●	⇒	D	□	△		
12.	แผนกตรวจสอบเอกสาร 101, 301	0	30	○	⇒	D	■	△		
13.	แผนกเซ็นรับเอกสาร	0	10	●	⇒	D	□	△		
14.	แผนกนำเอกสาร 101, 301 ส่งที่ศูนย์ค้าปลีก	100	180	○	⇒	D	□	△		
15.	เจ้าหน้าที่ศูนย์ค้าปลีกรับเอกสารจากแผนก	0	5	●	⇒	D	□	△		
16.	เจ้าหน้าที่ศูนย์ค้าปลีกทำการลงบันทึกข้อมูล	0	120	●	⇒	D	□	△		
17.	เจ้าหน้าที่ศูนย์ค้าปลีกทำการเก็บเอกสาร	0	10	○	⇒	D	□	▲		
รวม		230	1,725	11	3	1	1	1		

จากตารางที่ 3 และภาพที่ 9 หลังการปรับปรุง โดยใช้โปรแกรม SAP มีขั้นตอนการทำงานลดลงเหลือ 17 ขั้นตอน และใช้เวลาในการเบิกจ่ายสินค้า ทั้งหมด 1,725 วินาที ระยะทาง 230 เมตร โดยขั้นตอนการปฏิบัติการ รวม 11 ขั้นตอน ใช้เวลา 1,165 วินาที, การเคลื่อนย้าย รวม 3 ขั้นตอน ใช้เวลา 400 วินาที, การรอกอยรวม 1 ขั้นตอน ใช้เวลา 120 วินาที, การตรวจสอบ รวม 1 ขั้นตอน ใช้เวลา 30 วินาที, และขั้นตอนการจัดเก็บ 1 ขั้นตอน ใช้เวลา 10 วินาที



ภาพที่ 9 แผนภาพการไหล (Flow diagram) ขั้นตอนการเบิก/โอนสินค้า (หลังการปรับปรุง)

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลการวิจัยก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

วัตถุประสงค์	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลการเปรียบเทียบ
1. การลดขั้นตอน	27 ขั้นตอน	17 ขั้นตอน	ลดลง 10 ขั้นตอน
2. การลดเวลา	2,635 วินาที	1,725 วินาที	ลดลง 910 วินาที

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 การลดขั้นตอนการเบิก - จ่ายสินค้าแผนกค้าปลีก โดยใช้โปรแกรม SAP

ผู้วิจัย หัวหน้างาน และพนักงานร่วมกันจับเวลาการทำงานและนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย เดือนมกราคม 2567 จำนวน 30 ครั้ง (ก่อนการปรับปรุง) ซึ่งได้ดำเนินการเก็บข้อมูลเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนพนักงานเดินไปที่ศูนย์บริการค้าปลีก ถึง เจ้าหน้าที่ศูนย์ค้าปลีกทำการเก็บเอกสาร รวมทั้งสิ้น 27 ขั้นตอน โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติการ รวม 16 ขั้นตอน, การเคลื่อนย้าย รวม 8 ขั้นตอน, การรอกอยรวม 1 ขั้นตอน, การตรวจสอบ รวม 1 ขั้นตอน และขั้นตอนการจัดเก็บ 1 ขั้นตอน ตามลำดับ (หลังการปรับปรุง) เดือนกุมภาพันธ์ 2567 จำนวน 30 ครั้ง จากการใช้โปรแกรม SAP มีขั้นตอนการทำงาน ทั้งสิ้น 17 ขั้นตอน โดยขั้นตอนการปฏิบัติการ รวม 11 ขั้นตอน, การเคลื่อนย้าย รวม 3 ขั้นตอน, การรอกอยรวม 1 ขั้นตอน, การตรวจสอบ รวม 1 ขั้นตอน, และขั้นตอนการจัดเก็บ 1 ขั้นตอน ซึ่งหลังการปรับปรุงสามารถลดขั้นตอนการทำงาน 10 ขั้นตอน ได้แก่ การปฏิบัติการ

ลดลง 5 ขั้นตอน และการเคลื่อนย้าย ลดลง 5 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 37.03 โดยขั้นตอนการทำงานที่ลดลงเป็นขั้นตอนการให้ผู้รับผิดชอบต้องเซ็นเอกสาร และได้เปลี่ยนวิธีการทำงานเป็นการเซ็นเอกสารผ่านระบบออนไลน์

5.2 การลดเวลาการเบิก - จ่ายสินค้าแผนกค้าปลีก

ผู้วิจัย หัวหน้างาน และพนักงาน ร่วมกันจับเวลาการทำงาน (ก่อนการปรับปรุง) ซึ่งได้ดำเนินการเก็บข้อมูลเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนพนักงานเดินไปที่ศูนย์บริการค้าปลีก ถึงเจ้าหน้าที่ศูนย์ค้าปลีกทำการเก็บเอกสาร รวมทั้งสิ้น 27 ขั้นตอน ซึ่งใช้เวลาในการเบิกจ่ายสินค้า ทั้งหมด 2,635 วินาที ระยะทางรวม 610 เมตร โดยขั้นตอนการปฏิบัติการ ใช้เวลา 1,255 วินาที, การเคลื่อนย้าย ใช้เวลา 1,100 วินาที, การรอคอย ใช้เวลา 240 วินาที, การตรวจสอบ ใช้เวลา 30 วินาที และขั้นตอนการจัดเก็บ 1 ขั้นตอน ใช้เวลา 10 วินาที (หลังการปรับปรุง) โดยการใช้โปรแกรม SAP มีขั้นตอนการทำงาน ทั้งสิ้น 17 ขั้นตอน ซึ่งใช้เวลาในการเบิกจ่ายสินค้า ทั้งหมด 1,725 วินาที ระยะทางรวม 230 เมตร โดยขั้นตอนการปฏิบัติการ ใช้เวลา 1,165 วินาที, การเคลื่อนย้าย ใช้เวลา 400 วินาที, การรอคอย ใช้เวลา 120 วินาที, การตรวจสอบ ใช้ระยะเวลา 30 วินาที, และการจัดเก็บ ใช้ระยะเวลา 30 วินาที ดังนั้นหลังการปรับปรุงสามารถลดเวลาการทำงาน 910 วินาที คิดเป็นร้อยละ 34.53

6. อภิปรายผล

ธุรกิจค้าปลีกและค้าส่งมีสินค้าหลากหลายประเภท การเบิกจ่ายสินค้าใช้วิธีการบันทึกเอกสารด้วยมือ การทำงานหลายขั้นตอน และใช้ระยะเวลานาน จึงส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน ดังนั้นผู้วิจัยแก้ปัญหาโดยการใช้โปรแกรม SAP มาสนับสนุนการเบิกจ่ายสินค้า ซึ่งข้อดี บริษัทไม่ต้องลงทุนเพิ่ม การใช้โปรแกรมให้คุ้มค่ากับการลงทุน ข้อมูลการทำงานเป็นแบบเรียลไทม์ การเพิ่มคุณภาพบริการลูกค้า และประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น ข้อด้อย พนักงานต้องเรียนรู้ทักษะการใช้โปรแกรม SAP การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และการป้องกันความปลอดภัยการเข้าถึงข้อมูลการทำงานของพนักงาน โดยสามารถลดขั้นตอนการทำงาน คิดเป็นร้อยละ 37.03 และลดเวลาการทำงาน คิดเป็นร้อยละ 34.53 ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นเป็นไปตามนโยบายของหน่วยงานที่ให้มีการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานให้เพิ่มขึ้นร้อยละ 15 สอดคล้องกับแนวคิดของ (Raktham, 2020) ความสามารถในการทำงานของ SAP ได้ออกแบบให้รองรับการดำเนินงานของธุรกิจหรือหน่วยงานด้วยคุณสมบัติที่หลากหลาย ได้แก่ 1) ลดความซ้ำซ้อน 2) ให้ข้อมูลข้ามหน่วยงานแบบเรียลไทม์ และ 3) ต้นทุนในการดำเนินธุรกิจลดลง (Bochek & Olson, 2020) โปรแกรม SAP สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน การลดข้อผิดพลาด และความแม่นยำของข้อมูลที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจของผู้บริหาร (Kirana et al., 2021) การปรับปรุงประสิทธิภาพทางธุรกิจ และสื่อสารข้อมูลแบบเรียลไทม์ทำให้องค์กรสามารถตัดสินใจได้อย่างรวดเร็ว (Rege, 2023) ช่วยลดข้อผิดพลาด ประหยัดเวลา และข้อมูลแบบเรียลไทม์นำไปสู่การดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ (Vaka, 2024) โปรแกรม SAP เป็นเครื่องมือที่จำเป็นให้กับผู้ค้าปลีกด้วยการบูรณาการข้อมูลและกระบวนการต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ เพื่อการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากขึ้น (Shiralkar et al., 2021) อุตสาหกรรมค้าปลีกต้องนำเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) มาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานให้ดียิ่งขึ้น (Kenge & Khan, 2020)

โปรแกรม SAP จะบูรณาการหน้าที่ทั้งหมดในองค์กร เพื่อการรวบรวม การประมวลผล และสื่อสารข้อมูลแบบเรียลไทม์ขั้นสูง ซึ่งจะทำให้องค์กรสามารถตัดสินใจเกี่ยวกับปัญหาแบบเรียลไทม์ได้อย่างรวดเร็ว เพื่อควบคุมกระบวนการทางธุรกิจทั้งหมด

7. เอกสารอ้างอิง

- Bochek, Z. & Olson, D. (2020). Case study of SAP implementation in a corporation network plant. *International Journal of Services and Operations Management*, 35(2), 189-206.
- Kenge, R. & Khan, Z. (2020). A Research Study on the ERP System Implementation and Current Trends in ERP. *Shanlax International Journal of Management*, 8(2), 34-39.
- Kirana, D., Saputra, M. & Puspitasari, W. (2021). Enterprise Resource Planning of Procurement Process with SAP MM Module. *International Journal of Innovation in Enterprise System*, 5(1), 55-64.
- Raktham, P. (2020). *Technology and information systems for management*. Bangkok: Thammasat University. (in Thai)
- Rege, A. (2023). Adoption of Blockchain in SAP Supply Chain Management. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 10(9), 708- 717.
- Shiralkar, K., Bongale, A., Kumar, S., Kotecha, K. & Prakash, C. (2021). Assessment of the Benefits of Information and Communication Technologies (ICT) Adoption on Downstream Supply Chain Performance of the Retail Industry. *Logistics*, 5(80), 1-13.
- Thatphet, K. & Ruangchoengchum, P. (2023). An Elimination of Non-Value Added Movement by Organizing Production Process Layout: A Case Study of Fresh Coffee Shop Business in Khon Kaen Province. *Journal of Management Science, Ubon Ratchathani University*, 10(2), 1-24. (in Thai)
- Vaka, D. (2024). Leading The Way in Retail Supply Chain Evolution: SAP'S Dynamic Momentum. *International Journal of Logistics and Supply Chain Management Research and Development*, 2(1), 22-31.
- Wongwian, C., Chatmuangpak, A. & Kangsantia, S. (2024). Improving Efficiency in the Garment Production Process: Case Study of a Garment Factory. *Wittayasara: Integration Apply Engineering and Industrial Technology*, 17(1), 1-14. (in Thai)

การประเมินเชิงเปรียบเทียบความแม่นยำและความเที่ยงตรง
ของเครื่องมือสำรวจสำหรับการสำรวจวัดความสูงต้นสัก
และประเมินการกักเก็บคาร์บอน

Comparative Accuracy and Precision Assessment of Survey
Instruments for Teak Tree Height Measurement and Carbon
Sequestration Estimation

ศรายุทธ มาลัย¹, ดลฤดี สุขใจ², ธีรนนท์ สอนแก้ว³, ละมัย จันทะขาว^{4*} และปิณชา ท่อกิตติกุล⁵
Sarayut Malai¹, Donrudee Sookjai², Thiranan Sonkaew³, Lamay Junthakhao^{4*} and Pincha Torkittikul⁵

^{1,5}Department of Civil Technology Program Program, Faculty of Industrial Technology,
Lampang Rajabhat University, Lampang

^{2,3}Department of Physics Program, Faculty of Science, Lampang Rajabhat University, Lampang

^{4*}Department of Environmental Science Program, Faculty of Science, Lampang Rajabhat University, Lampang
Tel. +66 5424 1052 Fax. +66 5431 6154 E-mail: lamay@lpru.ac.th

วันที่รับบทความ 19 กุมภาพันธ์ 2568
Received: Feb. 19, 2025

วันที่รับแก้ไขบทความ 9 มิถุนายน 2568
Revised: Jun. 9, 2025

วันที่ตอบรับบทความ 16 มิถุนายน 2568
Accepted: Jun. 16, 2025

Abstract

This study comparatively evaluated the accuracy and precision of three tree height measurement instruments: a Laser Rangefinder, a Total Station in Remote Elevation Measurement (REM) mode, and a Total Station in Coordinate mode. The research also compared their operational efficiency for teak tree height measurement and demonstrated their application in estimating carbon sequestration. This novel field-based validation offers a comparative analysis for commercially and ecologically significant teak (*Tectona grandis*), directly linking precise height measurements to carbon stock estimation and addressing the practical need for reliable, efficient survey methodologies in tropical forestry. Height measurements were conducted against a precisely determined reference under controlled offset conditions (-0.50, -0.25, 0.00, +0.25, +0.50 m from true vertical). Results indicated the Total Station (Coordinate mode) yielded the highest accuracy, precision, and overall efficiency, considering acceptable error margins. The Laser Rangefinder was the most rapid but exhibited lower accuracy and efficiency. Field measurements of 93 teak heights across all three instruments showed no statistically significant differences at the 95% confidence level, a consistency observed in repeated and inter-user measurements. Carbon dioxide equivalent calculations of 76,554.19 kg revealed Coordinate mode estimates differed by only 1.29% from the Laser Rangefinder and 4.20% from the REM mode.

Keywords: Tree height measurement, Carbon sequestration, Carbon stock, Total station, Laser Rangefinder

1. Introduction

Tree height is fundamental in forest management for assessing growth, timber volume, biomass, and carbon sequestration. Accurate data are crucial for effective forest resource planning, sustainable management, and mitigating greenhouse gas emissions (Brown, 2002). Despite its importance, achieving accurate and precise field measurements remains challenging, often due to varied instrument designs and operational principles. For instance, Laser Rangefinders are designed for forestry, while Total Stations are for broader surveying. Although foundational mensuration is established (Husch et al., 2003), ongoing investigation and validation are needed for modern instrument's comparative field performance, accuracy, and efficiency, especially Total Station's Remote Elevation Measurement (REM) and Coordinate modes.

Recent technological advancements offer new tools for forest structure assessment, including UAV-based LiDAR, digital aerial photogrammetry, Terrestrial Laser Scanning (TLS), and satellite sensors (e.g., Abegg et al., 2023; Zhou et al., 2023; Coops et al., 2025). While these technologies show potential, a deeper understanding is required before their regular application in national forest inventories. Meanwhile, traditional ground-based Total Stations, particularly their REM and Coordinate modes, are increasingly being applied in forestry to enhance measurement accuracy. Selecting appropriate instruments and measurement protocols is critical for robust biomass and carbon stock assessments, influencing forest conservation and ecosystem restoration (Pretzsch, 2009; Chave et al., 2014). However, relying solely on manufacturer specifications can be misleading, as field conditions (terrain variability, canopy density, tree morphology, operator skill) significantly influence measurement outcomes. Thus, field-based evaluations are crucial for determining practical accuracy, precision, and efficiency under real-world conditions.

A discernible lack of comprehensive comparative studies specifically validating the performance of Total Station's REM versus Coordinate modes for tree height surveys across diverse tree forms remains. This gap is particularly critical for economically significant species like teak (*Tectona grandis*) in tropical forestry, which this study addresses through empirical field validation. Teak was selected due to its considerable economic importance in Thailand and Southeast Asia, widespread use in plantation forestry, straight bole morphology facilitating height measurement, and substantial contribution to carbon stock via high aboveground biomass and long-term storage capacity.

This research systematically evaluates and compares the accuracy, precision, and operational efficiency of a Laser Rangefinder, a Total Station (REM mode), and a Total Station (Coordinate mode), using teak trees as a case study. The study also demonstrates the practical application of these height measurements in estimating teak's carbon sequestration potential. By providing a rigorous comparative assessment, this research offers valuable insights for instrument selection in various forestry contexts, ultimately contributing to more accurate and efficient methods for forest inventory, biomass assessment, and carbon accounting.

2. Objectives

2.1 To comparatively evaluate the accuracy and precision of a Laser Rangefinder, Total Station (REM mode), and Total Station (Coordinate mode) for tree height measurement under controlled and field conditions.

2.2 To assess and compare the operational efficiency of these methods in measuring teak (*Tectona grandis*) tree height.

2.3 To demonstrate the practical application of height measurements from these methods in estimating carbon sequestration, providing a relevant case study for tropical forestry and environmental monitoring.

3. Methodology

This study systematically investigated and compared the performance of three widely used instruments and operational modes for tree height measurement: a Laser Rangefinder and a Total Station operating in both Remote Elevation Measurement (REM) and Coordinate modes.

Instrument Specifications:

1) Laser Rangefinder: Nikon Forestry Pro II brand. Supports a 2-point height mode with ± 0.3 m precision for distances $< 1,000$ m. Measures up to 1,600 m; display results with 0.1 m resolution for distances $< 1,000$ m and 1.0 m for longer distances (Nikon, 2019).

2) Total Station: TOPCON GPT-3005N brand. Features 5 arcseconds angular accuracy and Non-Prism measurements up to 1,200 m. Offers 1 mm display resolution in fine mode. Supports REM and Coordinate modes for flexible, precise measurements (TOPCON, 2005).

3.1 Accuracy and Precision Assessment under Simulated Offset Conditions
Accuracy and precision were assessed using a precisely determined 4.247 m reference height. This reference was meticulously measured indoors at Lampang Rajabhat University's Civil Technology Building. Offset distances of -0.50, -0.25, 0.00, +0.25,

and +0.50 m from the true vertical were established (Figure 1). The experimental setup ensured horizontal distances exceeded the Nikon Forestry Pro II's minimum of 7.5 m and observation angles (<45 degrees) were within optimal operating range to minimize errors (Bragg, 2007; Bragg et al., 2011).

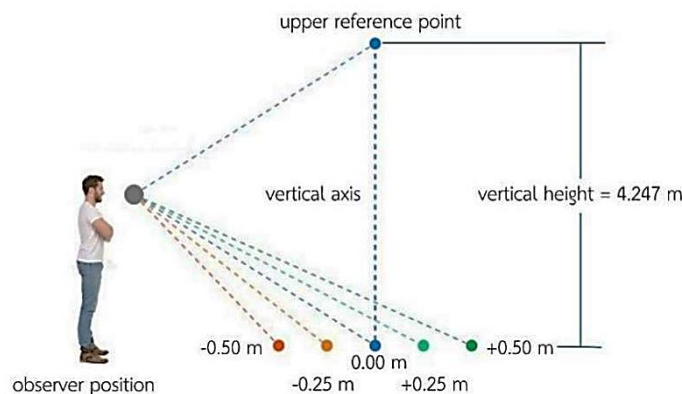


Figure 1 illustrates the height measurement testing method by simulating offset scenarios at -0.50, -0.25, 0.00, +0.25, and +0.50 meters.

3.2 Study Site and Teak Tree Samples, the study was conducted at Lampang Rajabhat University on 93 teak trees (girth > 15 cm). The girth was measured at breast height (1.3 m above ground), following standard forestry practice. Both upright and leaning teak trees with varying heights were included to reflect natural field variability and ensure realistic assessment conditions.

3.3 Field Measurement of Teak Tree Heights Teak tree heights were measured using three instruments:

- 1) Laser Rangefinder: Employed the 2-point method, standing at least 7.5 m from the tree (Figure 2, left).
- 2) Total Station REM mode: Positioned at the same location as the Laser Rangefinder, ensuring an unobstructed vertical line of sight from tree base to top (Figure 2, right).
- 3) Total Station Coordinate mode: Measured 3D coordinates at the tree base and top (Figure 3). Height data from all instruments were used to estimate carbon sequestration in teak biomass.



Figure 2 illustrates the field setups: Laser Rangefinder (left), and Total Station (right).

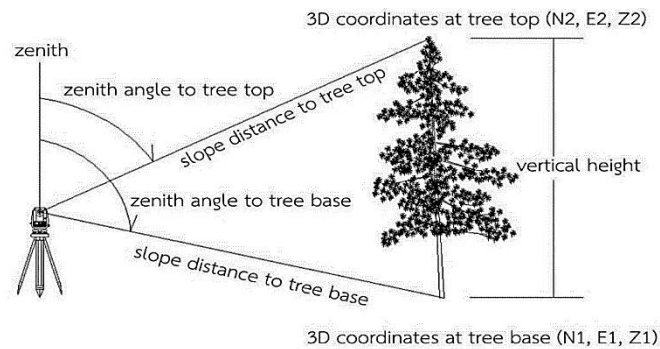


Figure 3 illustrates height measurement using a Total Station in Coordinate mode.

3.4 Statistical Data Analysis Statistical analysis was conducted in two parts:

1) Measuring the reference height of a building to analyze accuracy and precision, considering Bias, E %, SD, precision, and EE values as following:

(1) Bias, or the difference between the measured value and the actual height value, obtained from all three types of instruments, as shown in Equation 1:

$$\text{Bias} = \text{Measured value} - \text{Actual value} \quad (1)$$

(2) Mean Absolute Percentage Error (E%), as shown in Equation 2:

$$E\% = \frac{1}{n} \sum \frac{(\text{Measured value} - \text{Actual value})}{\text{Actual value}} \times 100\% \quad (2)$$

where n is the number of data points, and the lowest E% value indicates the most accurate measurement.

(3) The statistics used to indicate the precision of the measurement can be analyzed from the Standard Deviation (SD) and the measurement precision, according to Husch et al. (2003), as shown in Equation 3:

$$\text{Precision}^2 = \text{Accuracy}^2 - \text{Bias}^2 \quad (3)$$

The statistics used to analyze the efficiency and time consumption of all three types of instruments are considered from the Efficient and Error-Tolerant (EE), which can be obtained from Equation 4 (Bonyad and Mirzaei, 2016):

$$EE = E\%^2 \times T \quad (4)$$

where T is the total time used for the measurement. A calculation result that yields a low EE value is considered cost-effective in terms of time spent and measurement error.

2) Teak Tree Height Measurement: Statistical differences were analyzed using One-way ANOVA.

3.5 Carbon Sequestration Estimation Tree height (from three instruments) and circumference at breast height (approx. 1.3 m above ground, by a measuring tape) were collected. These data were applied to estimate aboveground biomass and carbon sequestration using allometric equations (Ogawa et al., 1965; Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2023).

4. Results

This study evaluated the accuracy, precision, and efficiency of tree height surveying instruments. Results are presented in two main sections: 1) instrument assessment under controlled conditions, and 2) comparative analysis of teak tree height measurement in the field, including operational efficiency and an illustrative example for carbon sequestration.

4.1 Instrument Accuracy and Precision

1) Accuracy

Table 1 presents the direction of systematic error, and the Absolute Mean Bias (AMB), reflecting the overall magnitude of measurement deviations regardless of direction. The Total Station in Coordinate mode consistently provided average height values closest to the reference value of 4.247 m. When accuracy was evaluated using Percent Error (E%), the Total Station in Coordinate mode demonstrated the lowest average E% (0.020%). In contrast, the Total Station in REM mode and the Laser Rangefinder exhibited higher average E% values (2.235% and 4.717%, respectively).

Table 1 Comparison of height measurement instrument accuracy against the 4.247 m reference value under simulated offset scenarios.

Offset from reference point	Laser Rangefinder			Total Station Mode REM			Total Station Mode Coordinate		
	$\bar{h} \pm \sigma$ (m)	AMB	E %	$\bar{h} \pm \sigma$ (m)	AMB	E %	$\bar{h} \pm \sigma$ (m)	AMB	E %
-0.50	4.000±0.058	0.247	5.816	4.093±0.000	0.154	3.634	4.248±0.000	0.001	0.016
-0.25	3.967±0.033	0.280	6.601	4.169±0.001	0.078	1.829	4.248±0.001	0.001	0.024
0.00	4.100±0.058	0.147	3.461	4.249±0.001	0.002	0.047	4.247±0.000	0.000	0.008
+0.25	4.167±0.067	0.116	1.892	4.328±0.000	0.081	1.907	4.247±0.001	0.001	0.008
+0.50	4.000±0.058	0.247	5.816	4.407±0.000	0.160	3.760	4.245±0.000	0.002	0.047
Average	4.047±0.055	0.207	4.717	4.249±0.000	0.095	2.235	4.247±0.000	0.001	0.020

2) Precision evaluated as Standard Deviation (SD) of height measurements under each offset condition was shown in Table 2. Both Total Station modes showed high precision (low SD values). The Laser Rangefinder, however, exhibited greater measurement variability, indicating lower precision (higher SD values). For instance, the average deviation from the 4.247 m true height of 4.247 m was minimal for Coordinate mode (0.000 m) and REM mode (-0.001 m), while whereas the Laser Rangefinder's average was 0.006 m lower.

Table 2 Standard deviation (SD) and deviation from true value of mean height measurements from the reference point at various distances.

Reference Point Offset (m)	Laser Rangefinder (m)		Total Station REM Mode (m)		Total station Coordinate Mode (m)	
	SD	Precision	SD	Precision	SD	Precision
-0.50	0.100	4.239	0.001	4.244	0.001	4.247
-0.25	0.058	4.237	0.001	4.246	0.001	4.247
0.00	0.100	4.244	0.001	4.247	0.001	4.247
+0.25	0.115	4.245	0.000	4.246	0.002	4.247
+0.50	0.100	4.239	0.001	4.244	0.000	4.247
Average	0.055	4.241	0.000	4.246	0.001	4.247
Deviation from True Value		-0.006		-0.001		0.000

3) Efficiency and Error-tolerance (EE) The Laser Rangefinder was the quickest instrument, averaging 3.22 minutes per series under controlled conditions (Table 3). It exhibited the lowest overall efficiency and highest error susceptibility (EE = 71.647). Both Total Station modes demonstrated significantly higher efficiency. The Coordinate mode achieved the lowest EE (0.00325), highlighting its superior balance of accuracy and time, followed by REM mode (EE = 41.222) (Table 3).

Table 3 Comparison of Efficiency and Error-tolerance (EE) of height measurement instruments.

Instrument	Average E %	Time (min)	EE
Laser Rangefinder	4.717	3.22	71.647
Total station in REM mode	2.235	8.25	41.222
Total station in Coordinate mode	0.020	7.80	0.00325

4.2 Teak Tree Height Measurement Comparison

1) Statistical Analysis of Field Height Measurements.

Table 4 presents the statistical results of height measurements from 93 teak trees using three instruments. The Total Station in REM mode yielded the highest average height (14.036 m), followed by the Coordinate mode (13.485 m) and the Laser Rangefinder (13.275 m). REM mode also recorded the lowest standard error (0.010 m) and standard deviation (0.029 m), suggesting high precision in this context. However, it exhibited the widest data range (17.118 m), indicating greater susceptibility to field conditions or tree form variability affecting individual measurements.

Table 4 Statistical analysis results of teak tree heights measured by the three instruments.

Statistical Values / Height Measurement Instruments	Height (m)		
	Laser Rangefinder	Total station Mode REM	Total station Mode Coordinate
Mean	13.275	14.036	13.485
Standard Error	0.085	0.010	0.035
Standard Deviation	0.254	0.029	0.104
Range	16.056	17.118	15.863
Minimum	7.378	7.625	7.794
Maximum	23.433	24.744	23.657

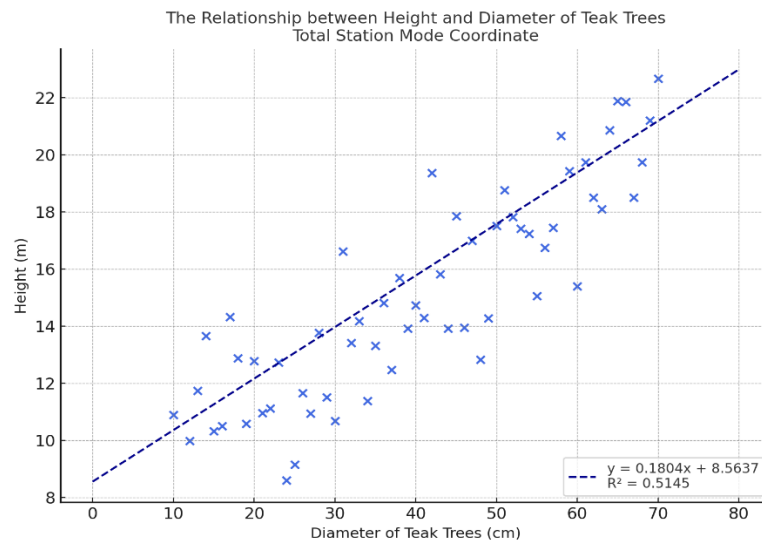
2) Comparison of Statistical Differences in Teak Tree Heights

One-way ANOVA analysis revealed a P-value of 0.33, which is greater than the significance level of 0.05. This leads to the acceptance of the null hypothesis that the mean teak tree heights measured by the three instruments do not differ significantly at a 95% confidence level (Table 5). Furthermore, tests for differences in repeated measurements by each individual measurer and between different measurers using the same instrument also yielded P-values greater than 0.05. These results suggest that, under the conditions of this study, neither repeated measurements by the same operator nor operator variability (among trained individuals following the same protocol) significantly affected the obtained height values at the 95% confidence level.

Table 5 Statistical test results considering variance caused by the instruments.

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value
Between Groups	28.708	2	14.3542	1.1143	0.3296
Within Groups	3,555.518	276	12.8823		
Total	3,584.227	278			

3) Illustrative Application for Carbon Sequestration Estimation, a moderate linear relationship ($R^2 = 0.5145$) was observed between tree height (Coordinate mode data) and diameter at breast height (DBH) (Figure 4). When estimating carbon sequestration, results from the three instruments were similar: Laser Rangefinder (75,564.77 kgCO₂eq), Total Station REM mode (79,771.64 kgCO₂eq), and Coordinate mode (76,554.19 kgCO₂eq). Compared to the Coordinate mode reference, REM mode was 4.20% higher, while the Laser Rangefinder was 1.29% lower. These differences are considered acceptable, reflecting that all three instruments can reliably measure height for carbon sequestration estimation.

**Figure 4** Relationship between height and diameter at breast height of teak trees.

5. Discussion and Conclusions

5.1 Discussion

1) Comparison of Instrument Accuracy and Precision under Controlled Conditions

The Total Station provided the highest height measurement accuracy and precision against the 4.247 m reference (Table 1, Table 2). Its superior performance (lowest E% of 0.020%, minimal deviation) aligns with the total stations' capabilities for precise positional determination (Simonjan and Shendypina, 2020). Coordinate mode's

reliance on 3D coordinate calculations, similar to the sine method, offers greater robustness against errors for inclined targets (Bragg et al., 2011). The Laser Rangefinder (Nikon Forestry Pro II), using its 2-point mode, also relies on trigonometric principles for vertical height differences.

Conversely, Total Station (REM mode) (avg. E% = 2.235%) and Laser Rangefinder (avg. E% = 4.717%) exhibited lower accuracy in these tests. REM mode's tangent function dependence makes it susceptible to errors with leaning targets, causing over/underestimation (as shown previously in Section 2)). The Laser Rangefinder, though convenient and fast (Pretzsch, 2014), showed the lowest accuracy. Total Station's significantly higher resolution (0.001 m distance, 0.001 degrees angle) and stable tripod mounting versus the handheld Laser Rangefinder contribute substantially to these accuracy and precision differences.

2) Field Performance and Factors Influencing Measurements

Field measurements of teak height revealed the REM mode yielded the highest average height (14.036 m), exceeding coordinate mode (13.485 m) and Laser Rangefinder (13.275 m), despite coordinate mode's superior controlled accuracy. Tree inclination, explored through simulated offset conditions, strongly explains this discrepancy. While teak generally has straight boles, subtle leans are common. If the crown apex leans towards the instrument, REM mode's trigonometric calculations will overestimate true height. Coordinate mode, by determining precise 3D coordinates, is less susceptible to such lean-induced errors.

Interestingly, the Laser Rangefinder (lower controlled accuracy, E% of 4.717%) produced mean field heights (13.275 m) closer to Coordinate mode (13.485 m) than REM mode (14.036 m). This may stem from its 2-point method, which, while prone to random sighting errors, might be less affected by systematic overestimation from forward tree lean. Its simpler operation could also contribute to more consistent apex sighting compared to REM mode.

Despite instrument-specific tendencies, one-way ANOVA showed no statistically significant difference ($P=0.33$) among mean tree heights measured by the three instruments in the field at a 95% confidence level (Table 5). This suggests comparable average height estimations for practical field applications, indicating operational robustness. Consistency in repeated and inter-user measurements further supports this interchangeability for average height estimation.

3) Implications for Carbon Sequestration Estimation

The relationship between tree height and DBH yielded a moderate $R^2=0.5145$ (Coordinate mode data). This implies that biomass and carbon estimates

relying heavily on DBH, or on heights predicted from DBH, will inherently carry uncertainty. Direct incorporation of accurately measured tree height (e.g., from Coordinate mode) into allometric equations (Chave et al., 2014; Ogawa et al., 1965) can reduce this uncertainty and improve carbon stock assessment precision.

Carbon sequestration estimates (CO_2 equivalent) from the three instruments were relatively similar: Coordinate mode differed by only 1.29% from Laser Rangefinder and 4.20% from REM mode indicating consistency in carbon sequestration estimates. While these overall differences appear minor at this study's scale, instrument and method choice become critical for large-scale inventories or high-precision carbon accounting. Systematic biases, like REM mode's potential overestimation, could accumulate to significant discrepancies in total carbon stock over extensive forest areas.

4) Practical Implications, Efficiency, and Instrument Selection

It is interesting to note that the measurement time using the Laser Rangefinder was the fastest, averaging 3.22 min/tree, making it attractive for rapid field assessments. However, it exhibited a higher error efficiency ($EE = 71.647$) compared to the Total Station (REM and coordinate modes). Total Station (Coordinate mode), though slower (avg. 7.80 min/tree), demonstrated superior accuracy (avg. $E\% = 0.020\%$) and the lowest EE (0.00325). This positions the Coordinate mode as preferred for research or inventories demanding high-fidelity data (Hummel et al., 2011). In contrast, REM mode offered intermediate performance (avg. 8.25 min/tree and $EE = 41.222$).

A pragmatic cost-benefit perspective is essential for instrument selection in diverse forestry contexts. For large-scale inventories, community forestry initiatives, or situations with limited budgets and personnel, the significantly lower cost and rapid deployment of Laser Rangefinders may outweigh their lower intrinsic accuracy, particularly if average estimates over many trees can mitigate some individual measurement errors. However, it is crucial to acknowledge the potential for higher variability and bias. Conversely, when the objective is to develop precise allometric models, monitor subtle changes in forest structure, or for carbon projects demanding high accountability and verification, the higher initial investment and operational time associated with the Total Station in Coordinate mode are justified by its superior data quality. The Total Station in REM mode might serve as a practical compromise where a Total Station is available, and a balance between speed and accuracy-better than that of a Laser Rangefinder but less time-consuming than full Coordinate measurements is sought, provided users are cognizant of and can potentially account for its bias related to tree inclination. For instance, conventional

Total Stations requiring a prism for distance measurement would necessitate using REM mode to avoid climbing trees to place a prism at the top, thereby enhancing safety and convenience in such scenarios.

5) Limitations of the Study and Future Research

This study has several limitations that should be considered when interpreting the results. First, the instrument evaluation was limited to specific models (Nikon Forestry Pro II and TOPCON GPT 3005N), so findings may not generalize to devices with different specifications or technologies. Second, the field site at Lampang Rajabhat University, while representative of local teak plantations, did not reflect broader conditions such as steep terrain, dense understorey, complex canopies, or leaf-on periods in deciduous forests - factors that may further affect measurement accuracy. Third, despite the use of standardized protocols (Section 3.3), variability in operator skill and judgment - particularly when identifying tree bases and tops in complex field settings - may still contribute to measurement uncertainty. Future research should address these limitations by developing calibration or correction models to reduce errors from tree inclination and sighting challenges. Broader comparisons across more device models, forest types, and species are also needed to improve generalizability. Furthermore, integrating height data from efficient ground-based methods with emerging remote sensing technologies - such as UAV-LiDAR, terrestrial laser scanning, or satellite sensors (e.g., Zhou et al., 2022; Abegg et al., 2023; Coops et al., 2025) - could support the development of more robust and scalable systems for forest inventory and carbon monitoring. Such hybrid approaches are essential for improving local forest management and strengthening contributions to global climate change mitigation.

5.2 Conclusion

This comparative study evaluated the accuracy, precision, and operational efficiency of tree height measurement tools in the context of teak plantation forestry, focusing on a laser rangefinder (Nikon Forestry Pro II) and a total station (TOPCON GPT-3005N) operated in both Remote Elevation Measurement (REM) and Coordinate modes. Under controlled conditions, the Coordinate mode consistently yielded the most accurate and precise results, with the highest efficiency index. The Laser rangefinder was the fastest method but showed lower accuracy, while the REM mode exhibited sensitivity to tree inclination. Field measurements of 93 teak trees revealed no statistically significant differences in mean tree height among the three methods ($P = 0.33$), suggesting practical interchangeability for average height estimation. Estimates of carbon sequestration were similarly consistent, with only slight variations

observed among the different measurement methods. This study provides practical value as a field validation of existing height measurement tools. The results highlight real-world trade-offs between measurement accuracy, operational speed, and equipment cost-critical considerations for forestry practitioners and carbon monitoring initiatives operating under resource and logistical constraints. These insights are especially relevant to tropical plantation forestry, where rapid yet reliable data collection is essential. While the Coordinate mode is recommended for applications requiring high precision or the generation of reference data, the laser rangefinder offers an efficient alternative for routine surveys. The findings thus offer actionable guidance for tool selection and contribute useful recommendations for optimizing measurement strategies in applied forestry. Future work should explore correction models for faster methods and expand testing across diverse forest types and species.

6. Acknowledgements

The research team would like to express their gratitude to Lampang Rajabhat University for providing the study site, access to instrumentation, and various equipment necessary for the successful completion of this research.

7. References

- Abegg, M., Bösch, R., Kükenbrink, D., & Morsdorf, F. (2023). Tree volume estimation with terrestrial laser Scanning-Testing for bias in a 3D virtual environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 331, 109348.
- Bonyad, A. E., & Mirzaei, M. (2016). Comparison of fixed area and distance sampling methods in open forests: case study of Zagros Forest, Iran. *Journal of Forestry Research*, 27, 1121-1126. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0239-9>.
- Bragg, D. C., Frelich, L. E., Leverett, R. T., Blozan, W., & Luthringer, D. J. (2011). *The sine method: An alternative height measurement technique* (Research Note SRS-22). U.S. Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station.
- Brown, S. (2002). Measuring Carbon in Forests: Current Status and Future Challenges. *Environmental Pollution*, 116(3), 363-372. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00212-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00212-3).
- Coops, N. C., Irwin, L. A., Seely, H. S., & Hardy, S. J. (2025). Advances in Laser Scanning to Assess Carbon in Forests: From Ground-Based to Space-Based Sensors. *Current Forestry Reports*, 11(1), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00242-4>.

- Hummel, S., Hudak, A. T., Uebler, E. H., Falkowski, M. J., & Megown, K. A. (2011). A comparison of accuracy and cost of LIDAR versus stand exam data for landscape management on the Malheur National Forest. *Journal of Forestry*, 109, 267-273. <https://doi.org/10.1093/jof/109.5.267>.
- Husch, B., Beers, T. W., & Kershaw Jr., J. A. (2003). *Forest Mensuration* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- NIKON VISION CO., LTD. (2019). *Forestry Pro II: Instruction manual*. Nikon Vision Co., Ltd. https://downloadcenter.nikonimglib.com/en/products/544/Forestry_Pro_II.html.
- Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K., & Kira, T. (1965). Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand II. Plant biomass. *Nature and Life in Southeast Asia*, 4, 49-80.
- Pretzsch, H. (2009). *Forest dynamics, growth, and yield: From measurement to model*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88307-4>.
- Pretzsch, H. (2014). *Forest dynamics, growth, and yield models: Theory and applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-40517-2>.
- Simonjan, V., & Shendyapina, S. (2020). Calculating the accuracy of strain observations of high-rise buildings and structures using electronic total stations. *E3S Web of Conferences*, 164, Article 02022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016402022>.
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization. (2023). *Thailand carbon credit market report 2023*. Thailand Greenhouse Gas Management Organization. <https://www.tgo.or.th>. (in Thai)
- TOPCON. (2005). *GPT-3000LN: Long range reflectorless total station*. <http://www.topcon.com.sg/survey/gpt3000ln.html>.
- Zhou, L., Meng, R., Tan, Y., Lv, Z., Zhao, Y., Xu, B., & Zhao, F. (2022). Comparison of UAV-based LIDAR and digital aerial photogrammetry for measuring crown-level canopy height in the urban environment. *Urban Forestry & Urban Greening*, 69, 127489. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127489>.

การวิเคราะห์การขนส่งท่อเหล็กด้วยกลไก Star Wheel เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

Analysis of Steel Pipe Conveyance using

Star Wheel Mechanism for Energy Efficiency

ศรัณย์ ถือดิก¹, จิรัฏฐ์ พรหมพลอย², รชต โทบิอัสส์ เบาว์เออร์³ และกิริติ กิรสมุทรานนท์^{4*}

Sarun Tuedic¹, Jirath Promploy², Rachata Tobias Baur³ and Keerati Kirasamutrano^{4*}

¹Niva American International School, Bangkok, 10240, Thailand

²Trail International School, Bangkok, 10240, Thailand

³Keerapat International School, Bangkok, 10230, Thailand

^{4*}Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800, Thailand

E-mail: keerati.k@cit.kmutnb.ac.th

วันที่รับบทความ 30 ตุลาคม 2568
Received: Oct. 30, 2024

วันที่รับแก้ไขบทความ 9 กุมภาพันธ์ 2568
Revised: Feb. 9, 2025

วันที่ตอบรับบทความ 5 มีนาคม 2568
Accepted: Mar. 5, 2025

Abstract

Efficient material handling systems are vital for minimizing energy consumption and enhancing operational efficiency. This study addresses the gap in optimizing Star Wheel mechanisms for steel pipe conveyance, focusing on energy-efficient operations. Specifically, it evaluates the effects of hopper angles (30°, 45°, 60°) and Star Wheel rotational speeds (6 - 18 rpm) on the efficiency of transporting 1-inch diameter, 0.7-meter-long steel pipes. Results reveal that a 30° hopper angle facilitates smooth loading, while rotational speeds of 6, 9, and 12 rpm provide optimal performance, achieving a transport rate of 2,880 pipes per hour and reducing energy consumption to 0.079 watt-hours per pipe. These insights contribute to improved industrial conveyance systems with enhanced energy efficiency.

Keywords: Star Wheel, Conveyance, Energy consumption

1. Introduction

In today's industrial landscape, production efficiency and effective management are paramount for maintaining competitiveness and sustainability. One critical challenge is achieving energy-efficient material handling systems that can minimize operational costs while maximizing throughput. Steel pipe transportation, a vital process in manufacturing and construction industries, requires innovative solutions to address energy consumption and handling inefficiencies.

Among various mechanisms, the "Star Wheel" has gained significant attention due to its capability to precisely control material movement, integrating gears with

the Geneva mechanism to provide enhanced flexibility and precision (Hughes, 2019). However, despite its advantages, research on optimizing Star Wheel mechanisms for steel pipe conveyance remains limited. Specifically, the relationship between hopper angles, rotational speeds, and their combined impact on energy efficiency and throughput has not been thoroughly investigated. Prior studies have primarily focused on general conveyor mechanisms, leaving a gap in understanding the optimal configurations for specific materials such as steel pipes.

Notably, the Star Wheel is commonly incorporated into conveyor systems, where it offers distinct advantages over traditional conveyor methods. Specifically, it enables control over both the angle at which materials enter the system and the rotational speed of the wheel, allowing fine-tuned management of the conveyance process. As Chen et al. (2021) demonstrated, adjusting the entry angle of materials enhances the flow rate within the system. Moreover, modifying the rotational speed can further improve transportation efficiency, which not only boosts overall process performance but also reduces potential material damage a critical factor in high-efficiency operations (Crompton, 2012; Emblem, 2012).

In this study, we applied the Star Wheel to a material handling system focused on transporting steel pipes with a diameter of 1 inch and a length of 0.7 meters. These pipes were processed within VRP Engineering & Trading Company Limited, an Original Equipment Manufacturer (OEM) in Thailand. To determine optimal settings, we examined three different angles 30°, 45° and 60° and evaluated the effects of varying rotational speeds and distances between the Star Wheel and the steel pipes. By analyzing these factors, this research aims to identify strategies for improving material handling efficiency and accuracy. Li et al. (2023) and Chen et al. (2020) provided foundational insights into similar configurations, while Gatade et al (2020). and Shi et al (2018) offered valuable frameworks for optimizing material handling and conveyance performance.

2. Objectives

2.1 To identify the optimal hopper angle and rotational speed for efficient steel pipe conveyance using the Star Wheel mechanism.

2.2 To evaluate the energy efficiency of different configurations and provide recommendations for industrial applications.

3. Research methodology

3.1 Mathematical Formulation for Loading with Star Wheels

The efficiency of conveying a steel pipe with a diameter of 1 inch and a wall thickness of 1.20 mm is derived by calculating the conveying area for each arm rotation. Specifically, the conveyed mass per single arm is calculated and then multiplied by both the rotational speed and the number of arms on the Star Wheel to determine the total conveying area and the amount of steel pipe transported per revolution, as shown in Equations (1) – (3) (Li et al., 2023).

$$A = \pi \left(\frac{D}{2} - \frac{d}{2} \right)^2 - Za \quad (1)$$

Where

A is the conveying area for one revolution of rotation.

D is outer diameter of the Star Wheel (m)

d is inner diameter of the Star Wheel (m)

Z is the amount of arms

a is the surface area of arm (m²)

$$Q_1 = A \times \rho \times h \times \varphi \quad (2)$$

Where

Q_1 is mass of steel pipe conveyed per revolution (kg)

h is height of Star Wheel (m)

φ is loading factor, 0.68, ρ is density of steel pipe (kg/m³)

The conveying efficiency of Star Wheel per second is shown as

$$Q = \frac{1}{60} \times Q_1 \times z \times n \quad (3)$$

Where

Q is mass of steel pipe that can be conveyed per second

Z is the amount of arms

n is the rotational speed of Star Wheel (rpm)

Calculating the energy consumption of the Star Wheel relies on understanding the torque involved in sweeping and conveying the steel pipes. This analysis considers energy losses during the rotation of the Star Wheel, particularly frictional losses. The torque acting on the arm of the Star Wheel can be calculated using the torque value on the shaft, accounting for the moment of inertia. This is expressed by Equation 4, as outlined by Chen et al. (2020).

$$G_s = Z \times Q_1 \times g \quad (4)$$

The frictional force encountered when the Star Wheel and the steel pipe slide over the feeder's surface is represented by Equation 5. This frictional force must be overcome to maintain smooth operation of the conveyance system. According to studies conducted by Shi et al (2018), the torque generated by the friction between the steel pipe and the feeder is given in Equation 6.

$$f = G_s \times \mu \quad (5)$$

$$\tau = f \frac{D}{2} \quad (6)$$

Where

f is the friction force between the Star Wheel and the sliding steel pipe. (N)

G_s is the gravitational force acting on the steel pipe loaded per revolution of the Star Wheel (N)

g is the acceleration of free fall, Gravity (N)

μ is the coefficient of friction between the steel pipe and the Star Wheel.

In the design phase, the inclined angle of the fed pipe during conveyance is generally not considered. To thoroughly analyze the forces acting on the Star Wheel and to calculate the torsional force experienced during steel pipe conveyance, Equation 7 is applied, as

$$F_{gn} = \frac{mn^2\pi^2r}{900} \quad (7)$$

Where

F_{gn} is the torsional force acting during the conveyance (N)

m is the mass of steel pipe at the end of Star Wheel (kg)

n is speed of revolution (rpm)

r is radius of Star Wheel (m)

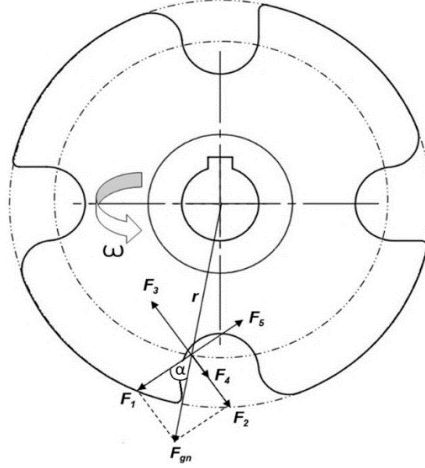


Figure 1 Free body diagram of Star Wheel

As shown in Figure 1, the torque moment relative to the center of gravity, which is inclined to the surface of the Star Wheel, is calculated using Equations (8) and (9).

$$F_1 = \frac{mn^2\pi^2r}{900} \cos(\alpha) \quad (8)$$

$$F_2 = \frac{mn^2\pi^2r}{900} \sin(\alpha) \quad (9)$$

The frictional force acting between the steel pipe and the Star Wheel can be determined by Equation (10). The normal force exerted between the surface areas can be represented by Equation (11). This normal force ensures that the steel pipe can fully enter the conveyor system. The centrifugal force acting between the Star Wheel, the pipe, and the frictional force from the steel pipe aligns with the rotational speed calculations used for the conveyor system. The rotational speed, which allows for a balance between applied forces and rotational motion, can be determined using Equation (12).

$$F_3 = mg\mu \quad (10)$$

$$F_4 = F_3 - F_2 = mg\mu - \frac{mn^2\pi^2r}{900} \sin(\alpha) \quad (11)$$

Where

r is radius of Star Wheel (m.)

α is the angle between the centrifugal force tangent to the steel pipe ($^{\circ}$)

$$n \geq \frac{30\mu}{\pi} \sqrt{\frac{g}{\mu r \sin(\alpha)}} \quad (12)$$

Equation (12) specifically calculates the rotational speed of the Star Wheel when it is in equilibrium. At the maximum balanced rotational speed, the speed remains constant, and the centrifugal force on the steel pipe, as well as the force exerted by the arm of the Star Wheel, corresponds directly to the radius of the Star Wheel. The relationship between the angle of inclination and the rotational speed forms part of the model used in the quality conveyance of steel pipes, as calculated in Equation (13).

$$\alpha \geq \arcsin \frac{900\mu g}{\pi^2 n^2 r} \quad (13)$$

3.2 Design of the Star Wheel and preparation of experiment with conveyer

In this study, we examine a conveyor system designed for transporting steel pipes with a diameter of 1 inch and a length of 0.7 meters. The system utilizes a Star Wheel constructed from superlene (nylon), a material commonly used in industrial conveyor systems due to its durability and versatility. Details of the Star Wheel are shown in Figure 2, illustrating that each rotation can transfer up to four pipes at a time. The hopper angles were selected to simulate common industrial configurations, balancing gravitational feeding efficiency and material handling reliability. Angles below 30° were avoided due to insufficient gravitational force, while angles above 60° were excluded to prevent clogging caused by increased friction. Similarly, the range of rotational speeds (6-18 rpm) was chosen to reflect practical operational limits in industrial Star Wheel systems.

In this experiment, the Star Wheel is fed pipes from a hopper, utilizing gravitational acceleration. The hopper's angle can be adjusted to 30° , 45° or 60° , enabling flexible feeding angles for optimal loading conditions. It can hold up to 80 pipes with a 1-inch diameter, which are then arranged independently, as depicted in Figure 3.

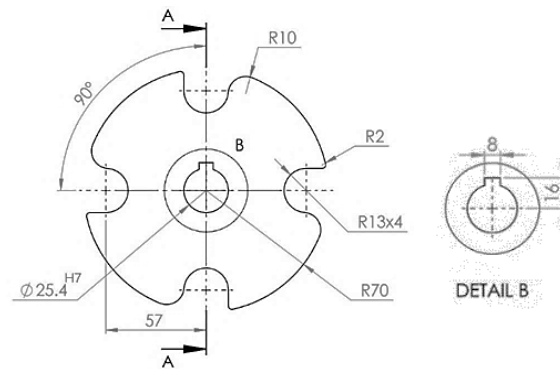


Figure 2 Details of the Star Wheel in experiment

The Star Wheel is continuously rotated, with its speed controlled by an inverter to evaluate the effect of various speeds on the system's performance. The rotational speed settings tested include 6, 9, 12, 15 and 18 rotations per minute, allowing us to identify the most effective speed for the conveyor system.

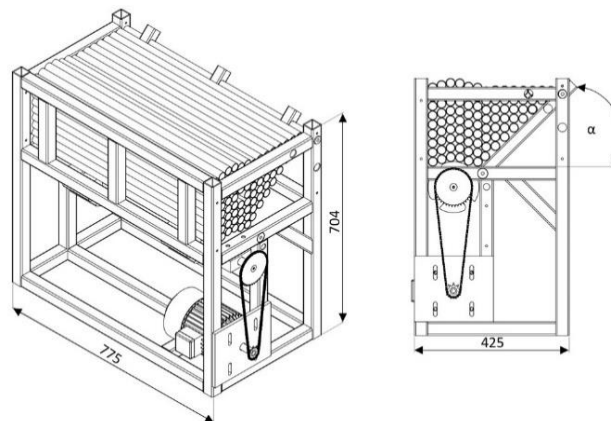


Figure 3 Characteristics of the experimental for transporting 1-inch steel pipes with adjustable angle of steel pipe feeder

The setup includes two Star Wheels mounted on a central axis, with their positions adjusted to three different lengths along the axis. The first position is set at half the axis length, centered between the two Star Wheels; the second is two-thirds of the axis length; and the final position spans the entire length, with a Star Wheel at each end, as shown in Figure 4. The coefficient of friction between the steel pipe and the Star Wheel is 0.4, illustrating the frictional relationship within the system.

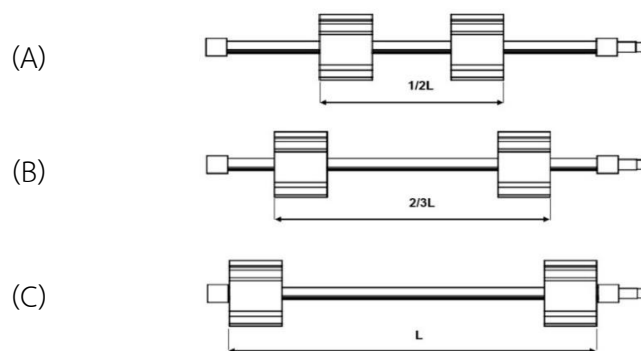


Figure 4 Placement of Star Wheel

(A) Star Wheel spacing arrangement with $1/2L$

(B) Star Wheel spacing arrangement with $2/3L$

(C) Star Wheel spacing arrangement with L

Therefore, this experiment investigates the effects of three main factors on the conveyor system: (1) the hopper angle, (2) the rotational speed of the Star Wheels, and (3) the distance between each Star Wheel along the axis.

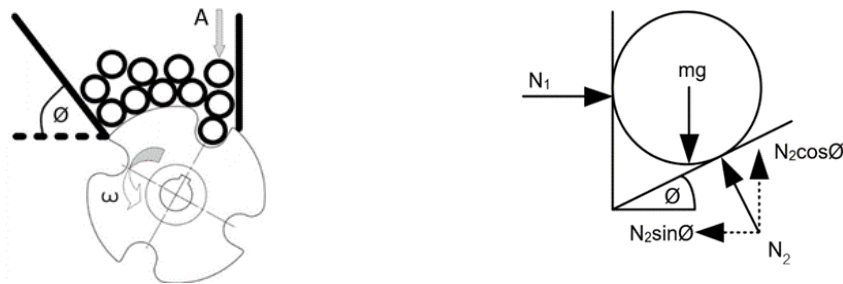
4. Results and Discussion

Results of conveyor system with steel pipe of 1-inch diameter with the length 0.7 meters, with “Superlene” as the Star Wheel’s material has shown that one rotation can convey 4 steel pipes. This experiment was separated into three parts: The first study was to find the effects of adjusting the angle of the conveyer feeder at 30, 45 and 60 degrees. The second study was to find effects of comparing the Star Wheel’s rotational speed. The third study to observe the effects of the Star Wheel’s spacing arrangement. The experiment’s results of testing the conveyor system are as followed:

The experiment started by first adjusting with one of the angles (30, 45 and 60 degrees), which is followed by the steel pipes being loaded onto the feeder until full and the Star Wheel spins at 6 rounds-per-minutes. With this setting, each of the three angles would be trial for 3 times to see which angle would be compatible. Observations were shown that the angle which was perfectly suitable for conveying was 30 degrees. This was further evident with the fact that the steel pipes would slide in the Star Wheel’s conveyor without disturbance. The higher angles (45 and 60 degrees) would cause the steel pipes to rub against each other and would not flow into the conveyor system, due to the angle θ having a higher value. This causes the steel pipes to have higher forces acting on each other, as shown in Figure 5 (A and B).

When the angle θ increases, the N_1 value increase. the N_1 value of each angle is equal to $\tan \theta = \frac{N_1}{mg}$

The study of the impact from adjusting the rotational speed of the Star Wheel and the study of the impact from adjusting the spacing of the Star Wheel was conducted by adjusting the angle as specified, which was 30 degrees, before adding the steel pipes into the feeder. (45 & 60 degrees would cause the steel pipes to be stuck and thus unable to perform the experiments) The experiment was carried out by adjusting the Star Wheel spacing the ratio lengths of $1/2L$, $2/3L$ and L respectively, while being coupled along with continuously rotating Star Wheels at speeds of 6, 9, 12, 15 and 18 rpm. respectively. Observations has found that the Star Wheel speeds of 6, 9, 12 and 15 rpm. were able to transport steel pipes continuously in all length ratios. However, the Star Wheel speed of 18 rpm was unable to convey due to its speed being too fast for the system. All results are shown in Table 1.



(A) Falling position of the steel pipe (B) Analysis of forces applied to steel pipes when waiting to be conveyed

Figure 5 Analysis of forces applied to steel pipes

However, the Star Wheel's speed of 15 rpm for the steel conveying was found to have a relatively fast rotation characteristics and is not suitable for conveying. Due to the high rotational speed resulting in angular velocity (ω) and the linear speed of the object is higher, operators and machines may be in risk of danger. As for the length ratio of $1/2L$, $2/3L$ and L , observations has found that the steel pipe and the Star Wheel's length ratio did not affect the conveying. The designer may choose any ratio found to be appropriate. However, key way should be specified for use with the machine Keys for the Star Wheel and drive shaft to reduce the tolerances between each Star Wheel.

Therefore, from the experiment's results, the angle of the container waiting be conveyed will be obtained at 30 degrees. The rotational speed of the Star Wheel

suitable for conveying steel pipes were at speeds of 6, 9 and 12 rpm, with the ratio of the Star Wheel's length to steel pipe lengths $1/2L$, $2/3L$ and L for 1-inch steel pipes with the length of 0.7 meters.

In addition to studying the conveying process, this research also measured the energy consumption of a 1-inch steel pipe conveyor system with a length of 0.7 meters. To achieve accurate measurements, a digital power meter was connected to the inverter controlling the Star Wheel. The device recorded the total energy consumed during each trial, and the values were normalized to calculate the energy usage per pipe. Furthermore, the relationship between the rotational speed of the Star Wheel and the energy used to transport the steel pipe was examined. It was discovered that as the rotational speed increased, the energy consumption increased consistently. For rotational speeds of 6, 9, 12 and 15 rpm, the energy consumption values were 248, 260, 273 and 285 watts-hours respectively, as depicted in Figure 6.

Table 1 Experimental results

RPM	Feeder angled at 30°			Feeder angled at 45°			Feeder angled at 60°		
	Length ratio			Length ratio			Length ratio		
	1/2L	2/3L	L	1/2L	2/3L	L	1/2L	2/3L	L
6	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
9	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
12	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
15	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
18	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

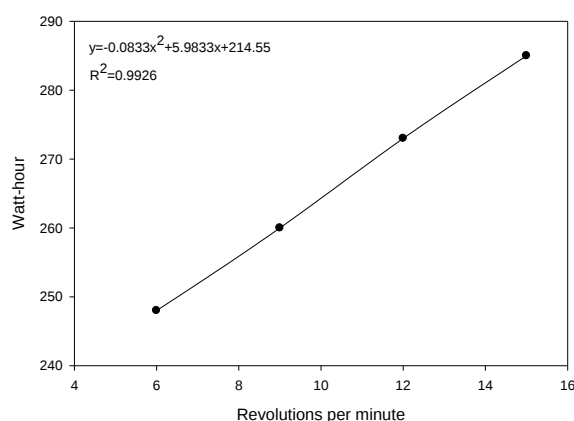


Figure 6 Relationship between the rotational speed of the Star Wheel and the energy used to transport the steel pipe.

From Figure 6, the analysis of energy consumption (y) as a function of rotational speed (x) reveals the following quadratic regression model. This model $y^2 = -0.0833x^2 + 5933x + 214.55$ demonstrates high accuracy ($R^2 = 0.9926$). The graph indicates that as rotational speed increases, energy consumption follows a curved pattern. Within the tested range of 6–15 RPM, energy consumption increases consistently, highlighting a strong positive relationship between rotational speed and energy usage within this interval. While higher rotational speeds lead to increased energy consumption, they also allow the conveying system to transport more efficiently. At rotational speeds of 6, 9, 12 and 15 rpm, steel pipes can be transported at rates of 1,440, 2,160, 2,800 and 3,600 steel pipes per hour respectively. When considering the energy consumption index of "Watts-hour per piece," it was observed that as the rotational speed increased, the energy consumption index decreased significantly. For rotational speeds of 6, 9, 12 and 15 rpm, the energy consumption index values per piece were 0.172, 0.120, 0.095 and 0.079 watts-hour per piece respectively, as shown in Figure 7.

From Figure 7, The relationship between energy consumption per piece (y) and rotational speed (x) is described by the quadratic regression model $y = 0.001x^2 - 0.0311x + 0.3219$. With a high level of accuracy ($R^2 = 0.9967$), the model indicates that energy consumption per piece decreases substantially as rotational speed increases, reaching its minimum value at approximately 15.55 RPM. Beyond this point, the rate of decrease slows, and energy consumption stabilizes. Within the tested range of 6–15 RPM, the findings highlight that adjusting rotational speed can significantly improve energy efficiency per piece.

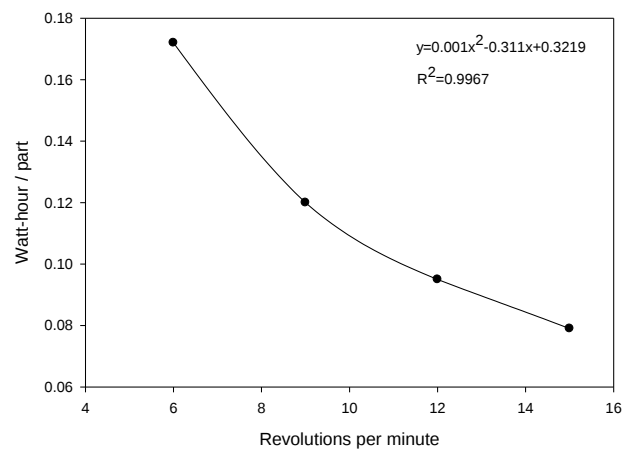


Figure 7 Relationship between the rotational speed of the Star Wheel and the energy consumption index for conveying steel pipes.

5. Conclusions

This study developed and tested a conveying system prototype for steel pipes with a diameter of 1 inch and a length of 0.7 meters. The prototype, measuring $0.425 \times 0.775 \times 0.704$ meters with a capacity for 80 pipes, features a Star Wheel constructed from Superlene, capable of transporting steel pipes in four segments per revolution. Key parameters tested included loading angles (30° , 45° , 60°), rotational speeds (6, 9, 12, 15, and 18 rpm), and Star Wheel arm spacing ratios ($1/2L$, $2/3L$, L).

The results showed that a 30° loading angle and rotational speeds of 6, 9, and 12 rpm provided optimal performance, ensuring smooth pipe conveyance and minimizing risks of damage. Rotational speeds above 12 rpm were not recommended due to potential safety and mechanical concerns. The spacing ratio of the Star Wheel arms had no significant impact on performance, offering flexibility in design.

Energy consumption remained a critical consideration, with transport rates of 1,440, 2,160, 2,880, and 3,600 pipes per hour achieved at 6, 9, 12, and 15 rpm, respectively. The energy efficiency improved with increased speeds, achieving energy indices of 0.172, 0.120, 0.095, and 0.079 watt-hours per pipe at these speeds. This study highlights the importance of balancing operational speed and energy efficiency for optimal system performance.

Future studies could expand the scope of research by experimenting with hopper angles outside the tested range, such as below 45° , to evaluate their impact on material flow and efficiency.

6. Acknowledgements

The research received support from VRP Engineering & Trading Company Limited.

7. References

- Chen, Y., Zhang, H., Zhang, Z., Yan, H., Li, G., & Sun, X. (2021). Researching the loading characteristics of a continuous miner on the basis of the fluidity effects of coal and rock particles. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 35(6), 2383–2393. doi.org/10.1007/s12206-021-0510-7.
- Chen, Y., Yan, H., Li, G., & Zhang, H. (2020). Research on loading characteristics of continuous miner based on coal and rock particles fluidity effect. *Research Square*, pp. 1–12. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-111738/v1.

- Crompton, G. (2012). Packaging machinery and line operations. In *Packaging technology* (pp. 490–537). Woodhead Publishing.
doi.org/10.1533/9780857095701.3.490.
- Emblem, A. (Ed.). (2012). Packaging technology: *Fundamentals, materials and processes*. (pp. 24–49). Elsevier. doi.org/10.1533/9780857095701.1.24.
- Gatade, U. N., Thote, G. V., Yadav, V. O., Makode, V. P., Ingole, S. H., & Wanve, Y. A. (2020). Design, analysis and optimization of drag chain conveyor system for coal application. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 9(5), pp. 1196–1199. doi.org/10.17577/ijertv9is050760.
- Hughes, H. A. (2019). Food packaging machinery. In Kutz, M. (Ed.), *Handbook of farm, dairy and food machinery engineering* (pp. 717–739). Academic Press.
doi.org/10.1016/C2017-0-01578-1.
- Li, Q., Gao, M., & Ma, Z. (2023). Multiobjective optimization of roadheader shovel-plate parameters based on improved particle swarm optimization and grey decision. *Science Progress*, 106(2). doi.org/10.1177/00368504231180089.
- Shi, H., Dong, X., Zhang, N., & Ding, N. (2018). Research of dynamic load identification for rock roadheader. In *2018 IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing (PIC)* (pp. 158–162). IEEE.
doi.org/10.1109/pic.2018.8706319.

การติดตามและปรับปรุงประสิทธิภาพเตาหลอมอลูมิเนียม Striko ด้วยปัญญาประดิษฐ์

AI-Driven Monitoring and Optimizing of Striko Aluminium Melting Furnace

ธีระภัทร อินทร์ตา^{1*}, ชูศักดิ์ พรสิงห์² และธนาธร เกรอต³
Teeraphat Inta^{1*}, Choosak Pornsing² and Thanathorn Karot³

^{1*,2,3}Department of Industrial Engineering and Management Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand
Tel.+669 24163 4666 E-mail: teerapat2543jame@gmail.com

วันที่รับบทความ 27 พฤศจิกายน 2568
Received: Nov. 27, 2024

วันที่รับแก้ไขบทความ 25 กุมภาพันธ์ 2568
Revised: Feb. 25, 2025

วันที่ตอบรับบทความ 14 มีนาคม 2568
Accepted: Mar. 14, 2025

Abstract

This study focuses on optimizing the Striko Aluminium Melting Furnace by leveraging AI-driven predictive analytics to enhance operational efficiency and sustainability. Two machine learning models, Linear Regression (LR) and Radial Basis Function Network (RBFN), were developed to predict critical furnace parameters, including temperature, gas flow, and CO₂ emissions. These models were integrated into a real-time monitoring framework featuring a dashboard for live data visualization and automated alerts to notify deviations from optimal conditions. Comparative analysis revealed the superior performance of the RBFN model, achieving higher prediction accuracy and contributing significantly to operational improvements. The results demonstrated a 21% reduction in energy consumption, an 18% decrease in CO₂ emissions, and a 4.35% increase in product yield. This study underscores the transformative potential of AI in driving energy-efficient, sustainable, and cost-effective industrial furnace operations.

Keywords: AI, Aluminium Furnace, Energy Efficiency, Real-Time Monitoring, Optimization

1. Introduction

Aluminium is an essential material widely utilized in the automotive, construction, and aerospace industries due to its lightweight nature, corrosion resistance, and recyclability. A key process in aluminium production and recycling is the melting stage, where aluminium scrap is transformed into reusable, high-quality material. The Striko Aluminium Melting Furnace plays a critical role in this transformation; however, its operation demands high energy consumption and significantly contributes to CO₂ emissions, raising concerns about sustainability and operational efficiency.

Traditionally, furnace operation and maintenance have relied on manual monitoring and reactive control systems. While these approaches help address immediate issues, they fail to comprehensively optimize performance. Challenges such as excessive energy consumption, inconsistent temperature control, and delayed response times lead to increased operational costs, lower product quality, and environmental burdens.

Artificial Intelligence (AI) presents a transformative solution to these inefficiencies. By leveraging predictive analytics, AI enables real-time forecasting of critical furnace parameters, allowing proactive adjustments and operational optimization. In this study, we integrate AI-driven techniques, specifically Machine Learning (ML) models—Linear Regression (LR) and Radial Basis Function Network (RBFN)—to enhance the performance of the Striko Aluminium Melting Furnace. The research evaluates the effectiveness of these models in improving energy efficiency, reducing CO₂ emissions, and enhancing product yield.

This study also highlights the integration of Python and Scikit-learn for ML model development, along with TensorFlow and Pandas for data processing. Additionally, a real-time monitoring system is developed using Flask and Dash, incorporating MQTT Protocol for seamless data communication between IoT-enabled sensors and the analytical dashboard. The results demonstrate the potential of AI-driven optimization in minimizing resource wastage, enhancing industrial efficiency, and promoting sustainable manufacturing practices

2. Objectives

- 2.1 Development of AI-Based Predictive Analytics System
- 2.2 Real-Time Monitoring Dashboard Design
- 2.3 Model Comparison for Furnace Optimization
- 2.4 Automated Alerts for Operational Efficiency
- 2.5 Sustainability and Cost Efficiency

3. Relevant principles

The optimization principles of the Striko Aluminium Melting Furnace through AI-driven analytics emphasize data integrity, robust feature engineering, and dynamic real-time monitoring to enhance operational performance. These principles integrate high-fidelity data preprocessing, advanced machine learning techniques, and real-time analytics to minimize inefficiencies and promote sustainability.

3.1 Data collection and preprocessing

Data collection was crucial in training AI models with accurate and representative data. Sensors captured parameters such as temperature, gas flow, CO₂ emissions, and pressure over six months. Preprocessing steps included outlier detection using Z-score analysis to prevent skewed predictions, spline interpolation to address missing values from sensor failures (Pan et al., 2022), and normalization to ensure uniform scaling for machine learning efficiency (Fan et al., 2021). Figure 1 illustrates the data preparation workflow, while Table 1 summarizes key operational parameter statistics, including averages and variability.

The diagram above illustrates the steps from raw data acquisition to preprocessing, ensuring the dataset was clean and robust for machine learning applications.

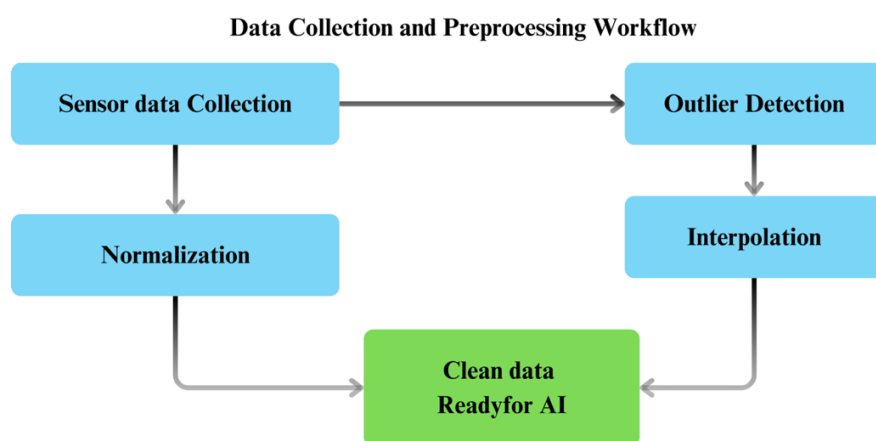


Figure 1 Data collection and preprocessing workflow.

Table 1 Summary of furnace operational data.

Parameter	Unit	Mean Value	SD	Maximum	Minimum
Temperature	°C	720	15	750	690
Gas Flow Rate	m ³ /hr	200	20	250	180
CO ₂ Emissions	kg/hr	50	8	65	40
Internal Pressure	kPa	100	10	120	80

Integrating these preprocessing techniques ensured the dataset was robust, reliable, and optimized for machine learning model training. Specifically, this methodology reduced noise and variability, enhancing the AI models' predictive performance.

3.2 Machine learning models

Two machine learning models—Linear Regression (LR) and Radial Basis Function Network (RBFN)—were utilized to predict critical furnace parameters. While LR was selected for its simplicity and efficiency in modeling linear relationships, its inability to handle non-linear dynamics limited its effectiveness (Hastie et al., 2005). In contrast, RBFN, leveraging Gaussian kernel functions, effectively captured non-linear relationships, achieving a prediction accuracy of 92% , compared to LR's 78% (Chalapathy & Chawla, 2019).

Table 2 Model comparison based on predictive performance.

Metric	Linear Regression	Radial Basis Function Network
Mean Absolute Error	12.5	8.2
Root Mean Square Error	15.7	9.4
Prediction Accuracy (%)	78	92

The RBFN architecture (Figure 2) comprises an input layer (capturing parameters like temperature and gas flow), a hidden layer (processing inputs using Gaussian kernels), and an output layer (predicting key furnace parameters).

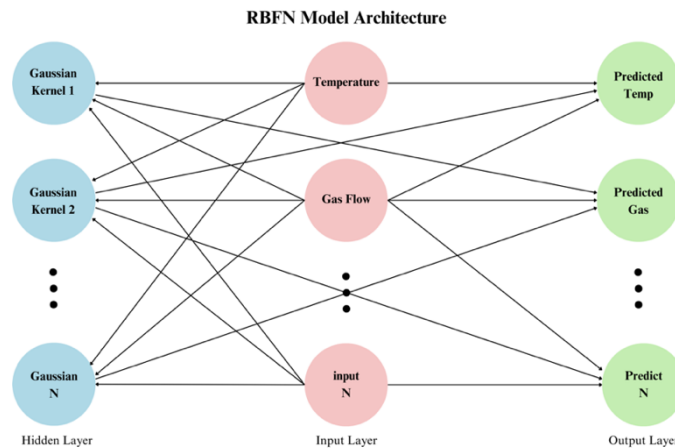


Figure 2 RBFN model architecture.

3.3 Real-time monitoring system

A real-time monitoring system was developed to integrate AI predictions into furnace operations. It features dynamic visualizations, predictive alerts, and actionable recommendations.

4. Research methodology

The research methodology encompassed data-driven analysis, machine learning model development, and the integration of a monitoring framework. Each step was meticulously designed to ensure the reliability and effectiveness of the proposed solution.

4.1 Data collection and feature engineering

Feature engineering was conducted using data collected from IoT-enabled sensors installed in the furnace. The sensors recorded hourly measurements of temperature, gas flow, CO₂ emissions, and pressure. To derive meaningful insights, preprocessing techniques were applied. Outlier detection was performed using Z-score analysis to prevent skewed predictions (Chandola et al., 2009) and spline interpolation was used to address missing values caused by occasional sensor failures (Yang & Zhang, 2014). Normalization ensured uniform scaling for efficient training of machine learning models (Williams & Rasmussen, 2006).

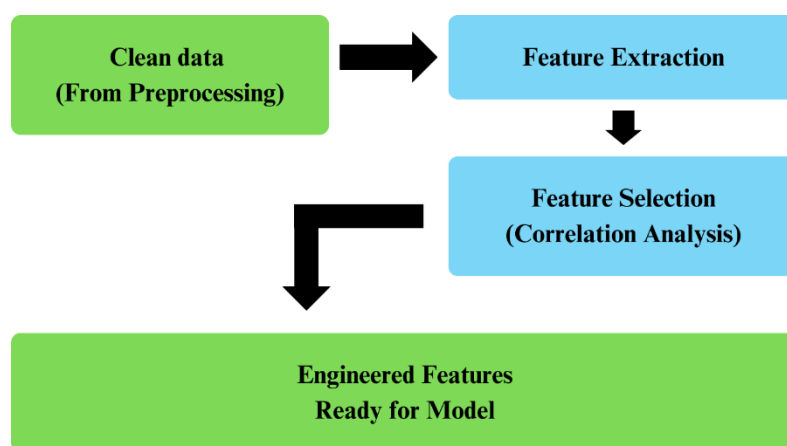


Figure 3 Feature engineering workflow.

4.2 Model development and training

The training dataset (80% of the data) was used to develop and train both Linear Regression (LR) and Radial Basis Function Network (RBFN) models, with the remaining 20% for validation. While the LR model, trained using ordinary least squares (OLS), was computationally efficient, it struggled to handle non-linear relationships. In contrast, the RBFN model excelled at capturing non-linear dynamics with a Gaussian kernel as its radial basis function. Hyperparameter tuning for the RBFN, including the number of hidden nodes and kernel width, was conducted using grid search, as detailed in Table 3.

Figure 4 shows the RBFN model's convergence during training, with decreasing training and validation losses, demonstrating its strong generalizability.

Table 3 Hyperparameter optimization for RBFN.

Parameter	Value Range	Optimal Value
Number of Hidden Nodes	5 – 50	30
Kernel Width (σ)	0.1 – 2.0	1.0

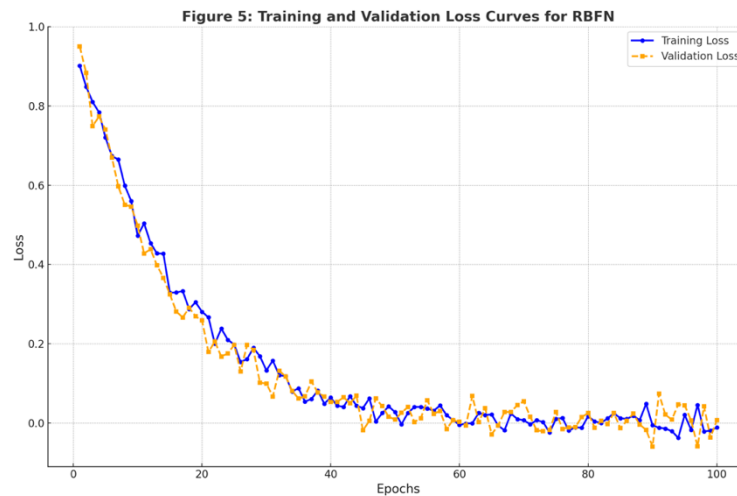


Figure 4 Training and validation loss curves for RBFN.

4.3 System integration

The AI models were deployed in a real-time monitoring system that streamed sensor data to a cloud-based server. Predictions were visualized on a dashboard, enabling operators to take corrective actions. This approach aligns with recent advances in predictive analytics and IoT-driven systems for industrial automation (Fan et al., 2021).

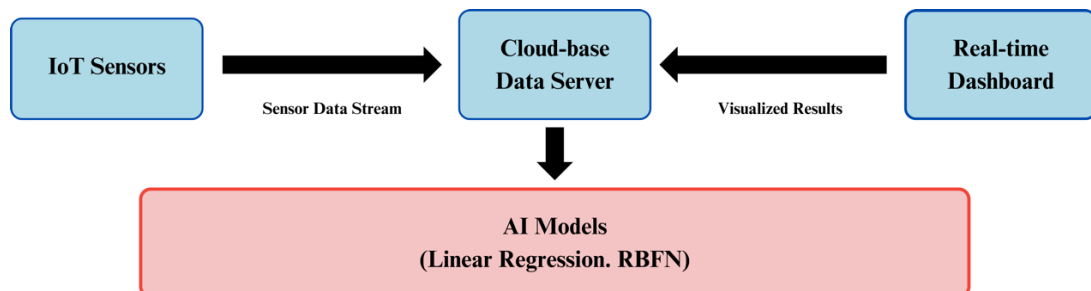


Figure 5 AI-powered monitoring system architecture.

4.4 Performance evaluation

To assess the system's effectiveness, post-deployment data demonstrated notable improvements in energy efficiency, emissions reduction, and product quality. Table 4 highlights a 21% decrease in energy consumption, an 18% reduction in CO₂ emissions, and significant enhancements in product yield and scrap rate.

Figure 6 below visually illustrates the reductions in energy consumption and CO₂ emissions before and after system optimization, further emphasizing the improvements achieved.

Table 4 Operational improvements post-deployment.

Metric	Pre	Post	Improvement (%)
Energy Consumption (kWh)	2100	1700	21
CO ₂ Emissions (kg)	2000	1600	18
Product Yield (%)	92	96	4.35
Scrap Rate (%)	8	4	50

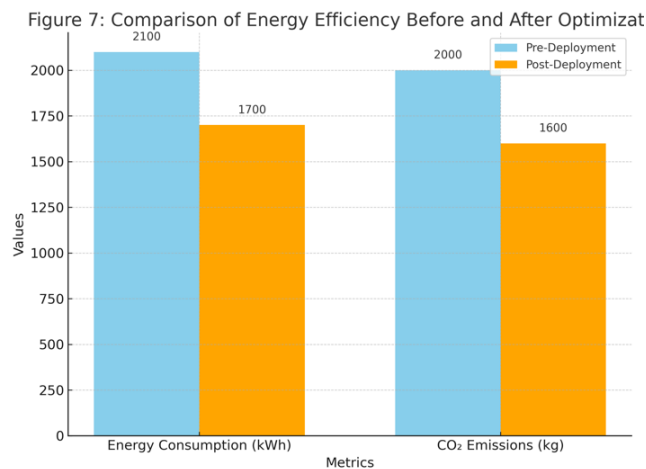


Figure 6 Comparison of Energy Efficiency Before and After Optimization.

5. Results and discussion

This section outlines the outcomes of AI-driven predictive analytics implemented in the Striko Aluminium Melting Furnace. The findings align with the study's objectives, highlighting significant improvements in energy efficiency, emissions reduction, product quality, and operational efficiency.

5.1 Energy efficiency and emissions reduction

The AI-driven system achieved a 21% reduction in energy consumption (from 2,100 kWh to 1,700 kWh) and an 18% decrease in CO₂ emissions (from 2,000 kg

to 1,600 kg) as depicted in Figure 7. These improvements were achieved through predictive adjustments that stabilized furnace operations and optimized fuel usage. These findings align with Objective 2.5: Sustainability and Cost Efficiency, showcasing reduced environmental impact and operational costs.

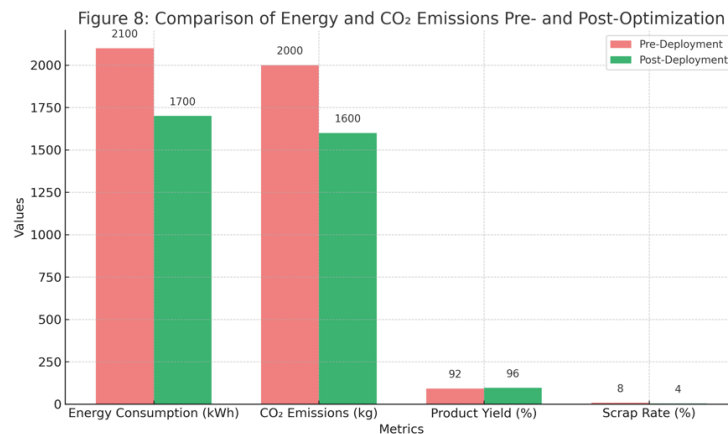


Figure 7 Comparison of energy and CO₂ emissions pre- and post-optimization.

5.2 Real-time monitoring and alerts

The real-time monitoring system provided live data visualization (e.g., temperature, gas flow, CO₂ emissions) and predictive insights, enabling operators to quickly address deviations. Automated alerts ensured timely intervention for issues like gas flow spikes, reducing defects and energy wastage. This supports Objective 2.2: Real-Time Monitoring Dashboard Design and highlights the system's role in improving decision-making efficiency. (Figure 8)

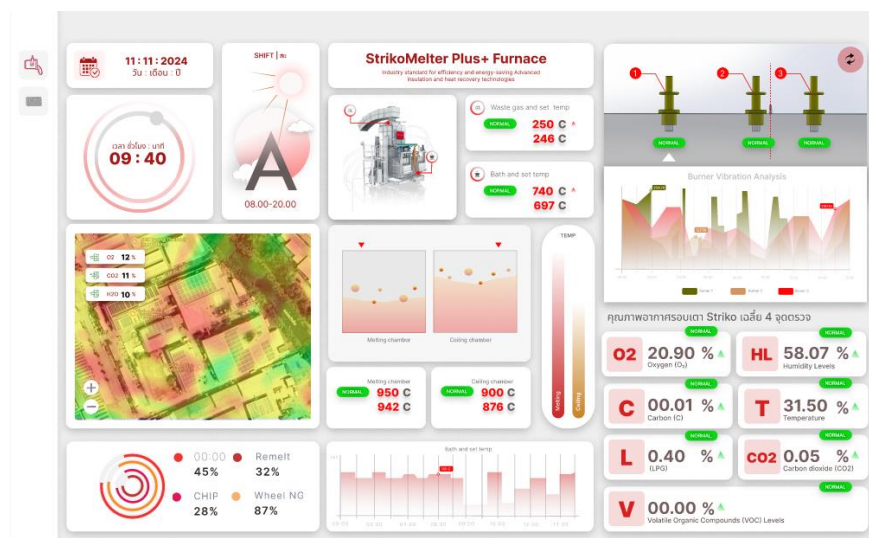


Figure 8 Real-time monitoring dashboard.

5.3 Product quality improvements

The implementation of predictive analytics led to a 4.35% increase in product yield (from 92% to 96%) and a 50% reduction in scrap rates (from 8% to 4%). These results reflect the ability of the AI system to stabilize furnace parameters, reducing temperature fluctuations and maintaining consistent quality. This aligns with Objective 2.4: Automated Alerts for Operational Efficiency, as shown in Table 5 and Figure 9.

Table 5 Improvements in product quality metrics.

Metric	Pre-Optimization	Post-Optimization	Improvement (%)
Product Yield (%)	92	96	+4.35
Scrap Rate (%)	8	4	-50

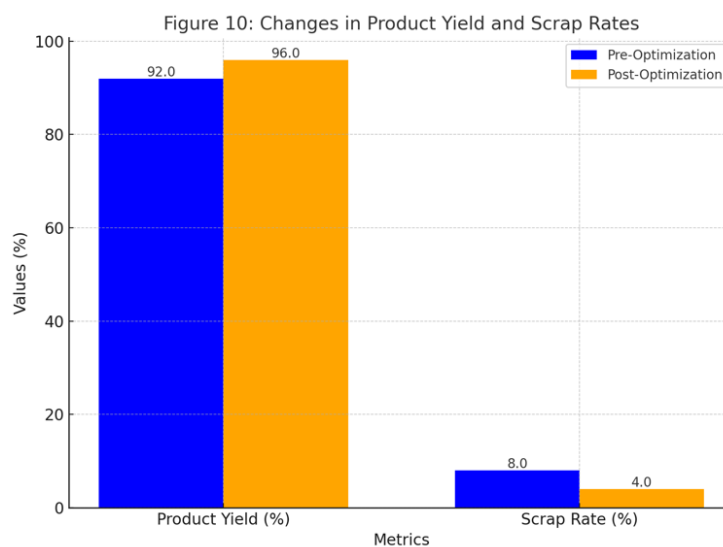


Figure 9 Changes in product yield and scrap rates.

5.4 Predictive model performance

The RBFN model significantly outperformed LR in predicting furnace parameters, achieving 92% prediction accuracy compared to LR's 78%. This precision enabled accurate adjustments to operational parameters, reducing inefficiencies and defects, directly supporting Objective 2.3: Model Comparison for Furnace Optimization. Key performance metrics are summarized in Table 2, while Figure 10 highlights the comparison.

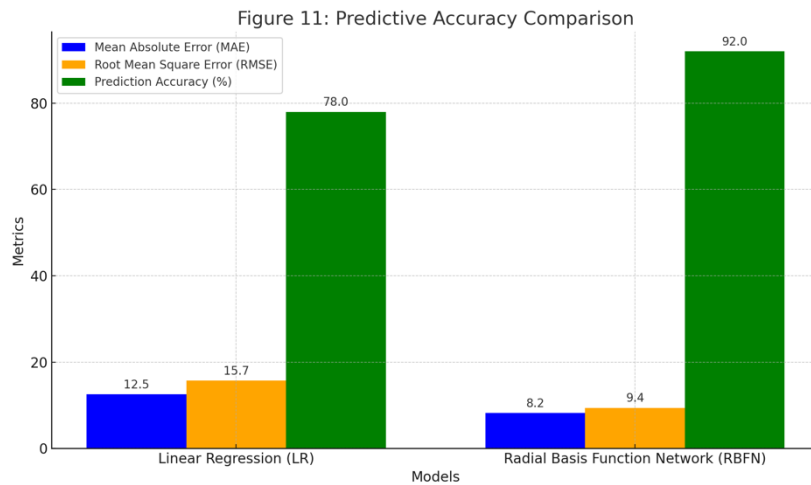


Figure 10 Predictive accuracy comparison.

5.5 Operational efficiency

Real-time analytics reduced downtime by 15% , streamlined decision-making, and improved resource utilization, meeting Objective 2.1: AI-Based Predictive Analytics System Development. The integration of actionable alerts and visual insights eliminated manual checks, enabling efficient operation adjustments, as depicted in Figure 11.

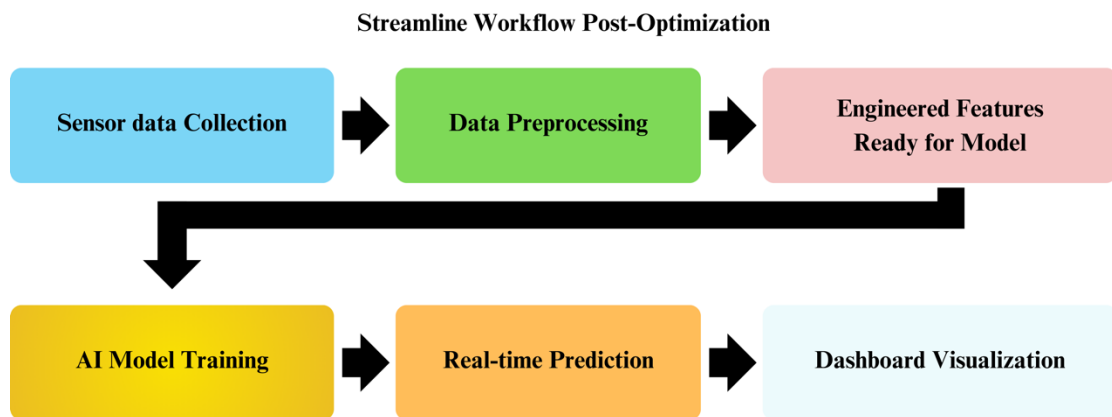


Figure 11 Streamlined workflow post-optimization.

6. Conclusion

The study highlights the transformative potential of AI-driven predictive analytics in revolutionizing the operations of the Striko Aluminium Melting Furnace. Through the integration of advanced machine learning models and real-time monitoring systems, the research successfully met its objectives. The development of an AI-based predictive system enabled precise forecasting of furnace parameters, while

the implementation of a real-time dashboard provided operators with actionable insights, enhancing decision-making processes.

The Radial Basis Function Network (RBFN) demonstrated its superiority over Linear Regression (LR), offering higher accuracy and effectively handling non-linear dynamics. Automated alerts further strengthened operational responsiveness, minimizing risks and inefficiencies. These advancements resulted in notable improvements: a 21% reduction in energy consumption, an 18% decrease in CO₂ emissions, and a 4.35% increase in product yield, aligning with global goals for sustainability and efficiency.

By addressing critical challenges, this study not only underscores the importance of AI in enhancing energy efficiency and product quality but also paves the way for sustainable industrial practices. Future endeavors should focus on scaling these methodologies to other industrial applications and integrating IoT technologies for enhanced analytics and connectivity, driving further innovation and sustainability in industrial processes.

7.References

- Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. *ACM computing surveys (CSUR)*, 41(3), 1-58.
- Chalapathy, R., & Chawla, S. (2019). *Deep learning for anomaly detection: A survey*. arXiv preprint arXiv:1901.03407.
- Fan, C., Chen, M., Wang, X., Wang, J., & Huang, B. (2021). A review on data preprocessing techniques toward efficient and reliable knowledge discovery from building operational data. *Frontiers in energy research*, 9, 652801.
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J., & Franklin, J. (2005). The elements of statistical learning: data mining, inference and prediction. *The Mathematical Intelligencer*, 27(2), 83-85.
- Pan, Z., Wang, Y., Wang, K., Chen, H., Yang, C., & Gui, W. (2022). Imputation of missing values in time series using an adaptive-learned median-filled deep autoencoder. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 53(2), 695-706.
- Williams, C. K., & Rasmussen, C. E. (2006). *Gaussian processes for machine Learning*. (Vol. 2, No. 3, pp. 4). Cambridge, MA: MIT press.
- Yang, W., & Zhang, S. (2014, August). A PDM System for Small and Medium Enterprises Based on. Net Framework. In *2014 Enterprise Systems Conference*. (pp. 24- 27). IEEE.

ภาคผนวก

ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการ วารสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง

เพื่อให้วารสารวิชาการวารสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง เป็นวารสารที่มีคุณภาพได้มาตรฐานทางกองบรรณาธิการจึงมีข้อกำหนดของวารสารดังต่อไปนี้

1. **วัตถุประสงค์ของวารสารวิชาการ** เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ในวารสารจะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยเผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่น ๆ การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้ส่งบทความโดยตรง

2. **ครอบคลุมสาขาที่เกี่ยวข้อง ดังนี้**

2.1 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์

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

2.3 สาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรม

3. **กำหนดออกวารสาร**

วารสารมีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม ด้วยระบบ Online: ThaiJo

4. **การพิจารณาบทความ**

4.1 การพิจารณาบทความ เลือกผู้ทรงคุณวุฒิจากกองบรรณาธิการตรงตามสาขาวิชาในพิจารณา 3 คน ต่อ 1 บทความ

4.2 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง กองบรรณาธิการพิจารณานำส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก 3 คน

4.3 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง กองบรรณาธิการพิจารณานำส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายในและหรือภายนอก โดยไม่เกี่ยวข้องกับเจ้าของบทความ 3 คน

4.4 กรณีผู้ส่งบทความ แก้ไขไม่เป็นไปตามกำหนดเวลา ที่กองบรรณาธิการแจ้งกองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์พิจารณา ยกเลิก กระบวนการเพื่อการตีพิมพ์

5. คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์

5.1 วิธีส่งบทความ เจ้าของบทความสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม และส่งต้นฉบับบทความ ในรูปแบบไฟล์ word และรูปแบบไฟล์ PDF ได้ที่ระบบออนไลน์ของวารสารวิชาการ <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/Itech>

5.2 รูปแบบบทความที่ส่งกองบรรณาธิการเพื่อตีพิมพ์

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย)

ชื่อเรื่อง (English)

ชื่อ นามสกุล^{1*}, ชื่อ นามสกุล² และ ชื่อ นามสกุล³ (ภาษาไทย)

ชื่อ นามสกุล^{1*}, ชื่อ นามสกุล² และ ชื่อ นามสกุล³ (ภาษาอังกฤษ)

^{1*} ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ โทรxxxxx โทรสารxxxxx E-mail: YYYYYY

² ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์

³ ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ (ภาษาไทย)

^{1*} ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ โทรxxxxx โทรสารxxxxx E-mail: YYYYYY

² ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์

³ ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ (ภาษาอังกฤษ)

วันที่รับบทความ XXXXXXXXXX

Received: XXXXXXXXXX

วันที่รับแก้ไขบทความ XXXXXXXXXX

Revised: XXXXXXXXXX

วันที่ตอบรับบทความ XXXXXXXXXX

Accepted: XXXXXXXXXX

บทคัดย่อ

บทความงานวิจัยต้องประกอบด้วยบทคัดย่อที่ระบุถึงความสำคัญของเรื่อง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษาและบทสรุป ในกรณีที่ต้นฉบับเป็นภาษาไทย ให้ผู้นิพนธ์เขียนบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 300 คำ ระบุคำสำคัญของเรื่อง (keywords) จำนวนไม่เกิน 5 คำ

คำสำคัญ: รูปแบบบทความ, ขนาดตัวอักษร, รูปแบบตัวอักษร

Abstract

An article of research to composes with abstract to specify importance of subject, object, method to study, result and summary. Both Thai and English abstracts are required. The length of each should not exceed 300 words. Also, the keywords should not be used more than 5 words.

Keywords: submission procedure, manuscript format, font size, font style, blank line

1. บทนำ

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือในการเขียนบทความฉบับเต็มสำหรับผู้ที่มีความประสงค์ในการส่งบทความเข้าตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพและเพื่อให้การจัดทำเอกสารเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผู้ที่ส่งบทความควรพิมพ์บทความตามรูปแบบและแนวทางที่กำหนดอย่างเคร่งครัด

2. เนื้อหาบทความ

วารสารฉบับเต็มควรประกอบด้วย ชื่อบทความ ชื่อและที่อยู่ของผู้เขียนบทความ บทคัดย่อ คำสำคัญ วัตถุประสงค์ เนื้อหาโดยสมบูรณ์ของบทความ กิตติกรรมประกาศ และเอกสารอ้างอิง โดยในส่วนของเนื้อหาของบทความ สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อหลัก หัวข้อย่อย และอาจแบ่งถึงหัวข้อย่อยลงมา ทั้งนี้ตัวอักษรทั้งหมดที่ใช้ในการพิมพ์ทุกส่วนให้ใช้ตัวอักษรแบบ TH SarababunPSK ขนาด 16 ตัวหนาทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ระยะระหว่างบรรทัดเป็นแบบบรรทัดเดี่ยว (Single Space) และแต่ละหน้าไม่ต้องมีการเติมหมายเลขหน้า

2.1 ขนาดและการตั้งค่าหน้ากระดาษ

ขนาดของกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์กำหนดให้มีขนาดมาตรฐาน A4 ($8\frac{1}{4} \times 11\frac{3}{4}$ นิ้ว) โดยกำหนดการตั้งค่าหน้ากระดาษดังนี้

ริมขอบกระดาษด้านบน	1.5	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านล่าง	1	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านซ้าย	1.5	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านขวา	1	นิ้ว

ความยาวโดยรวมของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้ากระดาษ

2.2 ชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียน

ในการพิมพ์ชื่อบทความให้พิมพ์ทั้งชื่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยใช้ตัวอักษรขนาด 20 พอยต์ พิมพ์เป็นตัวหนา โดยแต่ละคำในชื่อภาษาอังกฤษให้พิมพ์อักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ (ยกเว้น คำนำหน้านาม: articles, คำสันธาน: coordinate conjunctions และ คำบุพบท: prepositions นอกจากคำเหล่านี้จะถูกใช้นำชื่อเรื่อง) สำหรับชื่อผู้เขียนบทความให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 พอยต์ ในขณะที่ส่วนของที่อยู่ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12 พอยต์ โดยที่อยู่ควรประกอบไปด้วย

สำหรับบุคลากรภายใน มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ตำแหน่งทางวิชาการ สาขาวิชาที่สังกัด เบอร์โทรศัพท์เคลื่อนที่ และ E-mail ที่สามารถติดต่อได้ กรณีผู้เขียนมากกว่าหนึ่ง สามารถระบุที่อยู่ของผู้เขียนแต่ละคนโดยอาศัยตัวเลขที่พิมพ์แบบยกสูง (Superscript) ไว้หลังชื่อของผู้เขียนนั้น นอกจากนั้นควรมีการระบุชื่อผู้ติดต่อ (Corresponding author) โดยการพิมพ์เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้หลังชื่อ เฉพาะบรรทัดสุดท้ายของรายละเอียด ผู้ติดต่อให้ระบุ เบอร์โทรศัพท์ และ e-mail ของผู้ติดต่อ ทั้งชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียนให้พิมพ์ไว้กลางหน้ากระดาษ

สำหรับบุคลากร ภายนอก มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ ซึ่งสามารถระบุที่อยู่ของผู้เขียนแต่ละคนโดยอาศัยตัวเลขที่พิมพ์แบบยกสูง (Superscript) ไว้หลังชื่อของผู้เขียนนั้น นอกจากนี้ควรมีการระบุชื่อผู้ติดต่อ (Corresponding author) โดยการพิมพ์เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้หลังชื่อ เฉพาะบรรทัดสุดท้ายของรายละเอียดผู้ติดต่อให้ระบุ เบอร์โทรศัพท์ เบอร์โทรสารและ e-mail ของผู้ติดต่อ ทั้งชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียนให้พิมพ์ไว้กลางหน้ากระดาษ

3. บทคัดย่อและคำสำคัญ

การพิมพ์บทคัดย่อและคำสำคัญให้พิมพ์ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ และจัดรูปแบบอยู่ตรงกึ่งกลางของหน้ากระดาษ โดยให้พิมพ์ชื่อหัวข้อ “บทคัดย่อ” และ “Abstract” เป็นแบบตัวหนา

4. เนื้อหาของบทความ

บทความวิจัยควรประกอบด้วย บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหา นำไปสู่การศึกษา วัตถุประสงค์ วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Method) กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์และการทดลองที่กระชับและชัดเจน ผลการทดลอง (Results) บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน สรุปและอภิปรายผล (Discussion and Conclusion) อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมิน การตีความ และการวิเคราะห์ ในแง่มุมต่าง ๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลงานผู้อื่นอย่างไร ต้องมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุนหรือการหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผล และอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

ส่วนของเนื้อหาบทความ กำหนดตัวอักษรที่ใช้ในเนื้อหาให้มีขนาด 16 พอยต์ รวมถึงไม่ต้องการเว้นบรรทัดระหว่างย่อหน้า (ไม่ต้องเคาะบรรทัดเมื่อขึ้นย่อหน้าใหม่) สำหรับรูปแบบตัวอักษรที่ใช้ในการพิมพ์หัวข้อกำหนดดังนี้

4.1 หัวข้อหลัก

กำหนดให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ ตัวหนา ในการพิมพ์หัวข้อหลัก และให้พิมพ์ไว้ชิดริมซ้ายของคอลัมน์

4.2 หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา

กำหนดให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ ตัวหนา ในการพิมพ์หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา และให้พิมพ์ห่างจากริมซ้ายของคอลัมน์ 0.5 นิ้ว

5. รูปภาพ ตาราง และสมการ

5.1 รูปภาพและตาราง

การนำเสนอรูปภาพและตารางสามารถนำเสนอต่อจากข้อความที่กล่าวถึงหรืออาจนำเสนอภายหลังจากจบหัวข้อหรือนำเสนอในหน้าใหม่ ขนาดของรูปภาพและตารางไม่ควรเกินกรอบของการตั้งค่าน้ำกระดาษที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 2.1

ทั้งรูปภาพและตารางจะต้องมีคำอธิบายโดยคำอธิบายของรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพ และอยู่ชิดซ้ายของหน้ากระดาษ หากรูปภาพใดถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนให้มีการระบุคำอธิบายของแต่ละส่วนโดยอาศัยตัวอักษรภาษาไทยในวงเล็บเรียงตามลำดับเช่น (ก) และ (ข) ส่วนคำอธิบายตารางให้พิมพ์ไว้เหนือตารางและชิดริมซ้ายของกระดาษ โดยการเรียงลำดับรูปภาพและตารางให้แยกการเรียงลำดับออกจากกัน

ตารางข้อมูลที่น่าลงตีพิมพ์ ต้องพิมพ์ด้วย word เพื่อความคมชัดของตาราง เช่น

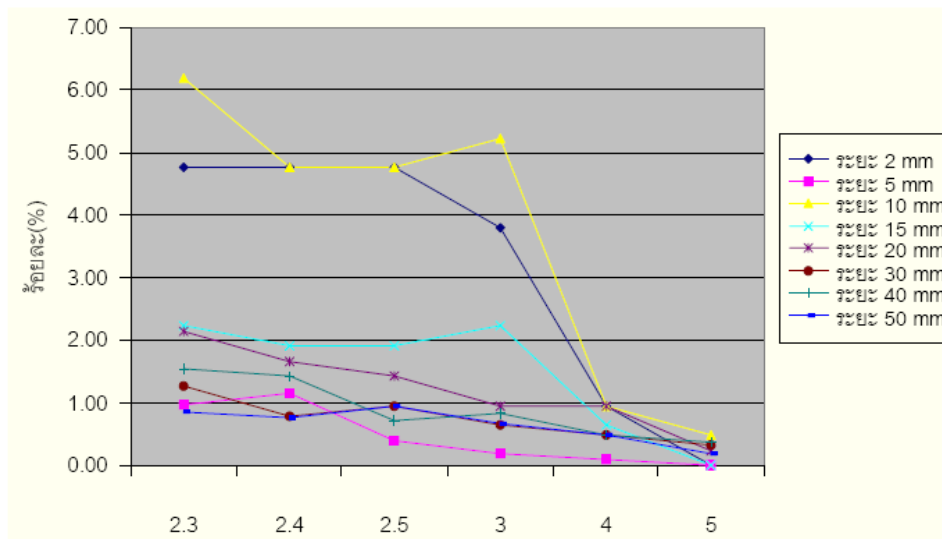
ตารางที่ 1 ตารางที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้อำนาจ
1)กระเบื้องดินเผาที่มีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม	1)กระเบื้องดินเผาที่มีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้อำนาจรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อยไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว
2)ข้อดีของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	2)กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพัก มีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้อำนาจอาจจะสะดุดเมื่อใช้งาน
	3)เนื่องจากความไม่แข็งแรงของกระเบื้องดินเผา เมื่อผ่านการใช้งาน หรือมีวัตถุตกกระทบ ทำให้กระเบื้องดินเผาแตก กะเทาะ หรือบิ่น ซึ่ง แสดงถึงความไม่ทนทานแข็งแรง

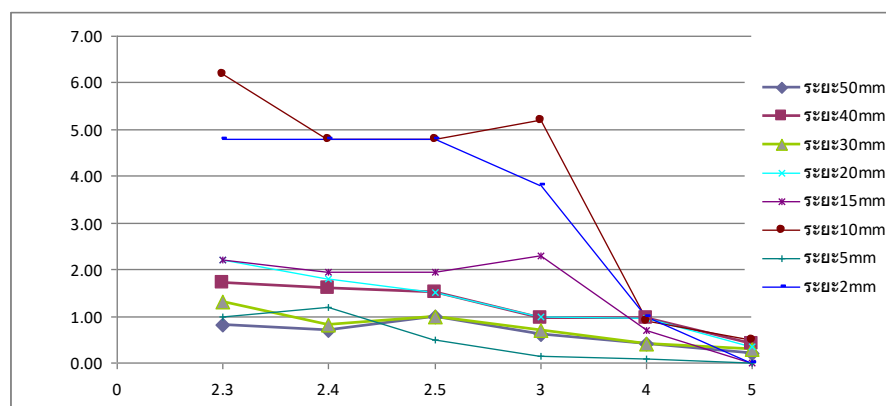
ตารางที่ 2 ตารางที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้อำนาจ
1) กระเบื้องดินเผาที่มีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม	1) กระเบื้องดินเผาที่มีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้อำนาจรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อยไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว
2) ข้อดีของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	2) กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพักมีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้อำนาจอาจจะสะดุด เมื่อใช้งาน

รูปภาพที่นำลงตีพิมพ์ ควรเลือกภาพที่เหมาะสมและคมชัดที่สุด

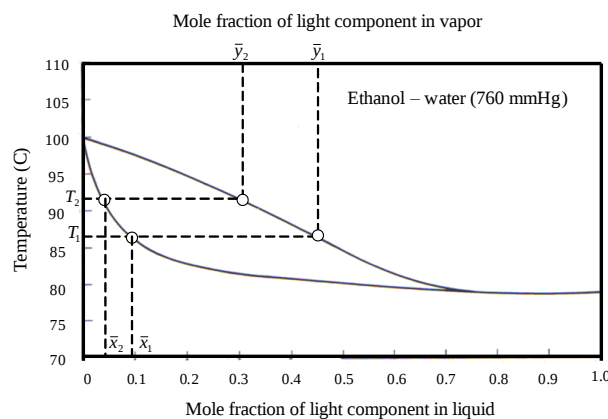


ภาพที่ 1 ภาพที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์



ภาพที่ 2 ภาพที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

การระบุหมายเลขลำดับรูปภาพและตารางในบทความให้ระบุเป็นรูปที่และตารางที่ เช่น ภาพที่ 1, ภาพที่ 1 - 3, ตารางที่ 1, ตารางที่ 1 - 3 เป็นต้น



ภาพที่ 1 แผนภาพสมดุลของของผสมไอ - ของเหลวที่มี 2 องค์ประกอบภายใต้สภาวะความดันคงที่

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำมันปิโตรเลียมในแต่ละภาคเศรษฐกิจ ๆ ของประเทศไทย (หน่วย: ล้านลิตร)

ภาคเศรษฐกิจ	ปี	
	2545	2546
1. เกษตรกรรม	3,509	3,827
2. เหมืองแร่	19	26
3. อุตสาหกรรม	4,821	4,937
4. ไฟฟ้า	703	757
5. การก่อสร้าง	169	172
6. ที่พักอาศัยและการพาณิชย์	2,729	2,792
7. คมนาคมขนส่ง	23,980	25,475
Total	35,930	37,986

5.2 สมการ

การเขียนสมการให้เขียนไว้กลางคอลัมน์และมีการระบุลำดับของสมการโดยใช้ตัวเลขที่พิมพ์อยู่ในวงเล็บ เช่น (1), (2) เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

หากต้องการเขียนกิตติกรรมประกาศเพื่อขอบคุณบุคคลหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถเขียนได้ โดยให้อยู่หลังเนื้อหาหลักของบทความและก่อนเอกสารอ้างอิง เช่น

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้เอื้อเฟื้อเอกสารและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานการจัดประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24

7. การอ้างอิง

ให้รวบรวมรายชื่อสิ่งพิมพ์และวัสดุความรู้ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นหลักฐานหรือเอกสารอ้างอิงในการศึกษาแทรกไว้ในเนื้อหาและท้ายบทความ โดยระบุเป็น 2 ภาษา คือ ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การอ้างอิงในเนื้อหา เป็นการวงเล็บระบุแหล่งที่มาอย่างกว้าง ๆ แทรกอยู่ในเนื้อหาของบทความวิชาการ ส่วนรายละเอียดที่สมบูรณ์ของแหล่งข้อมูลจะแสดงใน “เอกสารอ้างอิง” ในส่วนท้ายของบทความวิชาการ การอ้างอิงในเนื้อหาและท้ายบทความให้เป็นระบบ APA 7th

7.1 การลงรายละเอียดของการอ้างอิงในเนื้อหา

(ผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(ผู้แต่งคนแรก และผู้แต่งคนที่สอง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(ผู้แต่งคนแรก และคณะ, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(ผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, ไม่มีเลขหน้า)

(หน่วยงาน, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(นามแฝง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

7.2 การลงรายละเอียดของการอ้างอิงท้ายบทความ

ให้อ้างอิงรายการลำดับตามอักษรตัวแรกของผู้แต่ง ตามการเรียงลำดับตัวอักษรของพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน สำหรับรูปแบบการพิมพ์รายชื่อเอกสารอ้างอิงจากแหล่งต่าง ๆ กำหนดให้มีรูปแบบดังตัวอย่างต่อไปนี้

(1) บทความจากวารสาร (Journal)

Waszkiewics, S.D., Tierney, M.J. and Scott, H.S. (2009). Development of coated, annular fins for adsorption chillers, *Applied Thermal Engineering*, vol.29 (11-12), August 2009, pp. 2222 – 2227.

จักรกฤษณ์ นรมิตผดุงการ และ ทวี สอนมาลี. (2519). ความสามารถในการเงินของเทศบาลกรณีของเทศบาลนครกรุงเทพ ก่อนเปลี่ยนแปลงเป็นกรุงเทพมหานคร, *วารสารพัฒนบริหารศาสตร์*, 16, เมษายน 2519, หน้า 231 – 254.

(2) บทความจากเอกสารประกอบการประชุม (Proceedings)

Kato, S. and Widiyanto, A. (2001). Environmental Impact Assessment of Various Power Generation Systems, *paper presented in the Tri-University International Joint Seminar & Symposium 2001*, Chiang Mai, Thailand.

มารุต บุรพา, ญัฐนี วรยศ และทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2551). โมเดลอย่างง่ายของการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพความร้อนเสริม, *การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทน สู่ชุมชนแห่งประเทศไทย*, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

(3) รายงานทางวิชาการ / รายงานวิจัย

Division of Technical Services and Planning. (2003). *Chiang Mai City Municipality. Annual Report.*

จุฬาร ชาติช่วงนรินทร์, นลินี ตันธุนิตย์ และปัทมา เพ็ชรสิงห์. (2529). รายงานการวิจัยเรื่อง ประวัติศาสตร์หมู่บ้านคำม่วง, โครงการวิจัยระบบการทำฟาร์ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 54 – 57.

พรพิมล เกลิมพลานภาพ. (3535). พฤติกรรมการแสวงหาข่าวสารและการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารของบริษัทธุรกิจเอกชนที่มียอดขายสูงสุดของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วารสารศาสตร์ มหาวิทยาลัย คณวารสารศาสตร์และสื่อสารมวลชน. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

(4) หนังสือ

Myers, R.H. and Montgomery, D.C. (1995). *Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiments*, New York: John Wiley & Sons.

Goswami, Y.D., Kreith, F. and Kreider, J.F. (1999). *Principles of Solar Engineering*, 2nd edition. ISBN: 1-56032-714-6, Philadelphia: Taylor & Francis,

วิบูล วิจารณ์วิติ และกนกนาถ ชูปัญญา. (2525). *เคมีคลินิก*. กรุงเทพฯ: โครงการตำราศิริราช คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล.

(5) วิทยานิพนธ์

สุรจิตร ทิบัว. (2538). การศึกษาสภาพการใช้แหล่งชุมชนประกอบการสอนวิชาสังคมศึกษา ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น สังกัดกรมสามัญศึกษา ของจังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

Herbert-Cheshire, L. (1997). *Living by the sea*. Unpublished honours thesis, Central Queensland University, Rockhampton, QLD, Australia.

(6) เว็บไซต์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2554). “คู่มือการศึกษาปีการศึกษา 2554”. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.psu.ac.th/handbook/> สืบค้นเมื่อ 3 ธันวาคม 2554.

Brown, H. (1994). “Citing computer references”. [online], Available: <http://neal.ctstateu.edu/history/cite.html>. access on April 3, 1995.

(7) การสัมภาษณ์

ดิลก บุญเรืองรอด. (2543, กรกฎาคม 14). อธิการบดี, สถาบันราชภัฏสวนสุนันทา. สัมภาษณ์.

ตัวอย่างการอ้างอิงในเนื้อหา

(สุวิมล ตีรกานันท์, 2553) (Tirakanan, 2011)

ตัวอย่างการแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ

1.1 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็นหนังสือ

สุวิมล ตีรกานันท์. (2553). *การวิเคราะห์ตัวแปรพหุในงานวิจัยทางสังคมศาสตร์*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Tirakanan, S. (2011). *Multivariate variables analysis in social science research*. Bangkok: Chaulalongkorn University Printing House. (in Thai)

1.2 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็นบทความ

ปาน จินดาพล. (2557). การเป็นเจ้าของกิจการกับทัศนคติต่อความเสี่ยง. *วารสารนักบริหาร*, 34(1), 130-135.

Jindapon, P. (2014). Entrepreneurship and risk attitudes. *Executive Journal*, 34(1), 130-135. (in Thai)

สุวรรณ ลัคนวณิช. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล พฤติกรรมการใช้ชีวิต และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของ นักศึกษาที่ใช้ชีวิตในที่พักเอกชน ย่านรังสิต จังหวัดปทุมธานี. *BU Academic Review*, 13(1), 13-16.

Luckanavanich, S. (2014). Personal relationship, living behaviors, and academic achievement of university students in the private residence, rangsit area, Pathumthani. *BU Academic Review*, 13(1), 13-16. (in Thai).

1.3 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงข้อมูลจากเว็บไซต์

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2556). สถานการณ์การท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวชาวต่างประเทศเข้าในปี 2555. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2557.

Tourism Authority of Thailand. (2013). *Inbound foreign tourists situation in 2012*. [online], Available: http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php. access on February 9, 2014. (in Thai)

ท่านสามารถดาวน์โหลดรูปแบบบทความได้ที่ <http://www.journal.itech.lpru.ac.th>
หรือ ติดต่อสอบถามที่ **ผู้ประสานงาน** : รองศาสตราจารย์ธิติมา คุณยศยิ่ง โทร 0 5423 7399 ต่อ 1339
Tel.: 08 5525 1919 **E-mail:** journalitech@gmail.com / journalitech@hitmail.com

ปรับปรุงเมื่อ 19 ธันวาคม 2567