



Print ISSN 1906-0874 Online ISSN 2651-2130

วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

UTK RESEARCH JOURNAL

ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2567

Vol. 18 No.1 January - June 2024

วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

โทรศัพท์ 02 287 9600 ต่อ 3115

<https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/rmutk>



วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Rajamangala University of Technology Krungthep Research Journal

ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2567 Vol 18 No.1 January – June 2024

เจ้าของ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทร์มณี
ศาสตราจารย์ญาณวิทย์ ดร.อลงกลด แทนอมทอง
ศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ ชินณะราศรี
ศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ทิพย์ปรีภมาศ
ดร.สิริเบญจา กอวัฒนา
รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิระ ขอบจิตต์เมตต์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ บุตรดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายชล ชุตเจือจัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม ศิวาวุธ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ สงวนพวง
นางสาวประภาพร ร้อยพรมมา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
กรรมการสภามหาวิทยาลัยผู้ทรงคุณวุฒิ
กรรมการสภาวิชาการผู้ทรงคุณวุฒิ
กรรมการสภาวิชาการผู้ทรงคุณวุฒิ
กรรมการสภามหาวิทยาลัยผู้ทรงคุณวุฒิ
กรรมการสภามหาวิทยาลัยผู้ทรงคุณวุฒิ
ที่ปรึกษาอาวุโส
รองอธิการบดี
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

บรรณาธิการ

ดร.ดิเรก บุญธรรม

รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ จ้าวสุวรรณ

ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ตรีทศ เหล่าศิริหงส์ทอง
ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกพาลิน
รองศาสตราจารย์ ดร. ประสาท เนืองเฉลิม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล เย็นฤดี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ศรีน้อย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฟ้าใส วิวัฒน์วงศ์วนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวงษ์ สว่างศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุเทน คณะวาปี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประยูร สุรินทร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพัฒน์ พลอัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กอบศักดิ์ กาญจนางศ์กุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมลมาศ บำรุงเศรษฐพงษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิชัย จันทร์ฉาย
ว่าที่ร้อยตรี ดร.ชาญณรงค์ ตระกูลสรณคมนตรี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

เจ้าหน้าที่ประจำวารสาร

นางสาวเกตุวดี อุเทน
นางนาฏนภา จรรย์
นางสาวกนกวรรณ วอนเพียร
นางสาววันทนา ประณีธานธรรม
นายวีระวัฒน์ ราษฎร์สภา
นางสาวนุชนารถ สิมมาลา

นางวีไรรัตน์ ราษฎร์สภา
นางจันทนา สังข์อู่
นางสาวอัจฉรา จินดาจำนง
นายวันนิวัติ วันทนา
นางสาวพัชรินทร์ พัฒนโกครัตนา

บทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

ความเป็นมา

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ISSN 1906 - 0874 เป็นวารสารวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ โดยสถาบันวิจัยและพัฒนา ได้มีการจัดทำวารสารอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ พ.ศ. 2550 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งเป็นวารสารที่อยู่ในฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารไทย (TCI) กลุ่มที่ 2 ด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี โดยเผยแพร่เป็นราย 6 เดือน ซึ่งตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ (ฉบับละ 8 -12 บทความ) และมีการดำเนินงาน จัดพิมพ์บทความประเภทต่าง ๆ ได้แก่ บทความวิจัย (Research paper) และ บทความวิชาการ (Academic paper)

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ เป็นบทความที่สร้างองค์ความรู้ และมีคุณภาพในทางวิชาการสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการอ้างอิงได้ เพราะผ่านการพิจารณาถ่วงถ่วงและประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จากหลากหลายสถาบัน 3 ท่าน ซึ่งเป็นการประเมินแบบไม่แสดงชื่อผู้แต่งและผู้ประเมิน (Double blinded) ก่อนที่จะเผยแพร่สู่สาธารณชน จึงทำให้วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ เป็นวารสารวิชาการที่มีคุณภาพ

กองบรรณาธิการ วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ จัดทำวารสารเป็นรูปเล่มฉบับสมบูรณ์และเผยแพร่ให้กับสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ทั่วประเทศไทย นอกจากนี้ยังสามารถสืบค้นเพื่ออ้างอิงหรืออ่านบทความที่เปี่ยมด้วยองค์ความรู้ได้ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk>

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research paper) และบทความวิชาการ (Academic paper) ที่มีคุณภาพของอาจารย์นักวิจัย นักวิชาการทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และสาขาต่าง ๆ ที่มีการบูรณาการข้ามศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย ได้แก่
 - 1.1. Environment Chemistry
 - 1.2 General Engineering
 - 1.3. Applied Mathematics
 - 1.4 Renewable Energy, Sustainability and the Environment
 - 1.5 Biomaterials

2. เพื่อส่งเสริมและเป็นกลไกการขับเคลื่อนงานวิจัย ทำให้เกิดผลงานวิจัยที่เข้าไปสู่การพัฒนาต่อภาคสังคม ชุมชน และนำไปประยุกต์ในการเรียนการสอนเพื่อต่อยอดและเกิดความเชื่อมโยงระหว่างงานวิจัย งานวิชาการ ซึ่งนำมาสู่การเกิดประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และตอบสนอง ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศไทย

นโยบายการรับบทความ

กองบรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพฯ มีความยินดีที่จะรับบทความจากอาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการทั้ง ภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ที่เขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ซึ่งผลงานที่ส่งมาขอตีพิมพ์ต้องไม่เคย เผยแพร่ในสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารอื่น

การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ และได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ

ข้อความที่ปรากฏอยู่ในแต่ละบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเล่มนี้ เป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียนแต่ละ ท่าน ไม่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพแต่อย่างใด ความรับผิดชอบด้านเนื้อหา และการตรวจร่างบทความแต่ละบทความเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน หากมีความผิดพลาดใด ๆ ผู้เขียนแต่ละท่านจะต้องรับผิดชอบบทความของตนเองแต่ผู้เดียว

กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์มิให้นำเนื้อหา หรือข้อคิดเห็นใด ๆ ของบทความในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพฯ ไป เผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาตจากกองบรรณาธิการ อย่างเป็นทางการเป็นลายลักษณ์อักษร ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็น ลิขสิทธิ์ของวารสาร

ผู้ประสงค์จะส่งบทความกรุณาอ่านรายละเอียดการส่งบทความที่คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความ ซึ่งได้ระบุไว้ในเล่มวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพฯ หรือ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk> และสามารถส่ง Online ได้โดยกรอกรายละเอียดให้ครบถ้วนในระบบการส่งบทความ Online หากต้องการ สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม ติดต่อได้ที่

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
เลขที่ ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
โทร. 0 2286 9600 ต่อ 3111 โทรสาร 0 2287 9684
E-mail: utk_research_journal@mail.rmutk.ac.th
www.rdi.rmutk.ac.th

กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 2 ฉบับ (ทุก 6 เดือนต่อฉบับ)
ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน
ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม

การเผยแพร่

เผยแพร่ผ่านระบบออนไลน์
<https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk>

สารบัญ

หน้า

- 1 ประสิทธิภาพของการทำนายจำนวนผู้ป่วยในจากโรคอ้วน
ด้วยทฤษฎีระบบเกรย์..... 1
Effectiveness of Forecasting the Number of Obese Inpatients
using Grey System Theory
วณิชชา วิวัฒน์บุตตรสิริ, วรราชธรา ธรรมชุต, วัฒนา ชยธวัช, ทวีช พรหมพิทักษ์กุล
- 2 การปฏิบัติการระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมสำหรับ
ระบบกักเก็บพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม..... 11
Implementation of Hybrid Photovoltaic Power Generation
Systems for Energy Storage Systems in Industrial Plants
ปพน งามประเสริฐ, ณรงค์พันธ์ รุ่งเจริญ, ชุมพล ศิริวัฒน์สิทธิ์
กันต์ วุฒิพฤษ, สาคร วุฒิพัฒนพันธ์, นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ
- 3 ความสามารถในการกำจัดโลหะ และโลหะหนัก จากน้ำบาดาล
ของถ่านกัมมันต์จากทางปาล์ม..... 22
Ability to Remove Metals and Heavy Metals from Groundwater of
Activated Carbon from Palm Frond
สุนารี บดีพงค์, พลชัย ขาวนวล, นพดล โพชกำเหนิด

สารบัญ

	หน้า
4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด..... Comparing the Performance of Machine Learning Models for Classifying Lung Cancer Patients ศวิตา ทองขุนวงศ์, ภัคพล สวัสดิ์กมล	33
5 อิทธิพลของรูปแบบการเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งของเหล็กหล่อโครเมียมสูง Fe-16Cr-2Mo ที่มีการเติมซิลิคอน..... Influence of Welding Sequence on the Hardness of High Chromium Cast Iron Fe-16Cr-2Mo adding Silicon กฤษฎ รุณรงค์, สำเนา โยธี, ปริญญวัฒน์ ทินบุตร, พิสิฐชัย โคสะสุ	43
6 การปรับปรุงกระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูปด้วยแนวคิดการผลิตแบบลีน..... Enhancing the Production Process of Knockdown House Through the Lean Manufacturing Concept ชลิตา อุดมรักษาสกุล, ชลากร อุดมรักษาสกุล, นิวัฒน์ชัย ใจคำ	55
7 การลดมูลค่าของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรทางการเกษตร..... Reducing Defect Value in the Agricultural Machinery Component Manufacturing Process นิวัฒน์ชัย ใจคำ, ชลิตา อุดมรักษาสกุล, ชลากร อุดมรักษาสกุล	68

สารบัญ

	หน้า
8 เครื่องคัดผลเชอร์รี่สายพันธุ์ไทยด้วยเทคนิครางเอียง.....	81
Thai Cherry Sorting Machine with tilt Rail Technique	
เพลิน จันทรสุยะ, วิวัฒน์ ทิพจร, ทักษิ หงษ์ทอง, เอกชัย ชัยดี, กุลพรภัสร์ ภราดรภิบาล, สุวิสา ทะยะธง, ทัชชกร ธรรมปัญญา	
9 บาล์มทำความสะอาดเครื่องสำอางจากสารสกัด	
เปลือกมะเขือเทศราชินี.....	90
Make-up cleansing balm with cherry tomato peel extract	
วรรณิสา แก้วบ้านกรุด, รินทร์ลดา มหาสถิตย์, กนิษฐา ส่วนโนลี, วรงค์พร รัตน์บุญ	
คำแนะนำสำหรับผู้เขียน.....	100

ประสิทธิผลของการทำนายจำนวนผู้ป่วยในจากโรคอ้วนด้วยทฤษฎีระบบเกรย์

Effectiveness of Forecasting the Number of Obese Inpatients using Grey System Theory

วนิชชา วิวัฒน์บุตริสิริ¹, วรรัชรา ธรรมชุต¹, วัฒนา ชยธวัช^{2*}, ทวิช พรหมพิทักษ์กุล¹
Wanitcha Wivudbutsiri¹, Wattara Thammachuto¹, Vadhana Jayathavaj^{2*},
Thawit Prompitukkul¹

¹สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี

²สาขาการแพทย์แผนไทย คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี

¹ Sports science and exercise, Faculty of Allied Health Sciences, Pathumthani University

² Thai Traditional medicine, Faculty of Allied Health Sciences, Pathumthani University

Corresponding author: 0819184467 Email: vadhana.j@ptu.ac.th

บทคัดย่อ

ภาวะอ้วนเป็นปัจจัยเสี่ยงของโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง ไขมันในเลือดสูง โรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและมะเร็ง จำนวนผู้ป่วยในจากโรคอ้วนในแต่ละปีแสดงถึงผลกระทบจากภาวะอ้วนโดยตรง การนำข้อมูลผู้ป่วยในจากโรคอ้วนจำนวน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) จากกองยุทธศาสตร์และแผนงาน สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุขมาทำการพยากรณ์ด้วยตัวแบบเกรย์ GM(1,1), GM(1,1) แบบขยาย (GM(1,1)E) และ GM(1,1) แบบขยายปรับค่าตามรอบ (GM(1,1)EPC) พร้อมทั้งทำคำนวณความแม่นยำ ผลปรากฏว่า GM(1,1)EPC ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดและมีความแม่นยำเมื่อเทียบกับข้อมูลในอดีตมากที่สุด โดยค่าพยากรณ์ของ ปี พ.ศ. 2565 คือ จะมีผู้ป่วยในจากโรคอ้วนถึง 49,952 คน เมื่อเทียบค่าจริงของปี พ.ศ. 2564 ที่ผ่านมามีเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.77 ซึ่งก็จะเป็นการคาดการณ์ขั้นสูง เพื่อให้มีการจัดเตรียมงบประมาณพร้อมรับผู้ป่วยในที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้น ส่วนตัวแบบ GM(1,1) และ GM(1,1)E กลับให้ค่าพยากรณ์ปี พ.ศ. 2565 เพียง 40,875 และ 40,082 คนตามลำดับ ต่ำกว่าปี พ.ศ. 2564 คือลดลงร้อยละ -7.72 และ -9.51 ตามลำดับ การเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะทำให้ทราบถึงประสิทธิผลของการใช้ตัวแบบเกรย์ในการพยากรณ์อนุกรมเวลาต่อไป

คำสำคัญ: จำนวนผู้ป่วยในโรคอ้วน, ทฤษฎีระบบเกรย์, ตัวแบบ GM(1,1)

ABSTRACT

Obesity is a risk factor for diabetes, high blood pressure, hyperlipidemia, cardiovascular disease, and cancer. The number of obese inpatients each year directly reflects the impact of obesity. The inpatient data on obesity for 10 years (2012–2021) from the Strategy and Planning

[1]

ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 มกราคม– มิถุนายน 2567

Received 22-05-2024

Revised 12-06-2024

Accepted 28-06-2024

Division, Office of the Permanent Secretary, Ministry of Public Health forecasted the obese inpatients in 2022 using gray models. GM(1,1), GM(1,1) expanded (GM(1,1)E), and GM(1,1) expanded and periodic correction (GM(1,1)EPC), and computed the accuracy. The result showed that GM(1,1)EPC had the lowest error and highest accuracy when compared to historical data. The forecast value for the year 2022 will be 49,952 obese inpatients, compared to the actual value of the year 2021, an increase of 12.77 percent, which would be a maximum forecast in order to prepare the budget for inpatients that is expected to be increased. The GM(1,1) and GM(1,1)E returned the forecast value for the year 2022 of 40,875 and 40,082 cases, respectively, which were lower than the year 2021 in percent by -7.72 and -9.51, respectively. Comparison with actual data from relevant agencies will reveal the effectiveness of using the gray model in future time series forecasting.

Keywords: The Number of Obese Inpatients, Grey System Theory, GM(1,1) Model

1. บทนำ

การพยากรณ์พื้นฐานมีสามประเภท ได้แก่ เทคนิคเชิงคุณภาพ (qualitative techniques) ใช้ข้อมูลเชิงคุณภาพ (เช่น ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ) และข้อมูลเกี่ยวกับเหตุการณ์พิเศษ และอาจนำอดีตมาพิจารณาหรือไม่ก็ได้ การวิเคราะห์อนุกรมเวลา และการฉายภาพ (time series analysis and projection) มุ่งเน้นไปที่ รูปแบบ และการเปลี่ยนแปลงรูปแบบทั้งหมด และอาศัยข้อมูลในอดีตทั้งหมด การใช้สมการคณิตศาสตร์ที่สอดคล้อง (fit) กับข้อมูลในอดีตแล้วใช้สมการนั้นทำนายไปข้างหน้า สามารถใช้ในการพยากรณ์ระยะสั้น (0-3 เดือน) ปานกลาง (3 เดือนถึง 2 ปี) และระยะยาว (มากกว่า 2 ปี) ได้ดี และแบบจำลองเชิงสาเหตุ (causal models) มีการพิจารณาข้อมูลอย่างละเอียดและเฉพาะเจาะจงอย่างมากเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ

ของระบบ ข้อมูลในอดีตก็มีความสำคัญต่อโมเดลเชิงสาเหตุ [1]

ทฤษฎีระบบเกรย์ (Grey Systems Theory) ในการวิเคราะห์อนุกรมเวลาและการฉายภาพเริ่มต้นจาก Jurong Deng เมื่อปี พ.ศ. 2525 เป็นวิธีการหาคำตอบกับข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์และมีจำนวนน้อยด้วยกลุ่มของสมการเชิงอนุพันธ์ ระบบที่มีทั้งข้อมูลที่ทราบและไม่ทราบถูกกำหนดให้เป็นระบบสีเทา (grey) ในความเป็นจริง ทุกระบบถือได้ว่าเป็นระบบสีเทาเพราะมีความไม่แน่นอนที่มาจากสัญญาณรบกวนจากทั้งภายในและภายนอกระบบทำให้ข้อมูลของระบบมีความไม่แน่นอนและจำกัดขอบเขตอยู่เสมอ ซึ่งยากที่จะแก้ปัญหาด้วยการใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น (Probability theory) และคณิตศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy mathematics) [2] ตัวแบบสีเทาหรือจะเรียกว่า ตัวแบบเกรย์ (Grey Model - GM)

[2]

ใช้ข้อมูลอย่างน้อย 4 รายการ เพื่อสร้างแบบจำลอง ดิฟเฟอเรนเชียลสำหรับกระบวนการเกรย์ (กระบวนการสโตแคสติกที่มีค่าตัวแปรขึ้น ๆ ลง ๆ เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา - a differential model for a grey process (a stochastic process whose amplitudes vary with time)) การพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาด้วยทฤษฎีระบบเกรย์สามารถใช้ได้กับวิทยาศาสตร์สิ่งมีชีวิตรวมถึงการทำนายสุขภาพและโรค [3, 4, 5]

การพยากรณ์อนุกรมเวลาในงานทางวิชาการนั้น มักจะแสดงถึงวิธีการทางคณิตศาสตร์ สถิติ สูตรการคำนวณรวมไปถึงการเขียนโปรแกรม หรือโปรแกรมสำเร็จภาพที่ใช้ แต่เมื่อพยากรณ์ไปแล้ว ผลงานเหล่านี้ส่วนใหญ่ไม่ได้กลับมาทวนสอบผลการทำนายกับค่าจริงที่เกิดขึ้น จากการทวนสอบผลการพยากรณ์จำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคหลอดเลือดสมองในประเทศไทยโดยใช้ทฤษฎีระบบเกรย์ จากข้อมูลสถิติสาธารณสุข เมื่อใช้ข้อมูลจำนวน 20 ปี จาก พ.ศ. 2539-2558 ตัวแบบ GM(1,1) Expanded & Periodic Correction (GM(1,1)EPC) สามารถทำนายอดีตได้แม่นยำถึงร้อยละ 99.99 โดยตัวแบบ GM(1,1) ทำนายจำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคหลอดเลือดสมองในปี พ.ศ. 2559 จำนวน 28,021 คน [6] การทำนายจำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคหัวใจขาดเลือดในประเทศไทยด้วยตัวแบบเกรย์ ใช้ข้อมูล 10 ปี จาก พ.ศ. 2549-2558 ตัวแบบ GM(1,1) และ GM(1,1)EPC ทำนายจำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคหัวใจขาดเลือด 19,990 คน และ 21,120 คน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (The Mean Absolute Percentage Error – MAPE) การทำนายข้อมูลจริงในอดีต ร้อยละ 4.69 และ 1.25

ตามลำดับ [7] การนำตัวแบบไปทำนายจำนวนผู้เสียชีวิตในปี พ.ศ. 2559 พบว่ามีรายงานผู้เสียชีวิตจากโรคหลอดเลือดสมอง และจากโรคหัวใจขาดเลือดจำนวน 31,685 คน และ 21,009 คน ตามลำดับ [8] การทำนายผู้เสียชีวิต พ.ศ. 2559 ผู้เสียชีวิตจากโรคหลอดเลือดสมองตัวแบบ GM(1,1) ทำนายผิดไปจากข้อมูลจริง (31685-28021)/31685 เท่ากับร้อยละ 12 ส่วนผู้เสียชีวิตจากโรคหัวใจขาดเลือดตัวแบบ GM(1,1) และ GM(1,1)EPC ทำนายผิดไปจากข้อมูลจริงร้อยละ 4.85 และร้อยละ -0.53 ตามลำดับ ดังนั้นทฤษฎีระบบเกรย์โดยเฉพาะตัวแบบ GM(1,1) จึงเป็นเครื่องมือทางเลือกนำไปใช้เป็นแนวทางในการพยากรณ์อนาคต

ภาวะอ้วนเป็นปัจจัยเสี่ยงของโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง ไขมันในเลือดสูง โรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและมะเร็ง นอกจากนี้การวิจัย พบว่าภาวะอ้วนลงพุงมีความสัมพันธ์กับภาวะต้านอินซูลิน ภาวะเบาหวานและโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด ภาวะอ้วนจึงทำให้ส่งผลให้สุขภาพลดลง จากการทำให้เกิดโรคเรื้อรัง มีผลต่อคุณภาพชีวิตและความสูญเสียทางเศรษฐกิจเนื่องจากเพิ่มค่าใช้จ่ายทางสุขภาพและการสูญเสียปีสุขภาวะจากภาวะพิการ และการตายก่อนวัยอันควร ดัชนีมวลกาย (body mass index) เป็นค่าที่คำนวณ เท่ากับ น้ำหนักตัวหน่วยเป็นกิโลกรัมหารด้วยความสูงหน่วยเป็นเมตร ยกกำลังสอง การแบ่งระดับค่าดัชนีมวลกาย (BMI) ตามเกณฑ์สากลขององค์การอนามัยโลก สำหรับประชากรในเอเชีย มีข้อเสนอจุดตัดในการแบ่งกลุ่ม BMI ที่ 23 kg/m² แสดงว่า เริ่มมีภาวะน้ำหนักเกิน และ 25 kg/m² แสดงว่าอ้วน สำหรับในรายงานการสำรวจสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกาย

ครั้งที่ 6 พ.ศ. 2562 – 2563 พบว่าประชาชนไทยอายุ 15 ปีขึ้นไป ร้อยละ 37.8 ในผู้ชาย และผู้หญิง ร้อยละ 46.4 มีภาวะอ้วน (BMI ≥ 25 kg/m²) [9] การอ้วนลงพุงเป็นองค์ประกอบหนึ่งของภาวะเมแทบอลิกซินโดรม (Metabolic syndrome) ซึ่งวินิจฉัยจาก ภาวะที่มี 3 ใน 5 ขององค์ประกอบดังนี้ 1) อ้วนลงพุง (รอบเอว ≥ 90 ซม. ในผู้ชาย, และ ≥ 80 ซม. ในผู้หญิง) หรือ BMI > 30 kg/m² 2) ความดันโลหิต $\geq 130/85$ mm Hg หรือเป็นโรคความดันโลหิตสูง 3) Impaired Fasting Glucose (FPG ≥ 100 mg/dL) หรือเป็นเบาหวาน 4) Triglyceride ≥ 150 mg/dL หรือกินยาลดไขมัน 5) HDL-C < 40 mg/dL ในชาย, และ < 50 mg/dL ในหญิง [10] การนำจำนวนประชากรอายุ 15 ขึ้นไปทั้งหมด เดือนธันวาคม 2564 มีทั้งหมด 55.29 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 84.20 [11] เมื่อนำมาประมาณการด้วยสัดส่วนภาวะอ้วนตามเพศจากการสำรวจ จะพบว่า มีผู้ตกอยู่ในภาวะอ้วน 23.36 ล้านคน

กลุ่มข้อมูลข่าวสารสุขภาพ กองยุทธศาสตร์และแผนงาน สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข (2564-2556) [12] ได้สรุปรายงานการป่วย ปี พ.ศ. 2564 ถึง 2556 มีข้อมูลรายงานการป่วยย้อนไปถึง พ.ศ. 2555 ก็พบว่า ในปี พ.ศ. 2564 มีผู้ป่วยในจากโรคอ้วน 44,297 คน (จากตารางที่ 1) อัตราการเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2563 ถึงร้อยละ 97.14 คือเพิ่มขึ้นเกือบ 1 เท่าตัว ขณะที่ก่อนหน้านี้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงจากปีก่อนหน้าตั้งแต้อัตรา -7.65 ถึง 37.63 เท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 1 ผู้ป่วยในจากโรคอ้วน 44,297 คนนี้ คิดเป็น 190.42 คนต่อ 100,000 คนของผู้ตกในภาวะอ้วน

การใช้การพยากรณ์อนุกรมเวลาเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยในจากโรค

อ้วนจากข้อมูลรายปีในอดีต ซึ่งทฤษฎีระบบเกรย์ได้พิสูจน์มาแล้วว่ามีความแม่นยำระดับหนึ่ง การมีข้อมูลการพยากรณ์ล่วงหน้าจะเป็นประโยชน์ในการวางแผนระบบสุขภาพของประเทศเพื่อเตรียมการรองรับจำนวนผู้ตกในภาวะอ้วน รวมไปถึงการรองรับผู้ป่วยในจากโรคอ้วนด้วย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยในจากโรคอ้วนในปี พ.ศ. 2565 จากข้อมูล พ.ศ. 2555 ถึง 2564 ด้วยทฤษฎีระบบเกรย์

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลจำนวนผู้ป่วยในจากโรคอ้วนในปี พ.ศ. 2555 ถึง 2564 รวบรวมจากกลุ่มข้อมูลข่าวสารสุขภาพ กองยุทธศาสตร์และแผนงาน สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข [12] จากตาราง จำนวนและอัตราผู้ป่วยใน (รวมทุกการวินิจฉัยโรค) ต่อประชากร 100,000 คน จำแนกตามเพศ และสาเหตุการป่วย (ตารางการป่วยตามบัญชีจำแนกโรคระหว่างประเทศ ฉบับแก้ไขครั้งที่ 10 : 298 กลุ่มโรค) โรคอ้วน คือรายการที่ 109 รหัส ICD-10 Obesity (E66) ดังแสดงในตารางที่ 1

2.2 การสร้างตัวแบบระบบเกรย์ (Grey Systems Modeling)

ตัวแบบระบบเกรย์ที่ใช้ในการศึกษา คือ ตัวแบบ GM(1,1) เป็นตัวแบบเริ่มต้น ตัวแบบขยาย (Expanded Forms of GM(1, 1) Model – GM(1,1)E) [2] และตัวแบบขยายปรับค่าตามรอบ

(GM(1,1) expanded with periodic correction Model - GM(1,1)EPC) [13]

ตัวแบบ GM(1,1)

สัญลักษณ์ที่แสดงอยู่ในรูปของเวกเตอร์ (vector) และ เมทริกซ์ (matrix)

ค่าข้อมูลจริงจำนวน n ค่า

$$X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$$

ค่าข้อมูลสะสมจำนวน n ค่า

$$X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$$

ค่าข้อมูลสะสมรายการที่ k

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, n$$

ค่าข้อมูลสะสมเฉลี่ยกับรายการก่อนหน้า

$$Z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n))$$

ค่าข้อมูลสะสมเฉลี่ยกับรายการก่อนหน้า รายการที่ k

$$z^{(1)}(k) = \frac{1}{2}(x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1))$$

, k = 2, 3, ..., n

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$$

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}$$

$$a = (B^T B)^{-1} B^T Y = [a \quad b]^T$$

M^T คือ เมทริกซ์ M ที่ทำการสลับตำแหน่งข้อมูลจากแถวเป็นสดมภ์ และสดมภ์เป็นแถว (Transpose)

M^{-1} คือ เมทริกซ์ผกผัน (Inverse Matrix) ของเมทริกซ์ M

สมการอนุพันธ์ของตัวแบบ GM(1,1)

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b$$

ค่าพยากรณ์สะสมรายการที่ k+1

$$x^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right)e^{ak} + \frac{b}{a}$$

ค่าพยากรณ์รายการที่ k+1

$$x^{(0)}(k+1) = (1 - e^{-a}) \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right) e^{-ak} + \frac{b}{a}, k = 1, 2, \dots, n$$

รายละเอียดสมการของตัวแบบ GM(1,1)E [2] และตัวแบบ GM(1,1)EPC [13] ซึ่งประกอบด้วยสมการจำนวนมากนั้น สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก [6] ดังนี้

ค่าความคลาดเคลื่อนรายการที่ k

$$\varepsilon^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) - x^{(0)}(k)$$

$$\varepsilon^{(0)}(k) \cong \frac{1}{2}a_0 + \sum_{i=1}^Z \left[a_i \cos\left(\frac{2\pi i}{T}\right) + b_i \sin\left(\frac{2\pi i}{T}\right) \right], k = 2, 3, \dots, n$$

$$T = n - 1, Z = \frac{(n-1)}{2} - 1$$

การปรับค่าด้วยอนุกรมฟูรีเยร์

$$P = \begin{bmatrix} 1/2 \cos\left(\frac{2\pi}{T}1\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{T}1\right) & \cos\left(\frac{2\pi}{T}2\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{T}2\right) & \dots & \cos\left(\frac{2\pi}{T}Z\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{T}Z\right) \\ 1/2 \cos\left(\frac{3\pi}{T}1\right) & \sin\left(\frac{3\pi}{T}1\right) & \cos\left(\frac{3\pi}{T}2\right) & \sin\left(\frac{3\pi}{T}2\right) & \dots & \cos\left(\frac{3\pi}{T}Z\right) & \sin\left(\frac{3\pi}{T}Z\right) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/2 \cos\left(\frac{n\pi}{T}1\right) & \sin\left(\frac{n\pi}{T}1\right) & \cos\left(\frac{n\pi}{T}2\right) & \sin\left(\frac{n\pi}{T}2\right) & \dots & \cos\left(\frac{n\pi}{T}Z\right) & \sin\left(\frac{n\pi}{T}Z\right) \end{bmatrix}$$

สมาชิกของเวกเตอร์ C

$$C = [a_0 \quad a_1 \quad b_1 \quad a_2 \quad b_2 \quad \dots \quad a_n \quad b_n]$$

$$C = (P^T P)^{-1} P^T \varepsilon^{(0)}$$

ค่าพยากรณ์รายการที่ k

$$x^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) - \varepsilon^{(0)}(k)$$

2.3 ความแม่นยำของตัวแบบ

ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (The Mean Absolute Percentage Error – MAPE)

รากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (The Root Mean Square Error - RMSE)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใกล้เคียงกว่า (The Closer the Correlation Coefficient - CC) ตัวแบบจะใช้พยากรณ์ได้ดี ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1

สัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพใกล้เคียงกว่า (The closer the coefficient of efficiency - CE)

ตัวแบบจะใช้พยากรณ์ได้สอดคล้องกับค่าจริงเมื่อมีค่าเข้าใกล้ 1

ทั้ง MAPE, RMSE, CC, และ CE มาจาก [14] ดังนี้

$$MAPE = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n \left| \frac{x(k) - x^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \right| \right) \times 100\%$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x(k) - x^{(0)}(k))^2}{n-1}}$$

$$CC = \frac{\sum_{k=2}^n (x^{(0)}(k) - \bar{x}^{(0)}(k))(x(k) - \bar{x}(k))}{\sqrt{\sum_{k=2}^n (x^{(0)}(k) - \bar{x}^{(0)}(k))^2 \sum_{k=2}^n (x(k) - \bar{x}(k))^2}}$$

$$CE = 1 - \frac{\sum_{k=2}^n (x^{(0)}(k) - x(k))^2}{\sum_{k=2}^n (x^{(0)}(k) - \bar{x}^{(0)}(k))^2}$$

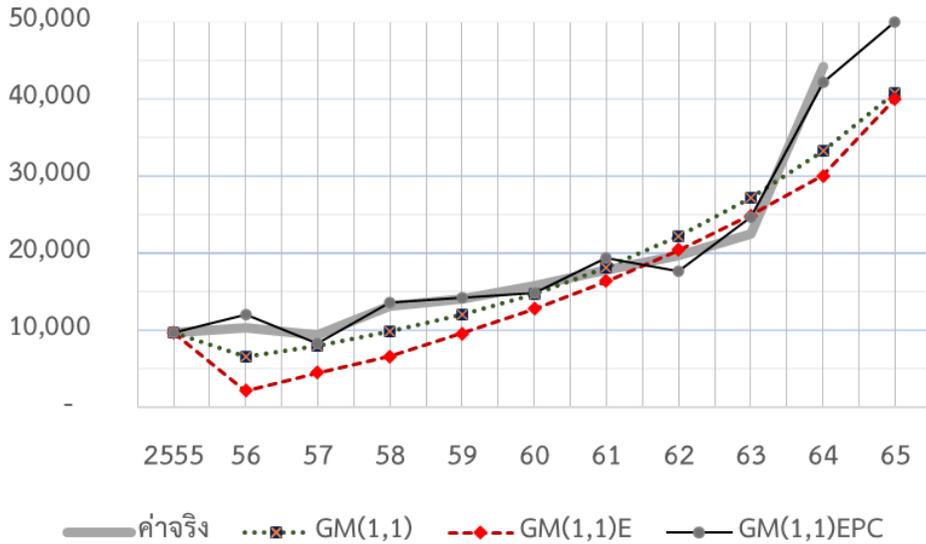
การประมวลผลได้ใช้โปรแกรมที่สามารถทำการคูณเมตริกซ์ ทำเมตริกซ์สลับเปลี่ยน และเมตริกซ์ผกผันได้ คือ โปรแกรม MICROSOFT Excel

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ป่วยในโรคอ้วน ค่าจริงและค่าพยากรณ์

พ.ศ.	ค่าจริง	+/- ร้อยละ			
		จากปีที่ผ่าน มา	GM(1,1)	GM(1,1)E	GM(1,1)EPC
2555	9,723	0.00	9,723	9,723	9,723
2556	10,296	5.89	6,547	2,205	12,074
2557	9,508	-7.65	8,024	4,538	8,280
2558	13,105	37.83	9,835	6,692	13,635
2559	14,090	7.52	12,055	9,661	14,322
2560	15,817	12.26	14,776	12,853	14,851
2561	17,911	13.24	18,111	16,437	19,495
2562	19,689	9.93	22,198	20,495	17,678
2563	22,470	14.12	27,208	24,955	24,665
2564	44,297	97.14	33,349	30,046	42,183
2565			40,875	40,082	49,952
ร้อยละความแตกต่างจากค่าจริง 2564			-7.72	-9.51	12.77

ตารางที่ 2 ความแม่นยำการทำนายของทั้งสามตัวแบบ

	GM(1,1)	GM(1,1)E	GM(1,1)EPC
MAPE	17.52	31.73	8.40
RMSE	4,482.36	6,427.27	1,555.62
CC	0.89	0.79	0.99
CE	0.80	0.58	0.98



ภาพที่ 1 จำนวนผู้ป่วยในโรคอ้วน ค่าจริง พ.ศ. 2555-2564 และค่าพยากรณ์ พ.ศ. 2555- 2565

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ค่าพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยในจากโรคอ้วน พ.ศ. 2565 จากตัวแบบ GM(1,1), GM(1,1)E, และ GM(1,1)EPC คือ 40,875, 40,082, และ 49,952 คน ตามลำดับ โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงจากค่าจริงในปี พ.ศ. 2564 เท่ากับร้อยละ -7.72, -9.51, 12.77 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนความคลาดเคลื่อนการทำนายของทั้งสามตัวแบบ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่ง GM(1,1)EPC มีค่าความแม่นยำดีกว่าอีกสองตัวแบบในทุกตัวชี้วัด ภาพที่ 1 แสดงกราฟเส้นของค่าจริงและค่าพยากรณ์

4. สรุปผลการวิจัย

ค่าความแม่นยำของการพยากรณ์ คือ MAPE, RMSE, CC และ CE ของ GM(1,1)EPC แสดงค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดและมีความแม่นยำสูงที่สุด เมื่อเทียบกับ GM(1,1) และ GM(1,1)E จากภาพที่ 1 จำนวนผู้ป่วยในจากโรคอ้วนมีแนวโน้มเพิ่ม

สูงขึ้น ตัวแบบ GM(1,1)EPC พยากรณ์ว่าจะมีผู้ป่วยในจากโรคอ้วนถึง 49,952 คน เมื่อเทียบค่าจริงของปี พ.ศ. 2564 ที่ผ่านมาเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.77 ซึ่งก็จะเป็นการคาดการณ์ขั้นสูง เพื่อให้มีการจัดเตรียมงบประมาณพร้อมรับผู้ป่วยในที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้น ส่วนตัวแบบ GM(1,1) และ GM(1,1)E กลับให้ค่าพยากรณ์ปี พ.ศ. 2565 เพียง 40,875 และ 40,082 คนตามลำดับ ต่ำกว่าปี พ.ศ. 2564 คือลดลงร้อยละ -7.72 และ -9.51 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการพยากรณ์ที่อาจจะทำให้ขาดแคลนงบประมาณในการเตรียมรับผู้ป่วยได้

อย่างไรก็ตาม นอกจากการใช้ข้อมูลเชิงปริมาณแล้ว การพยากรณ์ยังอาจต้องพิจารณาข้อมูลอื่นที่ส่งผลต่อการลดภาวะอ้วน และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญการพยากรณ์ร่วมด้วย การเปรียบเทียบค่าพยากรณ์กับข้อมูลจริงจะทำให้มีการ

เรียนรู้และนำไปสู่การพยากรณ์ที่ใกล้กับความจริงในอนาคตได้

นอกจากมีการพัฒนาตัวแบบ GM (1, 1) อย่างต่อเนื่องให้สอดคล้องกับรูปแบบแนวโน้มของข้อมูล เช่น การพยากรณ์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรายชั่วโมงในเมืองบันเดียวของไต้หวันมีการปรับค่าพยากรณ์ของตัวแบบ GM(1,1) ถึงเจ็ดรูปแบบ [15] ซึ่งควรมีการศึกษารายละเอียดเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chambers JC, Mullick SK, Smith DD. How to Choose the Right Forecasting Technique. Harvard Business Review. [Internet]. 1971 [cited 2023 October 9]. Available from: <https://hbr.org/1971/07/how-to-choose-the-right-forecasting-technique>
- [2] Liu S, Lin Y. Grey systems theory and application. Verlag: Springer; 2010.
- [3] Modal K, Pramanik S. The application of Grey System Theory in predicting the number of deaths of women by committing suicide - A case study. Journal of Applied Quantitative Methods. 2015;10(1):48-55.
- [4] Shen X, Ou L, Chen X, Zhang X, Tan X. The Application of the grey disaster model to forecast epidemic peaks of typhoid and paratyphoid fever in China. Plos ONE. 2013;8(4):e60601,1-6.
- [5] Zhang Z, Xu F. Measles trends dynamic forecasting model based on grey system theory. Management Science and Engineering. 2012;6(4):71-4.
- [6] Jayathavaj V, Pongpullponsak A. Forecasting the number of deaths from cerebrovascular diseases in Thailand using grey systems theory. Journal of Current Science and Technology. 2017; 7(2) :131–40.
- [7] วัฒนา ชยรัชช, อติศักดิ์ พงษ์พูลผลศักดิ์. การทำนายจำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคหัวใจขาดเลือดในประเทศไทยด้วยตัวแบบเกรย์. วารสารสาธารณสุขศาสตร์. 2560;47(2):177-88.
- [8] กลุ่มข้อมูลข่าวสารสุขภาพ กองยุทธศาสตร์และแผนงาน สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข. สถิติสาธารณสุข พ.ศ. 2559. นนทบุรี: กองยุทธศาสตร์และแผนงาน กระทรวงสาธารณสุข; 2560.
- [9] วิชัย เอกพลากร (บรรณาธิการ). รายงานการสำรวจสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกาย ครั้งที่ 6 พ.ศ. 2562 – 2563. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อักษรกราฟิกแอนด์ดีไซน์; 2564.
- [10] Alberti KGMM, Eckel RH, Grundy SM, et al. Harmonizing the Metabolic Syndrome—A Joint Interim Statement of the International Diabetes Federation Task Force on Epidemiology and Prevention; National Heart, Lung, and Blood Institute; American Heart Association; World Heart Federation;

[9]

- International Atherosclerosis Society; and International Association for the Study of Obesity. *Circulation*. 2009; 120:1640-5.
- [11] สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง. สถิติประชากรทางการทะเบียนราษฎร(รายเดือน): ประชากรรายอายุ. [อินเทอร์เน็ต]. ม.ป.ป. [สืบค้นเมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม 2566]. จาก <https://stat.bora.dopa.go.th/stat/statnew/statMONTH/statmonth/#/view>
- [12] กลุ่มข้อมูลข่าวสารสุขภาพ กองยุทธศาสตร์ และแผนงาน สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข. สรุปรายงานการป่วย ปี 2564 ถึง 2556. [อินเทอร์เน็ต]. 2567 [สืบค้นเมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม 2566]. จาก <https://spd.moph.go.th/illness-report/>
- [13] Lin YH, Chiu CC, Lin YJ, Lee PC. Rainfall prediction using innovative grey model with the dynamic index. *Journal of Marine Science and Technology*. 2013; 21(1):63-75.
- [14] Cheng K-S, & Lien, Y-T, Wu, Y-C, Su Y-F. On the criteria of model performance evaluation for real-time flood forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 2017 ;31:1-24.
- [15] Pai, TY., Ho, CL., Chen, SW. et al. Using Seven Types of GM (1, 1) Model to Forecast Hourly Particulate Matter Concentration in Banciao City of Taiwan. *Water Air Soil Pollut*. [Internet].

2011 [cited 2023 July 30]; 217:25–33.
Available from: <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0564-0>

การปฏิบัติการระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมสำหรับ ระบบกักเก็บพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม

Implementation of Hybrid Photovoltaic Power Generation Systems for Energy Storage Systems in Industrial Plants

ปพน งามประเสริฐ¹, ณรงค์พันธ์ รุ่งเจริญ¹, ชุมพล ศิริวัฒนสิทธิ์¹,
กันต์ วุฒิพฤษ¹, สาคร วุฒิพัฒน์พันธ์¹, นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ^{1*}

Papon Ngamprasert¹, Narongpun Rungcharoen¹, Chumpol Siriwatanasit¹,
Kan Voottipruex¹, Sakhon Woothipatanapan¹, Nattachote Rugthaicharoencheep^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand

*Corresponding author. E-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการปฏิบัติการระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมสำหรับระบบกักเก็บพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมเป็นระยะเวลา 6 เดือน กรณีศึกษาแบ่งออกเป็น 4 กรณี ได้แก่ 1. การเชื่อมต่อบริษัทผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน 2. การอัดและคายประจุระบบกักเก็บพลังงาน 3. โหลดกับความสัมพันธ์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน 4. โหลดสำรองกับความสัมพันธ์ของระบบกักเก็บพลังงาน ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานกำลังการผลิต 149.80 kWp ผลลัพธ์พบว่าโหลดเบ็คอัพเฉลี่ย คือ 4,793.42 kWh ผลลัพธ์พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานสัมพันธ์กับระบบกักเก็บพลังงาน สามารถจ่ายพลังงานให้แก่โหลดได้อย่างสมดุล

คำสำคัญ : ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม, ระบบกักเก็บพลังงาน, โรงงานอุตสาหกรรม

ABSTRACT

This article presents implementation of hybrid photovoltaic power generation systems for energy storage systems in industrial plants between May and October for a period of 6 months. The case study is divided into 4 cases. Case 1: connecting the hybrid solar power generation system. Case 2: charging and discharging the energy storage system. Case 3: the load and relationship of the hybrid solar power generation system. Case 4: the alternate load and energy storage system relationships. Integrated solar power generation system with capacity of

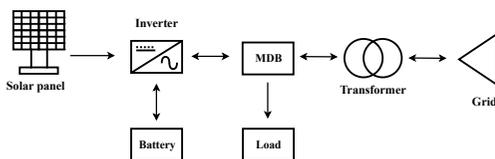
149.80 kWp. The average backup load is 4,793.42 kWh. The results show that the solar power generation system working together with the energy storage system can supply energy to the load in a balanced manner.

Keyword: Hybrid Photovoltaic Power Generation Systems, Battery Storage System, Industrial Plants

1. บทนำ

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานหรือระบบไฮบริดเป็นระบบไฟฟ้าที่มีแหล่งจ่ายไฟจากโซลาร์เซลล์ และแบตเตอรี่หรือระบบกักเก็บพลังงาน ข้อดี คือ เมื่อเกิดระบบขัดข้องจากระบบไฟฟ้าภายนอกโหนดที่ทำการสำรองพลังงานจะสามารถใช้งานต่อได้ระยะหนึ่ง (ขึ้นอยู่กับการออกแบบ) ซึ่งสามารถลดความเสียหายได้ ข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายสูง

อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งนำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์แปลงผันพลังงานแบบผสมผสาน (Hybride inverter) โดยสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กังหันลมผลิตไฟฟ้า และแบตเตอรี่ [1] ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด ดังแสดงในภาพที่ 1



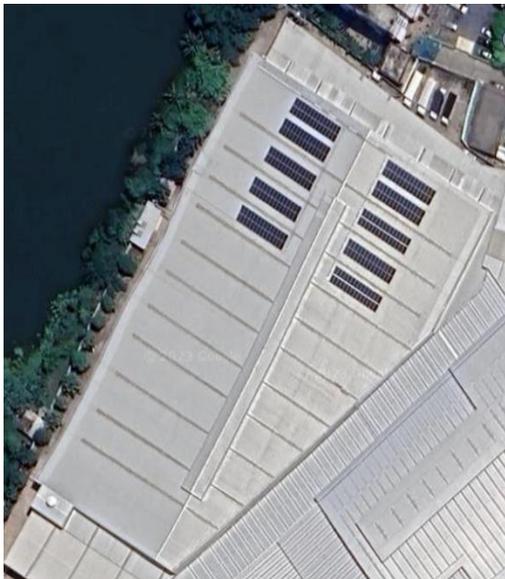
ภาพที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด

จากภาพที่ 1 ไฟฟ้ากระแสสลับที่แปลงจากอินเวอร์เตอร์สามารถนำไปใช้กับโหลดไฟฟ้า และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า

Robert Matkowski, Marcin Jaskólski และ Wojciech Pawlicki (2020) ศึกษาการใช้ระบบ PV-BESS แบบไฮบริดสำหรับพื้นที่ต่างๆ ทหด้านที่มีการวิเคราะห์ระบบ PV-BESS แบบไฮบริด ได้แก่ การปรับปรุงอายุการใช้งาน การวิเคราะห์การลงทุน, ขนาดที่เหมาะสมที่สุด การบรรเทาปัญหาคุณภาพไฟฟ้าต่างๆ การควบคุมระบบไฟฟ้าอย่างเหมาะสมที่สุดและการเปลี่ยนและลดโหลดสูงสุด วัตถุประสงค์เพื่อค้นหาศักยภาพของระบบในการใช้งานระบบไฟฟ้า และปรับปรุงการดำเนินงาน [2] ชัยมนต์ จันทร์พงศ์พันธ์ (2564) ศึกษาแนวคิดการพัฒนาโมเดลต้นแบบเพื่อนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้งานออกแบบระบบกักเก็บพลังงานให้เหมาะสมและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และโครงข่ายไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งและใช้งานจริงพัฒนาโมเดลการทำงานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานให้มีรูปแบบ Firm ที่ระยะเวลา 6 และ 12 ชั่วโมง ผลลัพธ์พบว่าการใช้งานร่วมกันที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง

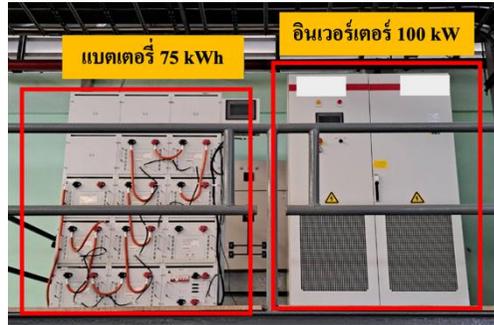
จะมีความเหมาะสมมากกว่าในกรณีที่ไม่มีการลงทุนระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มเติม [3]

ดังนั้นในบทความนี้จึงได้นำเสนอการปฏิบัติการระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานกำลังการผลิต 149.80 kWp ในโรงงานอุตสาหกรรม ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ และระบบกักเก็บพลังงาน ดังแสดงในภาพที่ 3

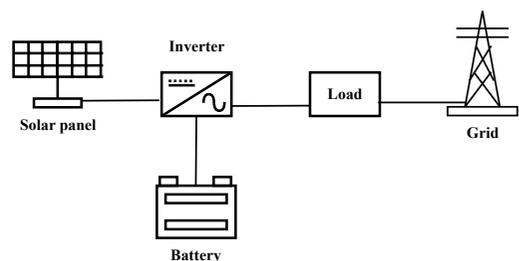


ภาพที่ 3 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ และระบบกักเก็บพลังงาน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

การนำพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งานผ่านแผงโซลาร์เซลล์ซึ่งต่อร่วมกับแบตเตอรี่สามารถช่วยแก้ปัญหาแรงดันตกในระบบไฟฟ้าได้ การเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงานเข้ากับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงานเข้ากับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ [4]-[6] เป็นพลังงานหมุนเวียนที่ปลอดภัย สะอาด และใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยการแปลงพลังงานจะเริ่มเมื่อมี

แสงตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานโฟตอนจะถ่ายเทพลังงานให้กับพลังงานอิเล็กทรอนิกส์จนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอมทำให้เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจึงทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่

- อุณหภูมิ
- ทิศทางการรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์
- ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์
- ผลกระทบของสิ่งสกปรกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

2.3 ระบบกักเก็บพลังงาน

ข้อกำหนดสำหรับการป้องกันกระแสเกิน ต้องมีการป้องกันกระแสเกินตามที่กำหนดโดยผู้ผลิตแบตเตอรี่ และบริษัทที่เกี่ยวข้อง หากผู้ผลิตไม่ได้ระบุการป้องกันกระแสเกินไว้ ต้องปฏิบัติตามข้อ ก. และ ข. ต่อไปนี้ [7]

ก. การคำนวณกระแสลัดวงจร

$$I_{sc} = \frac{V_{oc}}{R_i} \quad (1)$$

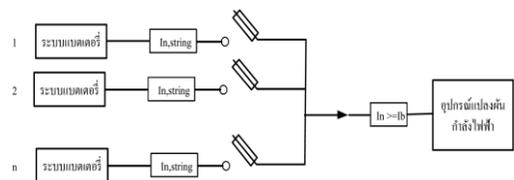
โดยที่ I_{sc} คือ กระแสลัดวงจรของเซลล์แบตเตอรี่ (Cell Short-Circuit Current) หน่วยแอมป์ (A)

V_{oc} คือ แรงดันเปิดวงจรของเซลล์ (Cell Open-Circuit Voltage) หน่วยโวลต์ (V)

R_i คือ ความต้านทานภายในเซลล์ (Cell Internal Resistance) หน่วยโอห์ม (Ω)

ข. การกำหนดขนาดการป้องกันกระแสเกิน

การเลือกขนาดพิกักสำหรับอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินสำหรับระบบแบตเตอรี่ย่อยแต่ละระบบ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ข้อกำหนดการป้องกันกระแสเกินสำหรับระบบแบตเตอรี่ต่อขนานกันที่จุดรวมหนึ่ง

จะต้องพิจารณาดังนี้ (เมื่อจำนวนแถวของแบตเตอรี่มากกว่า 1 แถว)

$$I_b = \frac{P_{PCE, AC}}{\eta_{PCE} \times V_{PCE, min}} \quad (2)$$

$$I_b = \frac{I_{n-1}}{n-1} \quad (3)$$

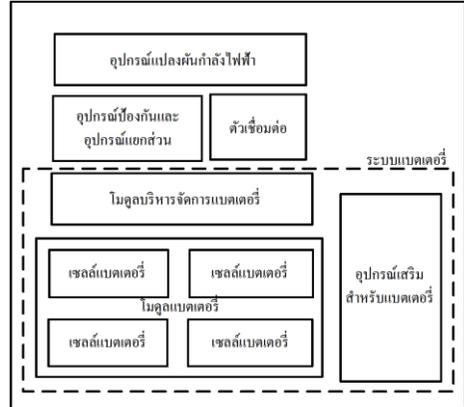
$$I_{n, string} \geq I_r \quad (4)$$

$$I_{n, string} \geq I_r \quad (5)$$

- โดยที่ I_b คือ พิกัดกระแสในการคายและประจุรวมของแบตเตอรี่หน่วยแอมป์
- I คือ พิกัดกระแสในการคายและประจุรวมของแบตเตอรี่ในแต่ละแถว หน่วยแอมป์
- $P_{PCE,ac}$ คือ กำลังไฟฟ้าขาออกของ PCE หน่วยวัตต์
- η_{PCE} คือ ค่าประสิทธิภาพของ PCE
- $V_{PCE,m}$ คือ ค่าแรงดัน DC ต่ำสุดของ PCE หน่วยโวลต์
- $I_{n,string}$ คือ ขนาดพิกัดกระแสของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินในแต่ละแถว (Current Setting of Protection Device) หน่วยแอมป์
- I_n คือ ขนาดพิกัดกระแสของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (Current Setting of Protection Device) หน่วยแอมป์
- n คือ จำนวนแถว (Sting) ของแบตเตอรี่ (ถ้า $n = 1, I_b = I_n$)

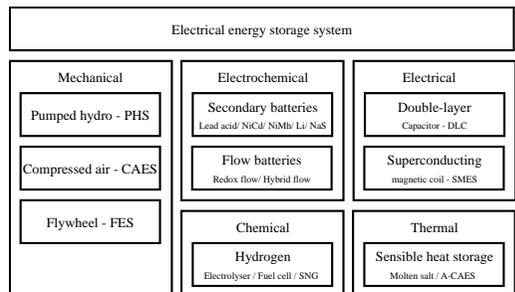
สำหรับค่าพิกัดกระแสลัดวงจรสูงสุด (Breaking Capacity) ของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่ากระแสลัดวงจรของเซลล์แบตเตอรี่ I_{sc}

รูปแบบทั่วไปของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ที่มีระบบแบตเตอรี่ประกอบด้วยโมดูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 รูปแบบทั่วไปของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ที่มีระบบแบตเตอรี่ประกอบด้วยโมดูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

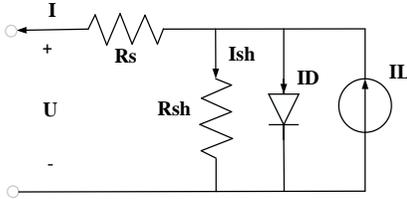
แผนภาพการจำแนกเทคโนโลยีการสะสมพลังงานในปัจจุบัน ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แผนภาพการจำแนกเทคโนโลยีการสะสมพลังงานในปัจจุบัน [8]

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองคงที่ของเซลล์แสงอาทิตย์
โดยวงจรไดโอด ดังแสดงในภาพที่ 8 [9]



ภาพที่ 8 แบบจำลองคงที่ของเซลล์แสงอาทิตย์โดย
วงจรไดโอด

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุต U
และกระแสไหลตสามารถกำหนดได้ดังนี้ [10]-[12]

$$I = I_L - I_D = I_L - I_O \left[\exp\left(\frac{U + RI_s}{\alpha}\right) - 1 \right] \quad (6)$$

- โดยที่
- I คือ กระแสไหลต
 - I_L คือ กระแสเซลล์แสงอาทิตย์
 - I_O คือ กระแสอ้อมตัว
 - U คือ แรงดันไฟฟ้าขาออก
 - R_s คือ ตัวต้านทานแบบอนุกรม
 - α คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิตั้ง
แรงดัน

2.5 ข้อมูลอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้า
พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
ข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงใน
ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ข้อมูล	ขนาด
Maximum power (Pmax)	535Wp
Maximum power voltage (Vmp)	40.63V
Maximum power current (Imp)	13.17A
Open-circuit voltage (Voc)	49.34V
Short-circuit current (Isc)	13.79A
Module efficiency STC (%)	20.75%

ข้อมูลอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลอินเวอร์เตอร์

ข้อมูล	ขนาด
Apparent power	110kVA
Rate power	100kW
Rate voltage	400V
Rate current	144A
Voltage range	360-440V
THDi	<3%
PF	0.8lagging-0.8leading

ข้อมูลระบบกักเก็บพลังงาน ดังแสดงใน
ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลระบบกักเก็บพลังงาน

Specification	Size
Rate capacity	200Ah
Rate energy	76.8kWh
Rate voltage	384V
Voltage range	336-438V
Normal charge/discharge	0.5C
Max charge/discharge	1C
Weight	<= 1060kg
Protection degree	IP 54

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

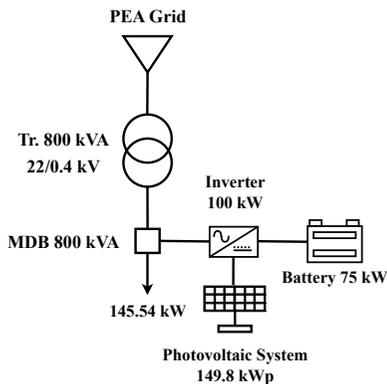
3.1 กรณีศึกษา

ในบทความวิจัยนี้ศึกษาการปฏิบัติการระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานสำหรับระบบกักเก็บพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมแบ่งออกเป็น 4 กรณีศึกษา ดังนี้

- กรณีที่ 1: การเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
- กรณีที่ 2: การอัดและคายประจุของระบบกักเก็บพลังงาน
- กรณีที่ 3: โหลดกับความสัมพันธ์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
- กรณีที่ 4: โหลดสำรองกับความสัมพันธ์ของระบบกักเก็บพลังงาน

3.2 ผลการวิจัย

กรณีที่ 1 การเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ตำแหน่งการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ตำแหน่งการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

จากภาพที่ 9 ระบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเชื่อมต่อที่ตู้ MDB ที่รับไฟจากหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 800 kVA ระดับแรงดันไฟฟ้า 22/0.4 kV

กรณีที่ 2 การอัดและคายประจุของระบบกักเก็บพลังงาน

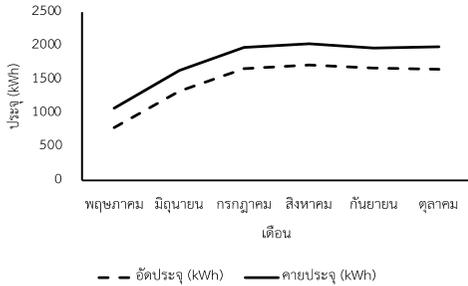
ผลลัพธ์การอัดประจุและคายประจุของระบบกักเก็บพลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์การอัดประจุและคายประจุของระบบกักเก็บพลังงาน

เดือน	อัดประจุ (kWh)	คายประจุ (kWh)
พฤษภาคม	789.00	1,075.90
มิถุนายน	1,329.50	1,638.60
กรกฎาคม	1,664.50	1,982.50
สิงหาคม	1,719.70	2,033.30
กันยายน	1,671.90	1,973.70
ตุลาคม	1,657.20	1,986.50
รวม	8,831.80	10,690.50

จากตารางที่ 4 การวิเคราะห์การอัดประจุและคายประจุของระบบกักเก็บพลังงานเป็นเวลา 6 เดือน (พฤษภาคม - ตุลาคม) การอัดประจุรวม 6 เดือน 8,831.80 kWh และการคายประจุรวม 6 เดือน 10,690.50 kWh

การเปรียบเทียบการอัดประจุและคายประจุของระบบกักเก็บพลังงาน ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบการอัดประจุและคายประจุของระบบกักเก็บพลังงาน

จากภาพที่ 10 ระบบกักเก็บพลังงานอัดประจุสูงสุดเดือนสิงหาคม (1,719.70 kWh) และอัดประจุต่ำสุดเดือนพฤษภาคม (789.00 kWh) ระบบกักเก็บพลังงานคายประจุสูงสุดเดือนสิงหาคม (2,033.30 kWh) และคายประจุต่ำสุดเดือนพฤษภาคม (1,075.90 kWh) ที่ข้อมูลการคายประจุสูงกว่าข้อมูลการอัดประจุเนื่องจากในแบตเตอรี่มีพลังงานเดิมอยู่ก่อนแล้ว (ที่แบตเตอรี่ใช้ไม่หมด) ดังนั้นการคายประจุจะสูงกว่า

กรณีที่ 3 โหลดกับความสัมพันธ์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบบผสมผสาน

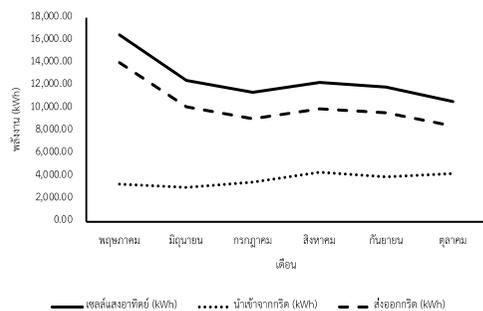
โหลดเฉลี่ยของโรงงาน คือ 145.54 kW ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานและกริด ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานและกริด

เดือน	จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)	นำเข้าจากกริด (kWh)	ส่งออกกริด(kWh)
พฤษภาคม	16,490.10	3,310.80	14,045.50
มิถุนายน	12,462.90	3,035.30	10,142.10
กรกฎาคม	11,427.30	3,495.40	9,102.60
สิงหาคม	12,288.90	4,379.80	9,960.50
กันยายน	11,879.00	3,925.60	9,590.40
ตุลาคม	10,588.20	4,209.10	8,426.50
รวม	75,136.40	22,356.00	61,267.60

จากตารางที่ 5 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รวม 6 เดือน 75,136.40 kWh นำเข้าจากกริดรวม 6 เดือน 22,356.00 kWh และส่งออกกริดรวม 6 เดือน 61,267.60 kWh

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานและกริด ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานและกริด

จากภาพที่ 11 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดเดือนพฤษภาคม (16,490.10 kWh) และอัดประจุต่ำสุดเดือนตุลาคม (10,588.20 kWh) นำเข้าจากกริดสูงสุดเดือนสิงหาคม (4,379.80 kWh) และคายประจุต่ำสุดเดือนมิถุนายน (3,035.30 kWh) ส่งออกกริดสูงสุดเดือนพฤษภาคม (14,045.50 kWh) และอัดประจุต่ำสุดเดือนตุลาคม (8,426.50 kWh)

กรณีที่ 4 โหลดกับความสัมพันธ์ของระบบกักเก็บพลังงาน

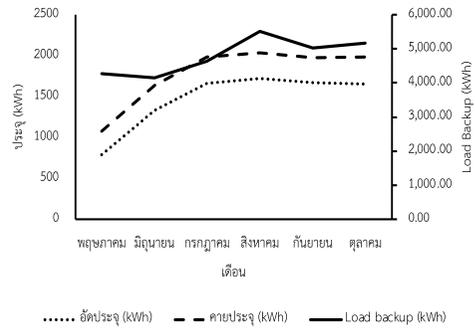
ผลลัพธ์โหลดกับความสัมพันธ์ของระบบกักเก็บพลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์โหลดกับความสัมพันธ์ของระบบกักเก็บพลังงาน

เดือน	โหลดสำรอง (kWh)	อัดประจุ (kWh)	คายประจุ (kWh)
พฤษภาคม	4,270.00	789.00	1,075.90
มิถุนายน	4,154.90	1,329.50	1,638.60
กรกฎาคม	4,631.20	1,664.50	1,982.50
สิงหาคม	5,519.20	1,719.70	2,033.30
กันยายน	5,025.20	1,671.90	1,973.70
ตุลาคม	5,160.00	1,657.20	1,986.50
รวม	28,760.50	8,831.80	10,690.50

จากตารางที่ 6 โหลดสำรองรวม 6 เดือน 28,760.50 kWh และการคายประจุรวม 6 เดือน 10,690.50 kWh

การเปรียบเทียบโหลดกับความสัมพันธ์ของระบบกักเก็บพลังงาน ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การเปรียบเทียบโหลดกับความสัมพันธ์ของระบบกักเก็บพลังงาน

จากภาพที่ 12 โหลดสำรองสูงสุดเดือนสิงหาคม (5,519.20 kWh) และโหลดสำรองต่ำสุดเดือนมิถุนายน (4,154.90 kWh) ระบบกักเก็บพลังงานคายประจุสูงสุดเดือนสิงหาคม (2,033.30 kWh) และคายประจุต่ำสุดเดือนพฤษภาคม (1,075.90 kWh)

4. สรุปผล

การปฏิบัติการระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมสำหรับระบบกักเก็บพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมเป็นระยะเวลา 6 เดือน โหลดสำรองเฉลี่ย คือ 4,793.42 kWh ระบบกักเก็บพลังงานอัดประจุเฉลี่ย 1,471.97 kWh ระบบกักเก็บพลังงานคายประจุเฉลี่ย 1,781.75 kWh ผลลัพธ์ว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานสัมพันธ์กับระบบกักเก็บพลังงานสามารถจ่ายพลังงานให้แก่โหลดได้อย่างสมดุล เต็มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ไม่มีช่วงเวลาที่ระบบขัดข้องส่งผลให้โรงงานลดค่าไฟฟ้าได้ตามเป้าหมาย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือในการจัดทำบทความนี้ซึ่งได้ช่วยให้บทความนี้สำเร็จ ลุล่วงอย่างสมบูรณ์

6. อ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายทอดและเผยแพร่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์.
- [2] Matkowski R, Jaskólski M, Pawlicki W. Operation of the Hybrid Photovoltaic-Battery System on the Electricity Market—Simulation, Real-Time Tests and Cost Analysis. *Energies*. 2020; 13(6).
- [3] ชัพนนต์ จันทรวงศ์พันธ์. การประยุกต์ใช้ระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสมาร์ตกริดเทคโนโลยี]. มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2564.
- [4] Canada AH. Solar voltaic generation power plants: 1000 MW to 10 kW photo voltaic plant design and application guide for the Pacific Northwest. IEEE Technical Applications Conference and Workshops. Northcon/95. Conference Record. 1995 October 10-12; Portland, OR, USA. 2002. P. 189-94.
- [5] Ngamprasert P, Rugthaicharoencheep N, Woothipatanapan S. Application Impro

vement of Voltage Profile by Photo Voltaic Farm on Distribution System. 2019 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI). 2019 October 16-18; Pattaya, Thailand. 2019. P. 98-101.

- [6] Ruangsap N, Nedphokaew S, Rugthai charoencheep N. Planning and Operation Enhanced Voltage Profile by Using Distributed Generators Installation in Distribution System with Feeder Reconfiguration. 2022 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI). 2022 October 19-21; Pattaya Chonburi, Thailand. 2022.
- [7] คณะกรรมการมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย : ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา, มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย : ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา พ.ศ. 2565.
- [8] Thakrit Panklib. ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES FOR RENEWABLE ENERGY. *Journal of Energy and Environment Technology*. 2022; 9(1): 103–117.
- [9] Nezhad OZ, Zadeh SAH, Mohammadian M. The analysis of hybrid system as DG in smart grids by the use of loss sensitivity coefficient method. 2013 Smart Grid Conference (SGC). 2013 December 17-18; Tehran, Iran. 2014. P. 246-251.

- [10] Carmona MC, Vega J, Olivares MC. Power flow algorithm for analysis of distribution networks including distributed generation. 2018 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition - Latin America (T&D-LA). 2018 September 18-21; Lima, Peru. 2018.
- [11] Boonthienthong M, Ngamprasert P, Rugthai charoencheep N, et al. The Mathematical Simulation Compared to Operations a Small Distributed Photovoltaic Power Plant in a Distribution System. RMUTP Research Journal, Vol.15, No. 2, July-December 2021; Bangkok, Thailand. 2021.
- [12] Rugthaicharoencheep N, Ngamprasert P, Ruangsap N, et al. Minimize the Customer Outage for Improved Reliability in Distribution System with Photovoltaic Distributed Generation. 2022 57th International Universities Power Engineering Conference (UPEC). 2022 August 30 - September 02; Istanbul, Turkey. 2022.

ความสามารถในการกำจัดโลหะ และโลหะหนัก จากน้ำบาดาลของถ่านกัมมันต์จากทางปาล์ม

Ability to Remove Metals and Heavy Metals from Groundwater of Activated Carbon from Palm Frond

สุนารี บดีพงษ์^{1*} พลชัย ขาวนวล² และนพดล โพชกำเหนิด²

Sunaree Bordeepong^{1*}, Palachai Khaonuan² and Noppadon Podkumnerd²

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดปัตตานี

¹ Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani

²สาขาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

²Department of General Education, Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla

*Corresponding author Email: sunaree.b@psu.ac.th

บทคัดย่อภาษาไทย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลพื้นที่ ต.บางเขียด อ.สิงหนคร จ.สงขลา ก่อนและหลังการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ทางปาล์ม โดยเตรียมถ่านกัมมันต์จากถ่านทางปาล์ม แล้วนำมากระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก เข้มข้น 85% เวลาในการกระตุ้น 6 ชั่วโมง อุณหภูมิ 400 °C อัตราส่วนโดยมวลของถ่านต่อปริมาตรกรดฟอสฟอริกเท่ากับ 1 : 3 และนำไปทดสอบการกรองน้ำบาดาล ผลการทดสอบในน้ำก่อนกรอง ความเข้มข้นของ Fe ในแหล่งน้ำ A และ B ต่ำกว่าค่าเกณฑ์อนุโลมสูงสุด (1.0 mg/L) ส่วน C และ D มีค่าสูงกว่าเกณฑ์อนุโลมสูงสุดคือ 2.330 และ 1.657 mg/L ตามลำดับ Mn ตรวจไม่พบในแหล่งน้ำ A ส่วนในแหล่งน้ำ B C และ D มีค่าสูงกว่าเกณฑ์อนุโลมสูงสุด (0.5 mg/L) เท่ากับ 1.589, 1.295 และ 0.964 mg/L ตามลำดับ Zn ในแหล่งน้ำบาดาล A B C และ D มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์อนุโลมสูงสุด (15 mg/L) ตรวจไม่พบ Cu Cd และ Pb ในแหล่งน้ำ A B C และ D หลังกรองความเข้มข้นของ Fe Mn Zn Cu Cd และ Pb เพิ่มขึ้นทุกแหล่ง ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วย SEM เมื่อกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกสภาพพื้นผิวด้านข้างจะเปลี่ยนไป ปริมาณกรดที่สูงเกินไปทำให้โครงสร้างรูพรุนถูกทำลายและสูญเสียความสามารถในการดูดซับ ส่วนบริเวณภาคตัดขวางไม่มีการทำปฏิกิริยา อีกทั้งผลการทดสอบ XRF พบ Fe Mn Cu ปนเปื้อนในถ่านทางปาล์ม มีผลให้น้ำบาดาลทั้ง 4 แหล่งมีปริมาณของโลหะ และโลหะหนักเพิ่มขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ทางปาล์ม

คำสำคัญ : ทางปาล์ม ถ่านกัมมันต์ การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล

ABSTRACT

The purpose of this research was to investigate the quality of groundwater in Bangkeiad Subdistrict, Singhanakhon District, Songkhla Province before and after the filtration with activated carbon from palm charcoal frond. Then it was activated with phosphoric acid,

[22]

ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 มกราคม- มิถุนายน 2567

Received	1-05-2024
Revised	20-06-2024
Accepted	28-06-2024

concentration 85%, activation time 6 hours, temperature 400 °C. The mass ratio of charcoal to phosphoric acid volume is 1 : 3 and used to test groundwater filtration. Test results in water before filtering Fe concentrations in water sources A and B were lower than the maximum allowance (1.0 mg/L), while C and D had values higher than the maximum allowable limit of 2.330 mg/L. and 1.657 mg/L, respectively. Mn was not detected in water source A, while in water source B, C, and D the values were higher than the maximum tolerance limit (0.5 mg/L) equal to 1.589, 1.295 and 0.964 mg/L, respectively. Zn in water sources A, B, C, and D had values lower than the maximum tolerance limit (15 mg/L). Cu, Cd, and Pb were not detected in water sources A, B, C, and D. After filtration, the concentrations of Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, and Pb increased at all sources. Results of surface characterization using SEM, when activated with phosphoric acid, the lateral surface condition changes. The acid content is too high, causing the pore structure to be destroyed and the adsorption capacity lost. The cross-sectional area, there was no reaction. Moreover, XRF test results found Fe Mn Cu contamination in palm charcoal. As a result, groundwater from all 4 sources contained trace amounts of metals and heavy metals increased after going through the palm frond activated carbon filtration process.

Keyword: palm frond, activated carbon, groundwater improvement

1. บทนำ

น้ำบาดาลบางแหล่งจะมีสารปนเปื้อนเช่น มี กลิ่นสนิม แก๊สไฮโดรเจน และมักมีสีที่แดงที่เกิดจากสนิม เหล็กอีกทั้งมีหินปูน แร่กาลีเนียม สารอื่นๆ ปะปน อยู่ด้วย ส่งผลต่อสุขภาพอนามัย ทำให้เครื่องสุขภัณฑ์ เกิดคราบสนิมและเสื้อผ้าเปรอะเปื้อน จากปัญหาที่ กล่าวมาในข้างต้น พื้นที่ ต.บางเขียด อ.สิงหนคร จ. สงขลา เป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบ สงขลา ได้ประสบปัญหานี้เช่นกัน น้ำบาดาลในพื้นที่ ต.บางเขียดประสบปัญหานี้เป็นสนิมเหล็ก มีกลิ่น เหม็น ทำให้อุปกรณ์บางอย่าง เช่น ท่อน้ำ เกิดคราบ สนิม จากการตรวจสอบของการประปาส่วนภูมิภาค เขต 5 พบว่าน้ำบาดาลบริเวณคาบสมุทรสทิงพระ อ. สิงหนคร เป็นสนิมและมีหินปูน [1]

การนำน้ำบาดาลมาใช้ในการอุปโภค บริโภค นั้นจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้ น้ำ บาดาลมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังตารางที่ 1 [2] การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลโดยการกรองเป็น ทางเลือกหนึ่ง สารที่ใช้ในการกรอง เช่น ทราย เรซิน ถ่านกัมมันต์ และดินเบา [3] ถ่านกัมมันต์เป็นหนึ่งใน ทางเลือกที่ใช้ในการกรองน้ำบาดาล โดยสามารถ กำจัดกลิ่น สี รส คลอรีน และโลหะหนักต่าง ๆ ได้ เนื่องจากมีอำนาจในการดูดซับสูง [4] วัสดุที่ใช้ใน การผลิตถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เป็นพวกอินทรีย์สารซึ่ง มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้ ยางพารา ไม้ไผ่ และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ แกลบ กะลามะพร้าว ซังข้าวโพด เป็นต้น [3]

การผลิตถ่านกัมมันต์ถูกแบ่งออกเป็นสอง ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการเผาเอาไต้สภาวะที่ไม่มี

[23]

แก๊สออกซิเจนเพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นถ่านหรือคาร์บอน (Carbonization) ขั้นตอนที่สองคือการกระตุ้น (Activation) เพื่อให้เกิดรูพรุนบนพื้นผิวของคาร์บอน ทำให้ได้ผลผลิตคาร์บอนที่โครงสร้างภายในเป็นรูพรุนมีพื้นที่ผิวสูง เรียกผลผลิตนี้ว่า “ถ่านกัมมันต์” การกระตุ้นแบ่งเป็นสองวิธี คือการกระตุ้นทางกายภาพ และการกระตุ้นทางเคมี สำหรับการกระตุ้นทางกายภาพ จะใช้ไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนการกระตุ้นทางเคมีจะจุ่มถ่านลงในกรดฟอสฟอริก ซิงค์คลอไรด์ โปแทสเซียมคาร์บอเนต หรือโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ [5] การกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีเป็นที่นิยมเนื่องจากกรดฟอสฟอริก และซิงค์คลอ

ไรด์ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำ และระยะเวลาในการกระตุ้นเร็วกว่าแบบกายภาพ ส่งผลให้ประหยัดพลังงานและต้นทุนต่ำ [6]

ปาล์มเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง และมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ทางปาล์มเป็นส่วนที่เหลือทิ้งที่มีปริมาณมากที่สุด แต่มีการนำกลับไปใช้งานน้อยที่สุด ซึ่งในแต่ละปีจะมีเหลือประมาณ 6.5 ล้านตัน [7] ซึ่งวัสดุเหล่านี้ถ้าปล่อยทิ้งเน่าสลายไปตามธรรมชาติจะมีโอกาสที่จะปล่อยแก๊สมีเทน ซึ่งทำให้เกิดมลพิษทางอากาศได้

ตารางที่ 1 มาตรฐานน้ำบาดาล

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดสูงสุด	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
ทางกายภาพ	ความเป็นกรด ด่าง (pH)	-	6.5-8.5	9.2
ทางเคมี	ปริมาณสารทั้งหมด	mg/L	500	1500
	เหล็ก (Fe)	mg/L	0.5	1.0
	แมงกานีส (Mn)	mg/L	0.3	0.5
	เหล็กและแมงกานีส	mg/L	0.5	1.0
	ทองแดง (Cu)	mg/L	1.0	1.5
	สังกะสี (Zn)	mg/L	5.0	15.0
	แคดเมียม (Cd)	mg/L	ต้องไม่มี	0.01
	ตะกั่ว (Pb)	mg/L	ต้องไม่มี	0.05

ที่มา: ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [2]

ตารางที่ 2 แหล่งน้ำบาดาลพื้นที่ ต.บางเขียด อ.สิงหนคร จ.สงขลา

แหล่ง	พิกัด		ที่ตั้ง	พื้นที่ใช้งาน	ประเภท
	N	E			
A	7°19'52"	100°26'53"	หมู่ 1	หมู่ 1	น้ำใต้ดิน
B	7°19'44"	100°25'37"	หมู่ 2	หมู่ 2	น้ำผิวดิน
C	7°21'18"	100°26'9"	หมู่ 3	หมู่ 3 และ 4	น้ำใต้ดิน
D	7°22'5"	100°25'51"	หมู่ 5	หมู่ 5	น้ำผิวดิน

ด้วยประเด็นของปัญหาดังที่กล่าวมานี้ คณะผู้วิจัยต้องการเตรียมถ่านกัมมันต์จากทางปาล์ม โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก เพื่อนำมาทดสอบความสามารถในการกำจัดโลหะ และโลหะหนักจากน้ำบาดาล ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 เก็บตัวอย่างน้ำบาดาลพื้นที่ ต.บางเขียด อ.สิงหนคร จ.สงขลา จำนวน 4 แหล่ง ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 1

2.2 การวิเคราะห์น้ำบาดาล

2.2.1 ตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลเบื้องต้น ดังนี้ สี pH และปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)

2.2.2 หาปริมาณโลหะ และโลหะหนักด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometer (AAS) Aanalyst 100, Perkin Elmer, USA โดยใช้เทคนิค Flame สำหรับธาตุ Fe Mn Zn และ Cu และ ใช้เทคนิค Graphite สำหรับธาตุ Cd และ Pb

2.2.2.1 นำตัวอย่างน้ำบาดาล 50 mL เทลงในบีกเกอร์ขนาด 200 mL

2.2.2.2 นำน้ำกลั่นใส่ในบีกเกอร์ เติมกรดไนตริก (HNO₃) 65% โดยปริมาตร

2.2.2.3 นำกรดไนตริก ที่ผสมกับน้ำ

กลั่น ไปเปอร์ต 5 mL ใส่ในตัวอย่างน้ำบาดาล

2.2.2.4 นำตัวอย่างน้ำบาดาลย่อยบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 300 °C โดยย่อยจนตัวอย่างใส

2.2.2.5 ปรับปริมาตรตัวอย่างน้ำบาดาลให้ได้ 50 mL ในขวดวัดปริมาตรโดยใช้น้ำกลั่นในการปรับ

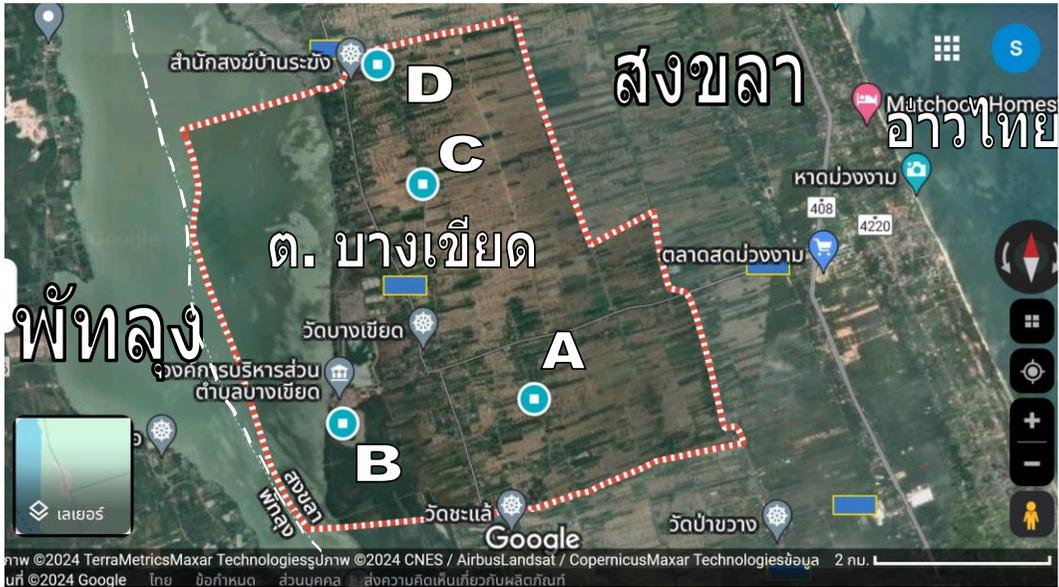
2.3 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากทางปาล์ม [8]

2.3.1 หาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรสภาพชีวมวลทางปาล์มให้กลายเป็นถ่านด้วย เครื่อง Thermo Gravimetric Analysis (TGA) TGA 7 , Perkin Elmer, USA

2.3.2 เผาทางปาล์มยาว 10 cm ให้กลายเป็นให้กลายเป็นถ่าน ที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

2.3.3 กระตุ้นถ่านทางปาล์มด้วยกรดฟอสฟอริก เข้มข้น 85% อัตราส่วนโดยมวลของถ่านต่อปริมาตรกรดฟอสฟอริก 1 : 3 อุณหภูมิ 400 °C เวลาในการกระตุ้น 6 ชั่วโมง

2.3.4 ล้างถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำกลั่นจนมีค่า pH คงที่ หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C นาน 24 ชั่วโมง บดถ่านกัมมันต์และนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh



ภาพที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งน้ำบาดาล ต.บางเขียด อ.สิงหนคร จ.สงขลา ดัดแปลงจาก Google Map [9]

2.4 ตรวจสอบลักษณะของถ่านกัมมันต์ทางปาล์ม

2.4.1 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) JSM-5800, JEOV, Japan

2.4.2 ศึกษาโครงสร้างผลึกด้วย X-rays Diffraction (XRD) X'Pert MPD, Philips, Netherlands

2.4.3 หาปริมาณธาตุในถ่านทางปาล์ม และ ถ่านกัมมันต์ทางปาล์ม ด้วย X-ray Fluorescence Spectroscopy (XRF) PW2400, Philips, Netherlands

2.5 การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล

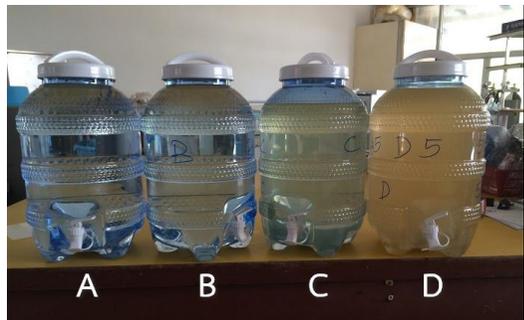
2.5.1 นำถ่านกัมมันต์ทางปาล์ม ใส่ในภาชนะทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm สูง 100 cm

2.5.2 เติมน้ำบาดาล ปริมาตร 1,000 mL ให้ไหลผ่านถ่านกัมมันต์ทางปาล์มที่บรรจุอยู่ในภาชนะ

ทรงกระบอก จากนั้นนำน้ำบาดาลที่ไหลผ่านถ่านกัมมันต์ทางปาล์มไปทดสอบโลหหนักด้วยเครื่อง AAS

3. ผลการทดลอง และอภิปรายผล/

3.1 คุณภาพน้ำบาดาล ต.บางเขียด อ.สิงหนคร จ.สงขลา ได้แก่ สี pH และปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) แสดงในภาพที่ 2 และตารางที่ 3



ภาพที่ 2 สีของน้ำบาดาลจากพื้นที่ ต.บางเขียดทั้ง 4 แหล่ง

ตารางที่ 3 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) และ ปริมาณ
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)

แหล่งน้ำ	pH	TDS (mg/L)
A	7.0±0.2	1,150±3
B	5.4±0.2	1,724±5
C	7.4±0.2	1,214±3
D	7.1±0.2	1,173±5

จากภาพที่ 2 น้ำจากแหล่ง A และ B จะมี
ลักษณะสีใส ในขณะที่น้ำจากแหล่ง C และ D มี
ลักษณะสีขุ่น โดย น้ำจากแหล่ง D มีลักษณะขุ่นที่สุด

จากตารางที่ 3 พบว่าค่าความเป็นกรดต่าง
ของแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง มีค่าความเป็นกรดต่าง เป็น
3 กลุ่ม คือ แหล่งน้ำที่เป็นกลาง คือแหล่งน้ำ A
(7.0±0.2) และแหล่งน้ำ D (7.1±0.2) แหล่งน้ำที่เป็น
เบสอ่อน คือแหล่งน้ำ C (7.4±0.2) และแหล่งน้ำที่
เป็นกรด คือแหล่งน้ำ B (5.4±0.2)

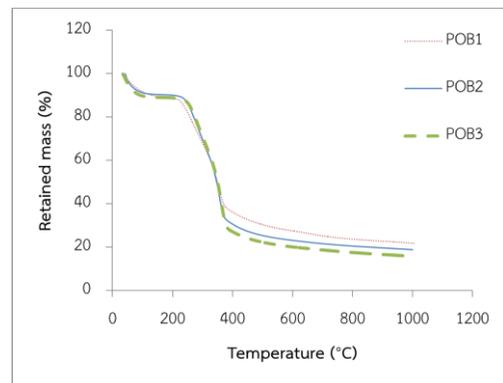
ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ของ
แหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง แหล่งน้ำ B มีปริมาณของแข็ง
ละลายน้ำทั้งหมดสูงสุด (1,724±5 mg/L) และมีค่า
เกินเกณฑ์อนุโลมสูงสุด [13] รองลงมาได้แก่แหล่งน้ำ
C (1,214±3 mg/L) แหล่งน้ำ D (1,173±5 mg/L)
และแหล่งน้ำ A (1,150±3 mg/L) ตามลำดับ

คุณภาพน้ำบาดาลแต่ละแหล่งแตกต่างกัน
เนื่องจากขณะที่ฝนตกลงมาบางส่วนหนึ่งจะไหลสู่ชั้น
ดินชั้นหินที่อยู่ลึกลงไปตามรอยแตกรอยแยกหินจนถึง
ชั้นหินอุ้มน้ำที่เป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาล ขณะที่
น้ำซึมผ่านชั้นดินชั้นหินจะมีการละลายเอาแร่ธาตุ
และสารเคมีในชั้นดินและหินลงไปด้วย สมบัติของน้ำ
บาดาลจึงขึ้นกับดินและหินบริเวณที่น้ำไหลซึมผ่าน

รวมถึงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเติบโตของชุมชน
เมือง อาจทำให้มีการปนเปื้อนของน้ำบาดาล [10]

3.2 ผลการตรวจสอบลักษณะถ่านกัมมันต์จากทาง
ปาล์ม ในงานวิจัยนี้ใช้ทางปาล์มที่เป็นเศษวัสดุเหลือ
ใช้มาเป็นวัตถุดิบในการเตรียมถ่านกัมมันต์ และปรับ
สภาพผิวทางเคมีด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก
เนื่องจากเป็นสารที่ได้รับความนิยม เพราะนำกลับมา
ใช้ใหม่ได้ และอุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำ [11]
นอกจากนี้กรดฟอสฟอริกยังเหมาะสำหรับการ
กระตุ้นวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร [7] ผลการทดสอบมี
ดังนี้

3.2.1 อุณหภูมิในการแปรสภาพชีวมวลทาง
ปาล์มให้กลายเป็นถ่าน โดยการวิเคราะห์ การสูญเสีย
มวลเมื่อได้รับความร้อน (TGA) แสดงดังภาพที่ 3

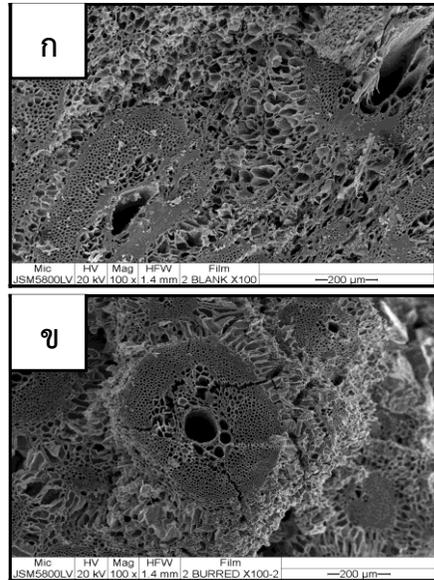


ภาพที่ 3 ผลทดสอบ TGA ของทางปาล์ม (POB1-3
ทดสอบซ้ำ 3 ตัวอย่าง)

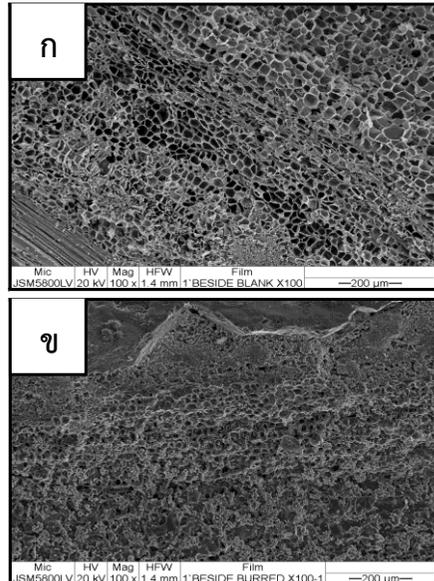
การสลายตัวของชีวมวลทาง
ปาล์มมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบระหว่าง
เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ
ลิกนินจะถูกละลายเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เศษของแข็ง
ที่เหลือคือ ชาร์ ซึ่งมีผลผลิต 10 – 25% ในช่วงการ
สลายตัวของปฏิกิริยาไพโรไลซิส ความชื้นจะระเหย

ก่อนที่อุณหภูมิ 100 - 110 °C หลังจากนั้นเฮมิเซลลูโลสจะสลายตัวที่อุณหภูมิ 200 - 260 °C ตามด้วยเซลลูโลสที่อุณหภูมิ 240 - 340 °C และลิกนินที่อุณหภูมิ 280 - 500 °C การสลายตัวของทั้งสามองค์ประกอบนี้ให้ผลิตภัณฑ์ คือ น้ำมัน ถ่าน และก๊าซ [12] อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเผาชีวมวลทางปาล์มอยู่ในช่วง 400 - 600 °C

3.2.2 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ก่อนและหลังกระตุ้นด้วย กรดฟอสฟอริก 85% เวลา 6 ชั่วโมง อุณหภูมิ 400 °C อัตราส่วนโดยมวลของถ่านต่อปริมาตรกรดฟอสฟอริก 1 : 3 แสดงในภาพที่ 4-5 บริเวณภาคตัดขวางก่อนและหลังกระตุ้นกรดฟอสฟอริก แสดงในภาพที่ 4 บริเวณพื้นผิวด้านข้างก่อนและหลังกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกแสดงในภาพที่ 5 โดยใช้กำลังขยาย 100 เท่า ซึ่งผลการตรวจสอบในภาพที่ 4 ถ่านทางปาล์มมีขนาดรูพรุนขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 100 μm รูพรุนขนาดกลาง เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 μm และรูพรุนขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 μm หลังการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ลักษณะพื้นผิวบริเวณภาคตัดขวางยังคงมีสภาพเดิม ส่วนพื้นผิวบริเวณด้านข้าง แสดงในภาพที่ 5 พบร่องรอยการทำปฏิกิริยาของสารกระตุ้นกรดฟอสฟอริกและผิวถ่านสอดคล้องกับ [13] ซึ่งเตรียมถ่านกัมมันต์จากทางจาก โดยผลการถ่ายภาพด้วยเทคนิค SEM สภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ทางปาล์มเมื่อผ่านการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกสภาพพื้นผิวด้านข้างจะเปลี่ยนไป แต่ปริมาณกรดสูงเกินไปทำให้โครงสร้างรูพรุนถูกทำลาย [14] ดังแสดงในภาพที่ 5 (ข)

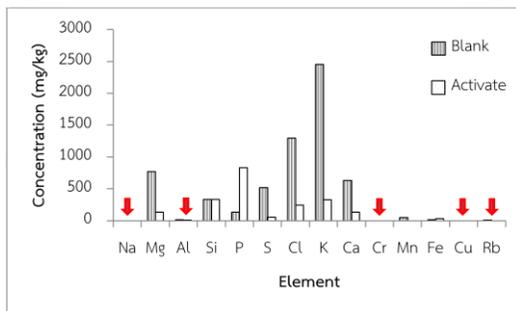


ภาพที่ 4 ภาพ SEM กำลังขยาย 100 เท่า พื้นผิวด้านภาคตัดขวางของ (ก) ถ่านทางปาล์ม (ข) ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มหลังกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก 85%



ภาพที่ 5 ภาพ SEM กำลังขยาย 100 เท่า พื้นผิวด้านข้างของ (ก) ถ่านทางปาล์ม (ข) ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มหลังกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก 85%

3.2.3 ผลจากการศึกษากัมมันต์ด้วย X-ray Fluorescence (XRF) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในถ่านทางป่าลุ่ม และถ่านกัมมันต์ทางป่าลุ่มพบ Fe Mn และ Cu ในถ่านทางป่าลุ่ม และถ่านกัมมันต์ทางป่าลุ่มดังแสดงในภาพที่ 6 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ธาตุในถ่านทางป่าลุ่ม และถ่านกัมมันต์ทางป่าลุ่มพบว่าธาตุส่วนใหญ่มีปริมาณลดลงหลังก่อกัมมันต์ด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ยกเว้นธาตุ P เนื่องจากผู้วิจัยล้างกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ออกไม่หมด



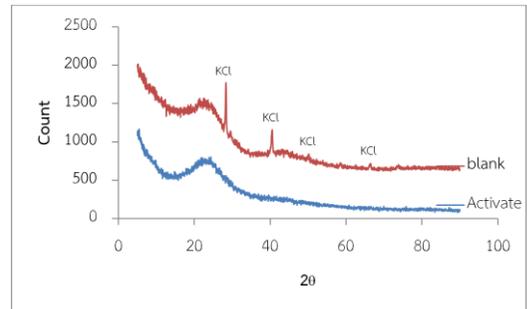
ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ธาตุในถ่านทางป่าลุ่ม และถ่านกัมมันต์ทางป่าลุ่ม

หมายเหตุ: LOQ = 1 mg/kg, ↓ < LOQ

3.2.4 ผลจากการศึกษากัมมันต์ด้วย X-ray Diffraction (XRD) ในภาพที่ 7 แสดงผลการทดสอบ XRD ของถ่านทางป่าลุ่ม และถ่านกัมมันต์ทางป่าลุ่มไม่พบโครงสร้างที่เป็นผลึกของ C แต่ตรวจพบผลึก KCl ในถ่านจากทางป่าลุ่มสอดคล้องกับผลการทดสอบ XRF ตรวจพบธาตุ K = 2,452 mg/kg และ Cl = 1,296 mg/kg และผลึกของ KCl ได้สลายตัวไปหลังจากก่อกัมมันต์ด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)

3.2.5 ลักษณะน้ำบาดาลก่อนกรอง และหลังผ่านการกรองโดยถ่านกัมมันต์ทางป่าลุ่ม หลังจากกรอง วิเคราะห์ธาตุ Fe Mn Zn Cu Cd และ Pb ด้วย

เครื่อง AAS แล้วนำมาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นกับน้ำบาดาลก่อนกรอง ผลดังตารางที่ 4



ภาพที่ 7 ผลการทดสอบ XRD ของถ่านทางป่าลุ่ม และถ่านกัมมันต์ทางป่าลุ่ม

จากตารางที่ 4 ความเข้มข้นของโลหะ และโลหะหนักในน้ำบาดาลก่อนกรอง และหลังกรองด้วยถ่านกัมมันต์ทางป่าลุ่ม ผลการทดลองรายงานเป็น mean ± S.D.

Fe หลังจากการกรองมีปริมาณที่สูงกว่าเกณฑ์ ซึ่งแหล่งน้ำ C และ D มีปริมาณของ Fe สูงกว่าเกณฑ์ตั้งแต่มานก่อนผ่านกระบวนการกรอง (1.0 mg/L)

Mn มีปริมาณที่สูงกว่าเกณฑ์หลังกรองด้วยถ่านกัมมันต์ทางป่าลุ่ม โดยที่แหล่งน้ำ B C และ D มีปริมาณ Mn สูงกว่าเกณฑ์ก่อนผ่านกระบวนการกรอง (0.5 mg/L)

Zn และ Cu ต่างมีปริมาณที่สูงขึ้นหลังจากกรองด้วยถ่านกัมมันต์ทางป่าลุ่ม แต่มีปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์ (15 และ 1.5 mg/L ตามลำดับ)

Cd มีปริมาณเพิ่มขึ้นทั้ง 4 แหล่ง หลังกรองด้วยถ่านกัมมันต์ทางป่าลุ่มโดยแหล่ง B และ D มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ (0.05 mg/L)

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นโลหะ และโลหะหนักในน้ำบาดาลก่อนกรองและหลังกรองด้วยถ่านกัมมันต์ทางปาล์ม

แหล่ง น้ำ	ปริมาณโลหะ และโลหะหนัก (mg/L)					
	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb
A ก่อน	0.112±0.015	<LOD	0.009±0.006	<LOD	<LOD	<LOD
หลัง	3.126±0.051	1.801±0.022	0.258±0.018	0.051±0.003	0.048±0.001	0.284±0.051
B ก่อน	0.186±0.008	1.589±0.020	0.020±0.003	<LOD	<LOD	<LOD
หลัง	5.519±0.041	3.660±0.029	0.416±0.010	0.078±0.002	0.082±0.001	0.439±0.041
C ก่อน	2.330±0.361	1.295±0.032	0.005±0.001	<LOD	<LOD	<LOD
หลัง	3.411±0.032	2.737±0.004	0.216±0.013	0.041±0.001	0.048±0.01	0.273±0.032
D ก่อน	1.657±0.137	0.964±0.009	0.009±0.005	<LOD	<LOD	<LOD
หลัง	5.624±0.182	3.268±0.009	0.313±0.010	0.064±0.002	0.076±0.01	0.395±0.182
เกณฑ์	1.0 mg/L	0.5 mg/L	15 mg/L	1.5 mg/L	0.05 mg/L	0.01 mg/L

หมายเหตุ: LOD Fe = 0.009, Mn = 0.006, Zn = 0.003, Cu = 0.009, Cd = 0.001 และ Pb = 0.005 mg/L

: ตัวอักษรสีแดงหมายถึงค่าเกินเกณฑ์อนุโลมสูงสุด

: เกณฑ์ใช้ออนุโลมสูงสุดอ้างอิงจาก ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551 [2]

Pb มีปริมาณที่สูงกว่าเกณฑ์หลังจากผ่านกระบวนการกรองถ่านกัมมันต์ทางปาล์ม โดยแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง มีปริมาณของ Pb ต่ำกว่าค่าเกณฑ์ก่อนกรองด้วยถ่านกัมมันต์ (0.01 mg/L)

การปนเปื้อนโลหะ และโลหะหนักในน้ำบาดาลก่อนกรองที่เกินค่าเกณฑ์อนุโลมสูงสุดในตารางที่ 4 เกิดได้หลายปัจจัย เช่น น้ำเสียจากชุมชนหรือโรงงานที่ปล่อยออกมาโดยไม่ได้บำบัด จากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช โดยโลหะหนักเหล่านี้จะซึมผ่านชั้นดินลงไปยังชั้นหินอุ้มน้ำ เกิดการปนเปื้อนของส่วนผสมอันตรายเช่น Cr Hg Fe Mn Pb เป็นต้น โดยน้ำบาดาลมักจะพบแร่ธาตุ หรือโลหะหนักสูงกว่ามาตรฐาน ซึ่งแต่ละพื้นที่จะพบปัญหาที่แตกต่างกันออกไปขึ้นกับสภาพแวดล้อม โลหะ และโลหะหนักที่พบในน้ำบาดาลทั่วไปคือ Fe Mn Pb Hg As [15]

ปริมาณของ Fe Mn Zn Cu Cd และ Pb ในตัวอย่างน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นหลังการกรองผ่านถ่านกัมมันต์ทางปาล์ม สอดคล้องกับผลการทดสอบ SEM ผิวบริเวณด้านข้างของถ่านกัมมันต์ทางปาล์มที่โครงสร้างรูพรุนถูกทำลาย ทำให้สูญเสียความสามารถในการดูดซับ รวมทั้งการตรวจพบ Fe Mn และ Cu ด้วย XRF ในถ่านทางปาล์มทำให้เกิดปนเปื้อนของโลหะเพิ่มขึ้นในน้ำบาดาลหลังกรอง ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลกระทบของกิจกรรมทางการเกษตร เช่นการใช้ยาปราบวัชพืช และศัตรูพืช หรืออาจจะมาจากสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นๆ หรือบริเวณใกล้เคียงทำให้ปาล์มมีโอกาสที่จะดูดโลหะเหล่านี้เข้ามา โดยดินในบริเวณที่เพาะปลูกปาล์มก็อาจมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ ซึ่ง [16] ได้ตรวจสอบโลหะหนักในดินบริเวณที่เพาะปลูกปาล์มในประเทศไนจีเรีย 15

แห่ง พบว่า Fe Mn Zn Cu Cd และ Pb ที่พบในดิน บริเวณเพาะปลูกปาล์มอยู่ในช่วง 0.05-29.83, 0.12-29.38, 12.36-78.62, 12.92-69.11 mg/kg 120-4260 และ 6840-13610 µg/kg ตามลำดับ และในผลิตภัณฑ์จากปาล์มก็พบโลหะหนักจำพวกนี้ด้วย น้ำมันปาล์มในรัฐ Abia ทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไนจีเรีย พบ Fe Mn Zn Cu Cd และ Pb ในปริมาณ 65-232, 6.55-12.05, 3.6-14.6, 0.56-2.09 mg/L 24-89 และ 24-67 µg/L ตามลำดับ [17]

4. สรุปผล

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากทางปาล์มโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก เข้มข้น 85% เวลาในการกระตุ้น 6 ชั่วโมง อุณหภูมิ 400 °C อัตราส่วนโดยมวลของถ่านต่อปริมาตรกรดฟอสฟอริก 1 : 3 จากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว ด้วย SEM ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มบริเวณภาคตัดขวางไม่พบการทำปฏิกิริยา พบการทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริก บริเวณเฉพาะบริเวณด้านข้าง โดยโครงสร้างรูพรุนถูกทำลาย ทำให้สูญเสียความสามารถในการดูดซับ เมื่อนำไปทดสอบการกรองจึงไม่สามารถกำจัด Fe Mn Zn Cu Cd และ Pb ในน้ำบาดาลได้ อีกทั้งยังตรวจพบ Fe Mn Cu ปนเปื้อนในถ่านทางปาล์ม มีผลให้น้ำบาดาลทั้ง 4 แหล่งมีปริมาณของโลหะ และโลหะหนักเพิ่มขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ทางปาล์ม สาเหตุการปนเปื้อน เนื่องจากผลกระทบของกิจกรรมทางการเกษตร เช่นการใช้ยาปราบวัชพืช และศัตรูพืช หรือสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้น ๆ ดังนั้นวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ควรเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ไม่มีการปนเปื้อน โลหะ และโลหะหนักอยู่ก่อนแล้ว โดยควรนำวัตถุดิบมาทดสอบการปนเปื้อนก่อนนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณเงินแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2559

6. อ้างอิง

- [1] การประปาส่วนภูมิภาค เขต 5. การแก้ปัญหาประปาในคาบสมุทรสงขลา. [อินเทอร์เน็ต]. สงขลา; 2565 [เข้าถึงเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2567]. จาก: https://reg5.pwa.co.th/pdf/listen_opinions/listen165.pdf
- [2] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกัน ด้านสาธารณสุข และการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125; 2552
- [3] อุรวรรณ อุ่นแก้ว, อรุณ คงแก้ว. สารกรองน้ำเพื่อการบริโภคอุปโภค. วารสารกรมวิทยาศาสตร์. 2545;50(158):14-16.
- [4] Adepoju B., Osagiede S.A. and Oguntibeju O.O. Evaluation of the Concentration of Some Toxic Metals in Dietary Red Palm Oil. *Bioanal Biomed.* 2012;.4(5):92-95.
- [5] Hadoun H, Sadaoui Z, Souami N, et al. Characterization of mesoporous carbon prepared from date stems by H₃PO₄ chemical activation. *Applied Surface Science.* 2013; 280:1–7.
- [6] Lim WC, Srinivasakannan C, Balasubramanian N. Activation of palm shells by phosphoric acid impregnation for high

- yielding activated carbon. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2010;88 :181–186.
- [7] ธาราพงษ์ วิฑิตศานต์. ถ่านกัมมันต์ การผลิตและการนำไปใช้. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2554
- [8] พลชัย ขาวนวล, นพดล โพชกำเหนิด, สุนารี บดีพงศ์. การศึกษาความเป็นไปได้ของถ่านกัมมันต์จากทางปาล์มน้ำมันสำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา. รายงานการวิจัย. สงขลา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย; 2559.
- [9] Google. Google Maps. [Internet].; 2024 [cited 2024 Jan 9]. Available from: https://maps.app.goo.gl/JYUyGEH2XFoR4GvZ6?g_st=il.
- [10] กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. โครงการประเมินศักยภาพด้านคุณภาพน้ำบาดาล วางระบบติดตามการปนเปื้อนและวางแผนรายละเอียดการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดระยองและชลบุรี. กรุงเทพฯ:เมทริกซ์ แอสโซซิเอทส์; 2551.
- [11] อีรดิษฐ์ โพธิ์ตันติมงคล, ปิยธิดา อูระชื่น. การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรมโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้มะขามที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 2560; 25(2):191-209.
- [12] สมาคมชีวมวลเอเชีย. คู่มือสารชีวมวลเอเชีย. [อินเทอร์เน็ต]. 2545. [เข้าถึงเมื่อ 29 พฤษภาคม 2562]. จาก: <http://www.jie.or.jp/biomass/Asia>.
- [13] สุปราณี วุ่นศรี, วราวุฒิ ดวงศิริ, นพดล โพชกำเหนิด. การผลิตถ่านกัมมันต์จากทางจากในแหล่งชุมชนลุ่มน้ำป่าเขลิยง จังหวัดตรัง. *วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ*. 2562;13(1):30-41.
- [14] ณัฐพล จันทร์ศรี, มาลี สันติคุณากรณ์. การศึกษาอุณหภูมิคาร์บอนในเขชันและปริมาณของกรดฟอสฟอริกต่อการดูดซับสารฟีนอลบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเม็ดบ๊วย. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 2565;32(1):26-37.
- [15] อธิสรรา จิรเสถียรพร, ชนกานต์ สุกุลแถว, ชนัตต์ โชคเจริญรัตน์, และคณะ. การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำบาดาล. *วารสารวิทยาศาสตร์สุขภาพสัตว์และเทคโนโลยี*. 2562;3(2):16-23.
- [16] Olafisoye OB, Fatoki OS, Oguntibeju OO, et al. Accumulation and risk assessment of metals in palm oil cultivated on contaminated oil palm plantation soils. *Toxicology Reports*. 2020;7:324-334.
- [17] Nnorom IC, Alagbaoso JE, Amaechi UH, et al. Determination of Beneficial and Toxic Metals in Fresh Palm Oil (*Elaeis guineensis* Jacq.) from South-Eastern Nigeria: Estimation of Dietary Intake Benefits and Risk. *Journal of Scientific Research & Reports*. 2014; 3(16):2216-222

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการจำแนกผู้ป่วย โรคมะเร็งปอด

Comparing the Performance of Machine Learning Models for Classifying Lung Cancer Patients

ศวิตา ทองขุนวงศ์¹, ภัคพล สวัสดิ์กมล^{2*}

Sawita Tongkunwong¹, Phakkhaphon Sawatkamon^{2*}

¹โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

²สาขาวิชาคณิตศาสตร์และภูมิสารสนเทศ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

¹ Suranaree University of Technology Hospital, Suranaree University of Technology

²School of Mathematical Science and Geoinformatics, Institute of Science, Suranaree University of Technology

* Corresponding Author: E-mail address: Sawiphak2424@gmail.com

บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยในครั้งนี้คือ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบสำหรับการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง ประกอบด้วย 5 ตัวแบบ ได้แก่ ตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ ตัวแบบป่าสุ่ม ตัวแบบนาอิวเบย์ ตัวแบบเคเนียร์เรสเนเบอร์ และ ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากเว็บไซต์ Kaggle.com จำนวน 309 ข้อมูล และใช้ค่าความแม่นยำเป็นตัวเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบสำหรับการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด ผลการศึกษพบว่า ตัวแบบที่มีประสิทธิภาพสำหรับการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด คือ ตัวแบบป่าสุ่ม มีค่าความแม่นยำมากที่สุด คือ 90.32% ส่วนตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ ตัวแบบนาอิวเบย์ ตัวแบบเคเนียร์เรสเนเบอร์ และตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มีค่าความแม่นยำในการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด เท่ากับ 87.10%, 83.87%, 80.65% และ 87.10% ตามลำดับ

คำสำคัญ: โรคมะเร็งปอด, การเรียนรู้ของเครื่อง, ป่าสุ่ม

ABSTRACT

The objective of this research is to compare the performance of machine learning models for lung cancer patient classification. The study includes five different models: decision tree, random forest, naive Bayes, k-nearest neighbors, and support vector machine. The research utilizes secondary data from the Kaggle.com website, consisting of 309 records, and uses accuracy as the metric to compare the performance of these models. The study result showed that the most efficient model for lung cancer patient classification is the random forest model,

achieving the highest accuracy of 90.32%. Meanwhile, the decision tree, naive Bayes, k-nearest neighbors, and support vector machine models demonstrated classification accuracies of 87.10%, 83.87%, 80.65%, and 87.10%, respectively, in identifying lung cancer patients.

Keywords: lung cancer, machine learning, random forest

1. บทนำ

โรคมะเร็งปอดเป็นหนึ่งในปัญหาสุขภาพที่มีความรุนแรงและส่งผลกระทบต่อประชากรในประเทศไทย โดยกรมการแพทย์สถาบันมะเร็งแห่งชาติ ให้ข้อมูลว่าโรคมะเร็งปอดเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับที่ 2 ของคนไทย และมีอัตราการเสียชีวิตในผู้หญิงสูงกว่าผู้ชาย [1] มะเร็งปอดเกิดจากเซลล์ที่อยู่ปอดมีการเจริญเติบโตที่ไม่ปกติ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของเซลล์ปกติ และไม่สามารถควบคุมการเจริญเติบโตนี้ได้ จึงทำให้เกิดก้อนเนื้อในปอด โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดจากเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของเซลล์นั้นเกิดจากหลายปัจจัย เช่น การสูบบุหรี่ การสูดดมควันบุหรี่ การสูดดมมลพิษทางอากาศ การมีประวัติคนในครอบครัวเคยเป็นโรคมะเร็งปอด (ปัจจัยทางพันธุกรรม)

การตรวจพบโรคมะเร็งปอดในระยะเริ่มต้นของผู้ป่วยทำได้ยาก เนื่องจากผู้ป่วยมักไม่มีอาการแสดงที่บ่งบอกถึงความผิดปกติของร่างกาย แต่ผู้ป่วยมักจะพบความผิดปกติของร่างกายในระยะลุกลามของโรคมะเร็งปอด เช่น ไอเรื้อรัง ไอมีเสมหะ หายใจมีเสียงหวีด เจ็บหน้าอก เหนื่อยง่าย เป็นต้น โรคมะเร็งปอดจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ มะเร็งปอดเซลล์เล็ก และ มะเร็งปอดที่ไม่ใช่เซลล์เล็ก โดย มะเร็งปอดเซลล์เล็ก เป็นเซลล์มะเร็งที่เจริญเติบโตและแพร่กระจายในร่างกายได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้มีอัตราการเสียชีวิตที่สูง วิธีการการรักษานั้นมักจะใช้วิธีฉายรังสี ส่วนมะเร็งปอดที่ไม่ใช่เซลล์เล็ก เป็น

เซลล์มะเร็งที่เจริญเติบโตและแพร่กระจายในร่างกายได้ช้ากว่า หากทราบหรือตรวจพบในระยะเริ่มต้นของโรคจะมีโอกาสรักษาให้หายได้ [2]

การทราบถึงระยะของโรคมะเร็งปอดนั้นมีความสำคัญต่อการรักษาผู้ป่วยอย่างมาก เนื่องจากถ้าเรามีเครื่องมือในการคัดกรองผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดในระยะเริ่มต้น จะทำให้ผู้ป่วยนั้นไม่เสียโอกาสในการรักษาโรคมะเร็งปอดได้ ดังนั้น ในการวิจัยนี้จึงได้ใช้ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยสร้างเครื่องมือในการสร้างตัวแบบจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายของตัวแบบเพื่อหาตัวแบบในการทำนายที่ดีที่สุดเพื่อใช้ในการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดโดยทำการเปรียบเทียบตัวแบบทั้งหมด 5 ตัวแบบ ได้แก่ ตัวแบบป่าสุ่ม, ตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ, ตัวแบบนาอิวเบย์, ตัวแบบเคเนียร์เรสเนเบอร์ และ ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

การเรียนรู้ของเครื่องเป็นส่วนหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ เป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยที่สามารถเข้ามาช่วยสนับสนุนด้านการแพทย์ ซึ่งตัวแบบทั้ง 5 ตัวแบบ จัดเป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน คือตัวแบบจะเน้นการเรียนรู้จากกลุ่มข้อมูลชุดตัวอย่างเพื่อให้ได้ตัวแบบทำนายมีความแม่นยำในการทำนายผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด นอกจากนี้ได้มีการนำความรู้การเรียนรู้ของเครื่องไปประยุกต์ในงานวิจัยต่าง ๆ เช่น การพยากรณ์โรคเบาหวานด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล เป็นงานวิจัยที่ได้มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ผู้ป่วยโรคเบาหวาน ทั้งหมด 5 แบบจำลอง ผลการวิจัย

พบว่า เทคนิคป่าสุ่ม (random forest) ให้ค่าความถูกต้องในการทำนายผลเป็นโรคเบาหวานมากที่สุดที่ร้อยละ 99.75 [5] สำหรับงานวิจัยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการทำนายราคาพริกชี้หนูในจังหวัดนครศรีธรรมราช ตัวแบบป่าสุ่มเป็นตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับนำไปพัฒนาตัวแบบสำหรับทำนายราคาพริกชี้หนู ในพื้นที่ของจังหวัดนครศรีธรรมราช ผลจากการทำนายพบว่าราคาทำนายมีราคาใกล้เคียงกับความจริง [6] สำหรับงานวิจัยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อทำนายการรับผลงานวิจัยทางวิชาการพบว่า ตัวแบบป่าสุ่มมีค่าความแม่นยำในการทำนายที่ร้อยละ 81 [7]

1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1.1. ตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ (decision tree) เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการจำแนกข้อมูล โดยมีลักษณะเลียนแบบการตัดสินใจของมนุษย์ โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้จะมีสองกลุ่มหรืออาจมากกว่าสองกลุ่ม ตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจจะเริ่มจาก โหนดราก (root node) และทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วนย่อย ๆ ด้วยการตัดสินใจแต่ละโหนด โดยมีการใช้เงื่อนไขเพื่อทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นสองกลุ่มและทำการกระจายข้อมูลไปยังโหนดย่อย (child node) สองโหนดนั้นจะมีเงื่อนไขต่อไปอีกและกระจายข้อมูลต่อไปในโหนดย่อยของมันเรื่อย ๆ จนกระจายข้อมูลไปถึงโหนดใบ (leaf node) ที่ไม่มีการแบ่งข้อมูลต่อไปอีกแล้ว ซึ่งเป็นการให้ผลลัพธ์ของกระบวนการตัดสินใจ การสร้างตัวแบบจะเริ่มจากโหนดรากเป็นอันดับแรก เริ่มจากการคำนวณหาข้อมูลที่เหมาะสมที่จะเป็นโหนดราก ซึ่งจะพิจารณาจากค่าความได้เปรียบในการแยกข้อมูล (information gain) ที่มากที่สุด ซึ่งได้มาจากการคำนวณค่าเอนโทรปี

(entropy) เพื่อให้การจำแนกของข้อมูลอยู่ในกลุ่มเดียวกันมากที่สุด เมื่อเราได้โหนดรากแล้ว ก็จะสร้างโหนดย่อยในลำดับต่อไปจนกระทั่งถึงโหนดใบ และได้ต้นไม้ตัดสินใจที่สมบูรณ์ ซึ่งค่าเอนโทรปี ($E(S)$) และ ค่าความได้เปรียบในการแยกข้อมูล ($I(S, a)$) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1) และ (2)

$$E(S) = -\sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (1)$$

โดยที่ $P(x_i)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ x_i และมีทั้งหมด n เหตุการณ์

$$I(S, a) = E(S) - \sum_{v \in \text{Values}(a)} \frac{|S_v|}{|S|} E(S_v) \quad (2)$$

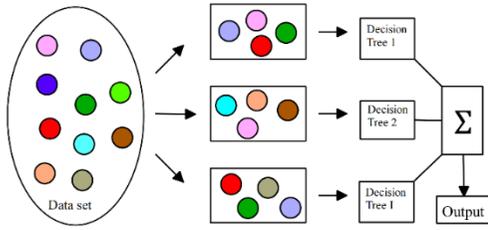
โดยที่ v คือ ค่าของลักษณะประจำ ($\text{Values}(A)$),

$$S_v = \{s \in S, \text{Value}(s, a) = v\} \text{ และ}$$

$|S_v|$ คือ จำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่มย่อย S_v

$|S|$ คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

1.1.2. ตัวแบบป่าสุ่ม (random forest) เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการทำนายในรูปแบบของการจำแนกข้อมูล และการพยากรณ์ โดยหลักการทำงานของป่าสุ่มจะเป็นการสุ่มเอาข้อมูลซึ่งเป็นการสุ่มข้อมูลแบบใส่กลับคืน จากนั้นนำข้อมูลที่สุ่มได้ไปสร้างเป็นต้นไม้ตัดสินใจหลาย ๆ ต้น ซึ่งต้นไม้แต่ละต้นจะได้รับข้อมูล (data set) ที่แตกต่างกัน เมื่อทำการทำนายก็ให้ต้นไม้แต่ละต้นทำการตัดสินใจ โดยผลลัพธ์ที่ถูกโหวตมากที่สุดจะถูกเลือกเป็นผลลัพธ์ที่ทำนายออกมา



ภาพที่ 1 โครงสร้างการทำงานของป่าสุ่ม

1.1.3. ตัวแบบนาอิวเบย์ (Naive Bayes) เป็นตัวแบบการจำแนกข้อมูลที่อาศัยหลักการความน่าจะเป็น (probability) ตามทฤษฎีบทของเบย์ (bayes theorem) มาใช้ในการจำแนกข้อมูล (classification) ซึ่งหลักการของนาอิวเบย์จะใช้การคำนวณหาความน่าจะเป็นในการทำนายผลลัพธ์โดยจะทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเพื่อใช้ในการสร้างเงื่อนไขความน่าจะเป็นสำหรับแต่ละความสัมพันธ์ซึ่งมีความเหมาะสมกับกรณีที่เซตตัวอย่างมีเป็นจำนวนมากและคุณสมบัติ (attribute) ของตัวอย่างที่เป็นอิสระต่อกัน ซึ่งมีสมการคำนวณดังสมการที่ (3)

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \times P(A)}{P(B)} \quad (3)$$

โดยที่ $P(A|B)$ คือ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์

A เมื่อมีข้อมูล B (posterior probability)

$P(B|A)$ คือ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ B

เมื่อรู้ว่าเหตุการณ์ A เป็นจริง (likelihood)

$P(A)$ คือ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ A (prior probability)

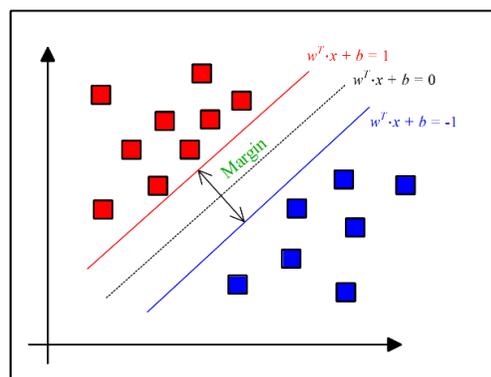
$P(B)$ คือ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ B (evidence probability)

1.1.4. ตัวแบบเคเนียร์เรสเนเบอร์ (K-nearest neighbors) เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการจำแนกข้อมูลที่ไม่ค่อยมีความซับซ้อน จึงได้รับความนิยมเป็นอันดับแรก ๆ ในการแก้ปัญหาการจำแนก

ประเภท แนวคิดของวิธีเคเนียร์เรสเนเบอร์จะทำการจำแนกข้อมูลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน K ตัว และค่า K ส่วนใหญ่จะกำหนดให้เป็นเลขคี่ การจำแนกกลุ่มให้กับข้อมูลชุดทดสอบจะทำการคำนวณระยะทางที่ใกล้กับข้อมูลชุดทดสอบมากที่สุด K ตัว จากนั้นข้อมูลชุดทดสอบจะจัดอยู่ในกลุ่มข้อมูลที่ปรากฏเยอะที่สุดใน K ตัว สำหรับงานวิจัยนี้ใช้สูตรการคำนวณระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean distance) ซึ่งระยะทางแบบยูคลิดจากจุด $P(p_1, p_2, \dots, p_n)$ และจุด $Q(q_1, q_2, \dots, q_n)$ ในปริภูมิ N มิติสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (4)

$$d(P, Q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (4)$$

1.1.5. ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (support vector machine) เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการจำแนกประเภทของข้อมูล (classification) และการทำนาย (regression) แนวคิดสำหรับการจำแนกข้อมูล คือ ตัวแบบจะพยายามลดความผิดพลาดในการจำแนกข้อมูลและหาระยะขอบที่มากที่สุด (maximum margin) ของระนาบตัดสินใจ (decision hyperplane) ในการแบ่งกลุ่มข้อมูล ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

สำหรับปัญหาการจำแนกข้อมูลนั้น กำหนดให้ $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)\}$ เป็นข้อมูลชุดฝึก โดยที่ $x_i \in R^n$ และ $y_i \in \{-1, 1\}$ สำหรับทุก ๆ $i = 1, 2, 3, \dots, n$ เส้นแบ่งกลุ่มข้อมูลจะเป็นดังสมการ (5)

$$w^T \cdot x + b = 0 \quad (5)$$

เมื่อ w คือ เวกเตอร์น้ำหนัก (weight vector) และ b คือ ค่าไบแอส (bias) จากนั้นเส้นแบ่งกลุ่มที่ดีที่สุดคือ เส้นแบ่งที่มีระยะขอบมากที่สุด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (6) และ สมการ (7)

$$w^T \cdot x + b = 1 \quad (6)$$

$$w^T \cdot x + b = -1 \quad (7)$$

สำหรับการจำแนกกลุ่มเมื่อป้อนข้อมูล (input) x_j จำแนกอยู่ในกลุ่มใดพิจารณาจาก ถ้า $w^T \cdot x_j + b \geq 1$ จะจัดอยู่ในกลุ่ม $y = 1$ แต่ถ้า $w^T \cdot x_j + b \leq -1$ จะจัดอยู่ในกลุ่ม $y = -1$

ในกรณีที่ข้อมูลไม่สามารถแบ่งกลุ่มได้ด้วยเส้นตรง ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนจะมีวิธีการใช้ฟังก์ชันเคอร์เนล (kernel function) มาช่วยประยุกต์ในการแก้ปัญหการจำแนกกลุ่มได้ [3]

1.1.6. ตัววัดประสิทธิภาพของตัวแบบ (performance) ในงานวิจัยนี้เราใช้ค่าความแม่นยำ (accuracy) เป็นตัววัดประสิทธิภาพของตัวแบบ ซึ่งค่าความแม่นยำเป็นการคำนวณจากสัดส่วนของจำนวนข้อมูลที่เกิดการจำแนกของตัวแบบที่สามารถจำแนกได้ถูกต้องต่อข้อมูลทั้งหมดที่นำมาทดสอบ มีสูตรการคำนวณดังสมการที่ (8) และ ผลจากการจำแนกข้อมูลสามารถแสดงในรูปของตารางเมทริกซ์สับสน (confusion matrix) ดังตารางที่ 1

$$\text{Accuracy} = \left(\frac{TP + TN}{TP + FN + TN + FP} \right) \times 100 \quad (8)$$

เมื่อ

TP (true positive) คือ ตัวแบบทำนายว่าเป็นโรคมะเร็งปอดและตรงกับข้อมูลจริง

TN (true negative) คือ ตัวแบบทำนายว่าไม่เป็นโรคมะเร็งปอดซึ่งตรงกับข้อมูลจริง

FP (false positive) คือ ตัวแบบทำนายว่าเป็นโรคมะเร็งปอดซึ่งไม่ตรงกับข้อมูลจริง

FN (false negative) คือ ตัวแบบทำนายว่าไม่เป็นโรคมะเร็งปอดซึ่งไม่ตรงกับข้อมูลจริง

ตารางที่ 1 แสดงเมทริกซ์สับสน

ค่าความจริง (Actual)	ค่าทำนาย(Prediction)	
	บวก (Positive)	ลบ (Negative)
บวก (Positive)	TP = True Positive	FN = False Negative
ลบ (Negative)	FP = False Positive	TN = True Negative

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อใช้สำหรับการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดทั้งหมด 5 ตัวแบบ ได้แก่ ตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ ตัวแบบป่าสุ่ม ตัวแบบนาอิว์เบีย ตัวแบบเคเนียร์เรสเนเบอร์ และ ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 กรอบแนวคิดวิจัย

ตัวแปรที่ศึกษามีทั้งหมด 15 ตัวแปร ประกอบด้วยตัวแปรต้น 14 ตัวแปร เป็นตัวแปรที่ใช้ศึกษาเพื่อจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด ได้แก่ สูบบุหรี่, โรคเส้นเลือด, ความวิตกกังวล, แรกกดดันโลหิต, ครอบข้าง, กลุ่มโรคเรื้อรัง, อ่อนเพลีย, โรคภูมิแพ้,

หายใจมีเสียงหวีด, ต้มแอลกอฮอล์, มีอาการไอ, หายใจถี่ขึ้น, กลืนอาหารลำบาก, มีอาการเจ็บหน้าอก ข้อมูลของตัวแปรต้นเป็นการเก็บข้อมูลที่เป็นลักษณะ การสอบถามอาการซึ่งการเก็บข้อมูลจะเก็บแทนด้วย ตัวเลขดังนี้ 1 คือ ไม่ใช่ 2 คือ ใช่ และข้อมูลอายุเป็น การเก็บข้อมูลแบบจำนวนเต็มบวกมีหน่วยเป็นปี ส่วนตัวแปรตาม คือ ผลการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด โดยที่ 1 คือ ผู้ป่วยที่ไม่เป็นโรคมะเร็งปอด และ 2 คือ ผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด

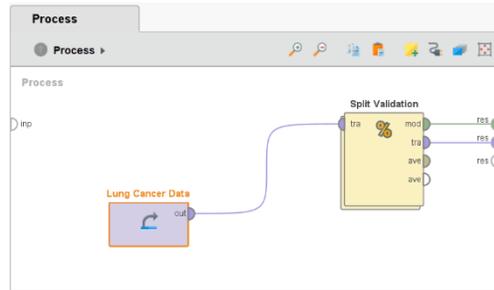
2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

2.2.1. เก็บรวบรวมข้อมูล การตรวจหา โรคมะเร็งปอด (Lung Cancer Detection) จาก เว็บไซต์ Kaggle.com [4] ซึ่งเป็นเว็บไซต์สาธารณะที่เปิดให้มีการนำข้อมูลมาศึกษาและพัฒนาตัวแบบ ทางด้านปัญญาประดิษฐ์ รวมถึงเปิดให้ผู้ที่สนใจใน ข้อมูลดังกล่าวนำไปศึกษาในด้านที่สนใจ จากการ ดาวน์โหลดข้อมูลจากเว็บไซต์ดังกล่าวพบว่ามีจำนวน ข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ 309 ข้อมูล ไฟล์ข้อมูลเป็นไฟล์ สกิล csv

2.2.2. ทำความสะอาดข้อมูล (data cleansing) คือ เป็นการจัดการกับการขาดหายของ ข้อมูลที่มีการขาดหายไปด้วยค่าของข้อมูลที่ปรากฏ เยอะสุดหรือลบข้อมูลที่มีการขาดหายออกจากชุด ข้อมูลทั้งหมด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมในการสร้าง ตัวแบบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพสำหรับการ จำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด

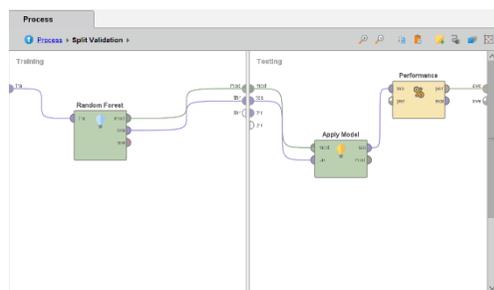
2.2.3. แบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วน โดยใช้ คำสั่ง split validation ในโปรแกรม RapidMiner ซึ่งคำสั่งดังกล่าวเป็นตัวดำเนินการ (operator) แบ่ง ข้อมูลออกเป็นสองส่วนแบบสุ่ม ส่วนแรกจะถูกนำไป เป็นข้อมูลชุดฝึก (training data) เพื่อใช้ในการสร้าง ตัวแบบสำหรับการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดด้วย การเรียนรู้ของเครื่อง ส่วนที่สองจะเป็นข้อมูลชุด

ทดสอบ (test data) เพื่อใช้ในการประเมินความ แม่นยำของตัวแบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนด ข้อมูล ชุดฝึกจำนวน 278 ข้อมูล และข้อมูลชุดทดสอบ จำนวน 31 ข้อมูล เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนแล้วมีค่า เท่ากับ 9:1



ภาพที่ 3 การใช้คำสั่ง Split Validation ในโปรแกรม RapidMiner

3.2.4. สร้างตัวแบบการทำนายสำหรับการ จำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง ทั้งหมด 5 ตัวแบบได้แก่ ตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ ตัว แบบป่าสุ่ม ตัวแบบนาอิว์เบย์ ตัวแบบเคเนียร์เรียสเน เบอร์ และ ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ด้วย โปรแกรม RapidMiner



ภาพที่ 4 การสร้างตัวแบบป่าสุ่มของโปรแกรม RapidMiner

สำหรับตัวแบบอื่น ๆ เราจะใช้คำสั่งในช่อง Operators ของตัวโปรแกรม RapidMiner ซึ่งอยู่ ทางด้านซ้ายมือของโปรแกรมแล้วพิมพ์คำสั่งต่อไปนี้

คำสั่ง Decision Tree สำหรับตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ
คำสั่ง k-NN สำหรับตัวแบบเคเนียร์เรียสเนเบอร์
คำสั่ง Naive Bayes สำหรับตัวแบบนาอิวเบย์ และ
คำสั่ง Support Vector Machine สำหรับตัวแบบ
ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน จากนั้นลากกล่องคำสั่งมา
ที่ช่อง Training คล้ายกับภาพที่ 3 แล้วกดประมวลผล
โปรแกรม

2.2.5. นำข้อมูลชุดทดสอบมาใช้กับตัวแบบ
แต่ละตัวแบบ โปรแกรม RapidMiner จะแสดงผล
การจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดในรูปแบบของตาราง
เมทริกซ์สับสน จากนั้นผลของการจำแนกในตาราง

เมทริกซ์สับสนมาคำนวณค่าความแม่นยำ เพื่อใช้
ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบ

3. ผลการวิจัย

จากข้อมูลทั้งหมดจำนวน 309 ข้อมูล เมื่อ
เข้าสู่ขั้นตอนความสะอาดข้อมูล พบว่าข้อมูลทั้งหมด
มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการสร้างตัวแบบสำหรับ
การจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด โดยพบว่า ข้อมูลชุด
นี้มีผู้ป่วยเป็นโรคมะเร็งปอดทั้งสิ้น 270 คน คิดเป็น
ร้อยละ 87.38 และทำการจำแนกข้อมูลด้านสุขภาพ
ซึ่งถูกแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของข้อมูลทั้งหมดจำแนกตามข้อมูลด้านสุขภาพพร้อมทั้งแสดงค่าเฉลี่ยของ
อายุของข้อมูลทั้งหมดจำนวน 309 ข้อมูล

ข้อมูลทั่วไปและ ข้อมูลด้านสุขภาพ	จำนวน	ร้อยละ	ข้อมูลทั่วไปและ ข้อมูลด้านสุขภาพ	จำนวน	ร้อยละ
ประวัติการสูบบุหรี่			หายใจมีเสียงหวีด		
เคยสูบบุหรี่	174	56.31	มี	172	55.66
ไม่เคยสูบบุหรี่	135	43.69	ไม่มี	137	44.34
โรคเล็บเหลือง			ตีมแอลกอฮอล์		
เป็น	176	56.96	ตีม	172	55.66
ไม่เป็น	133	43.04	ไม่ตีม	137	44.34
ความวิตกกังวล			มีอาการไอ		
มี	154	49.84	มี	179	57.93
ไม่มี	155	50.16	ไม่มี	130	42.07
แรงกดดันอิทธิพลรอบข้าง			หายใจถี่		
มี	155	50.16	เป็น	198	64.08
ไม่มี	154	49.84	ไม่เป็น	111	35.92
กลุ่มโรคเรื้อรัง			กลืนอาหารลำบาก		
มี	156	50.49	เป็น	145	46.93
ไม่มี	153	49.51	ไม่เป็น	164	53.07
อ่อนเพลีย			มีอาการเจ็บหน้าอก		
มี	208	67.31	มี	172	55.66
ไม่มี	101	32.69	ไม่มี	137	44.34
โรคภูมิแพ้			มะเร็งปอด		
เป็น	172	55.66	เป็น	270	87.38
ไม่เป็น	137	44.34	ไม่เป็น	39	12.62
อายุ (ปี)	ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 62.67 ปี อายุต่ำสุด 21 ปี อายุสูงสุด 87 ปี				

นำข้อมูลทั้งหมดจำนวน 309 ข้อมูล มาทำการฝึกสอนกับตัวแบบการเรียนรู้ของเครื่อง โดยเริ่มจากการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มแบบสุ่ม ดังคำอธิบายในหัวข้อ 2.2.3 สำหรับงานวิจัยนี้แบ่งเป็นข้อมูลชุดฝึกหัดจำนวน 278 ข้อมูล และข้อมูลชุดทดสอบจำนวน 31 ข้อมูล จากนั้นใช้โปรแกรม RapidMiner สร้างตัวแบบทั้งหมด 5 ตัวแบบ ได้แก่ ตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ ตัวแบบป่าสุ่ม ตัวแบบนาอิวเบย์

ตัวแบบเคเนียร์เรียดแนเบอร์ และตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์ แมชชีน เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละตัวแบบ และผลของการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด โดยใช้ข้อมูลชุดทดสอบทั้งสิ้น 31 ข้อมูล ของแต่ละตัวแบบแสดงในรูปของเมทริกซ์สับสนดังตารางที่ 3

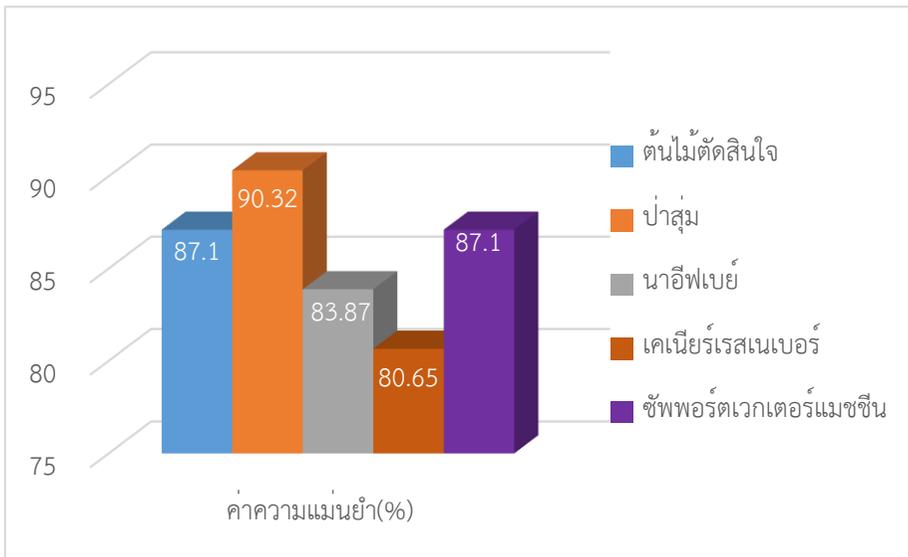
ตารางที่ 3 เมทริกซ์สับสนของตัวแบบ 5 ตัวแบบ

ตัวแบบ	ค่าทำนาย	ค่าจริง	ค่าจริง
		เป็นมะเร็งปอด	ไม่เป็นมะเร็งปอด
ต้นไม้ตัดสินใจ	เป็นมะเร็งปอด	24	1
	ไม่เป็นมะเร็งปอด	3	3
ป่าสุ่ม	เป็นมะเร็งปอด	26	2
	ไม่เป็นมะเร็งปอด	1	2
นาอิวเบย์	เป็นมะเร็งปอด	25	3
	ไม่เป็นมะเร็งปอด	2	1
เคเนียร์เรียดแนเบอร์	เป็นมะเร็งปอด	25	4
	ไม่เป็นมะเร็งปอด	2	0
ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	เป็นมะเร็งปอด	26	3
	ไม่เป็นมะเร็งปอด	1	1

จากตารางที่ 3 แสดงผลการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดในรูปเมทริกซ์สับสน (confusion matrix) ซึ่งตารางเมทริกซ์สับสนเป็นตารางที่ถูกใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบการเรียนรู้ของเครื่องที่ใช้ในการจำแนกข้อมูล จากนั้นคำนวณค่าความแม่นยำในการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดของแต่ละตัวแบบตามสมการที่ (8) โดยค่าความแม่นยำแสดงถึงการเปรียบเทียบในภาพที่ 4

จากภาพที่ 5 ผลการประเมินค่าความแม่นยำของตัวแบบสำหรับการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด พบว่าตัวแบบป่าสุ่ม มีค่าความแม่นยำมากที่สุด คือ 90.32% ตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มีค่าความแม่นยำเท่ากัน คือ 87.10% ตัวแบบนาอิวเบย์ มีค่าความแม่นยำ คือ

83.87% และตัวแบบเคเนียร์เรสเนเบอร์ มีค่า
แม่นยำ คือ 80.65



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบสำหรับการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอด

4. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบทำนายการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดด้วยตัวแบบทั้งหมด 5 ตัวแบบ ได้แก่ ตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ ตัวแบบป่าสุ่ม ตัวแบบนาอ็ฟเบย์ ตัวแบบเคเนียร์เรสเนเบอร์ และตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน พบว่า สำหรับการใช้ข้อมูลชุดนี้ ตัวแบบป่าสุ่ม ถูกประเมินว่ามีประสิทธิภาพในการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดมากที่สุดจากตัวแบบทั้งหมดที่นำมาศึกษา โดยมีความแม่นยำมากที่สุด คือ 90.32% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการพยากรณ์โรคเบาหวานด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล พบว่า ตัวแบบป่าสุ่มมีความแม่นยำในการทำนายผู้ป่วยเบาหวานมากที่สุดมีค่าความแม่นยำในการทำนาย 99.80% [5] เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับทำนายราคา

พริกชี้หนูในจังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า การทำนายโดยใช้ต้นไม้ป่าสุ่มราคาพริกชี้หนูใกล้เคียงกับราคาจริง [6] การเรียนรู้ของเครื่องเพื่อทำนายการรับผลงานวิจัยทางวิชาการโดยใช้ตัวแบบป่าสุ่มมีความแม่นยำในการทำนาย 81% [7] แต่สำหรับงานวิจัย การจำแนกผู้ป่วยโรคเบาหวานโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล และการเลือกคุณลักษณะจากความสัมพันธ์ของข้อมูล พบว่า ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีประสิทธิภาพในการทำนายสูงสุด โดยมีความแม่นยำเท่ากับ 76.95% [8]

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากข้อมูลที่เรานำมาวิเคราะห์มีจำนวนผู้เป็นมะเร็งปอดมากกว่าจำนวนข้อมูลผู้ที่ไม่เป็นมะเร็งปอด ดังนั้นแนวทางการพัฒนางานวิจัย เสนอให้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลของกลุ่มผู้ป่วยที่เป็นมะเร็งปอดและไม่เป็นมะเร็งปอดจำนวนเท่า ๆ กัน และ

อาจต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเฉพาะเจาะจงของประชากรไทย รวมถึงการสร้างแบบจำลองอื่น ๆ เพื่อให้ได้ตัวแบบสำหรับการจำแนกผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดที่มีประสิทธิภาพต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมการแพทย์. กรมการแพทย์เผยมะเร็งปอด เป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับ 2 ของคนไทย. [อินเทอร์เน็ต]. 2565. [เข้าถึงเมื่อ 10 กันยายน 2566]. เข้าถึงได้จาก: <http://pr.moph.go.th/?url=pr/detail/2/02/121812/>.
- [2] โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์. มะเร็งปอด. [อินเทอร์เน็ต]. 2566. [เข้าถึงเมื่อ 10 กันยายน 2566]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.bumrungrad.com/th/conditions/lung-cancer>.
- [3] ปริญญา สวงนสัตย์. AI สร้างได้ด้วยแมชชีนเลิร์นนิ่ง. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: สำนักพิมพ์ไอดีซี พรีเมียร์. 2562.
- [4] Lung Cancer Detection. [อินเทอร์เน็ต]. 2565. [เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.kaggle.com/datasets/jillanisofttech/lung-cancer-detection>.
- [5] กฤตกนก ศรีพิมพ์สอ, และกิตติพล วิแสง. การพยากรณ์โรคเบาหวานด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล. วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. 2566;10(1): 51-63.
- [6] โสภี แก้วชะภา, สมพร เรืองอ่อน, และอุทัย คูหาพงศ์. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับทำนายราคาพริกชี้หนูในจังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารวิชาการชายันต์เทคโนโลยี. 2565;6(2): 1-11.
- [7] Skorikov, M., & Momen, S. (2020). Machine learning approach to predicting the acceptance of academic papers (pp113-116). In *The 2020 IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT)*.
- [8] รุ่งโรจน์ บุญมา, และนิเวศ จิระวิจิตชัย. การจำแนกผู้ป่วยโรคเบาหวานด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูลและการเลือกคุณลักษณะจากความสัมพันธ์ของข้อมูล. วารสารวิชาการชายันต์เทคโนโลยี. 2562;3(2): 11-19

อิทธิพลของรูปแบบการเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งของเหล็กหล่อโครเมียมสูง

Fe-16Cr-2Mo ที่มีการเติมซิลิคอน

Influence of Welding Sequence on the Hardness

of High Chromium Cast Iron Fe-16Cr-2Mo adding Silicon

กฤษ อนุรักษ์¹, สำเนา โยธี^{2*}, ปริญญวัตร ทินบุตร² และ พิสิษฐชัย โคสะสุ³¹สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น²สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมเชื่อมประกอบ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตขอนแก่น

³สาขาวิชาเทคโนโลยีงานท่ออุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

*Corresponding author: E-mail: Sumpao.yo@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบของชั้นแนวเชื่อมที่ส่งผลต่อสมบัติความแข็งของเหล็กหล่อโครเมียมสูงที่มีการเติมซิลิคอน 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นแนวทางในการเชื่อมพอกแข็งชิ้นงานที่เสียหาย ชั้นทดลองถูกนำไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยชิ้นงานสำหรับทดลอง 4 รูปแบบ จะถูกเชื่อมด้วยลวดเชื่อม MG 750 W และลวดเชื่อม 450 R จากนั้นทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์และวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค ผลการทดลองพบว่า การเชื่อมแบบหนึ่งชั้นและแบบสองชั้นแนวเชื่อมด้วยลวดเชื่อม 450R พบโครงสร้างคาร์ไบด์ชนิด M_7C_3 และ $M_{23}C_6$ ซึ่งให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม 750 W ที่พบคาร์ไบด์ส่วนใหญ่เป็นชนิด $M_{23}C_6$ การเชื่อมแบบสองชั้นส่งผลให้ค่าความแข็งบริเวณเขตกระทบร้อนมีแนวโน้มที่สูงกว่าการเชื่อมแบบชั้นเดียว เนื่องจากการที่เขตกระทบร้อนได้รับความร้อนซ้ำจากการเชื่อมเทียบได้กับกระบวนการอบคืนตัว เกิดการตกตะกอนของคาร์ไบด์ (Carbide precipitation) บริเวณเนื้อพื้นในส่วนของชนิดวัสดุตามปริมาณซิลิคอนที่เติม พบว่าความแข็งเพิ่มขึ้นในชิ้นงานที่เติมซิลิคอน 0.5 – 1.5 เปอร์เซ็นต์ และค่าความแข็งลดลงเมื่อปริมาณซิลิคอนเพิ่มขึ้นเป็น 2% ทั้งบริเวณเนื้อโลหะเชื่อมและบริเวณเขตกระทบร้อน

คำสำคัญ: เหล็กหล่อโครเมียมสูง, การเชื่อมพอกแข็ง, ชั้นแนวเชื่อม

ABSTRACT

The objective of this research was to study the welding layer on hardness properties of high chromium cast iron with silicon additions of 0.5%, 1%, 1.5%, and 2%, aiming to provide guidelines for hard facing welding of workpieces susceptible to wear. Specimens were annealed at 950 degrees celsius for 1 hour and then welded in four patterns using MG 750 W and 450 R welding wires. Subsequently, hardness tests were conducted using a Vickers hardness tester, and microstructural examination. Experimental results revealed that single and double-layer

[43]

ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 มกราคม– มิถุนายน 2567

Received 24-02-2024

Revised..... 08-06-2024

Accepted 29-06-2024

welds using 450R welding wire exhibited higher hardness values with the presence of carbides M_7C_3 and $M_{23}C_6$ compared to welds using MG 750W wire, where predominantly $M_{23}C_6$ carbides were found. Double-layer welding resulted in higher hardness values in the HAZ region compared to single-layer welding due to repeated heating from welding compared to the tempering process, which promoted the precipitation of secondary carbides in the matrix. Regarding the material type according to the silicon content, an increase in hardness was observed in specimens with 0.5-1.5% silicon additions, while hardness decreased when the silicon content increased to 2%, both in the welded metal and base metal regions.

Keywords: High chromium Cast Iron, Hard facing welding, Welding layer

1. บทนำ

เหล็กหล่อโครเมียมเป็นวัสดุที่มีความต้านทานการสึกหรอได้ดีและต้นทุนการผลิตที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่น [1] เหล็กหล่อชนิดนี้มีบทบาทสำคัญในการใช้งานที่ต้องการความทนทานต่อการสึกหรอแบบขัดสี เช่น ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ อุตสาหกรรมเหมืองแร่ ลูกรีดในอุตสาหกรรมรีดเหล็ก [2] ในกระบวนการผลิตเหล็กหล่อ หากเกิดข้อบกพร่องบนชิ้นงานหล่อสามารถซ่อมแซมด้วยกระบวนการเชื่อมได้ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม [1] [3] [4] นอกจากนี้ชิ้นงานเหล็กหล่อโครเมียมที่ผ่านการใช้งานที่เกิดการสึกหรอจากการเสียดสีสามารถซ่อมแซมได้ด้วยกระบวนการเชื่อม ซึ่งต้องเลือกตัวแปรหรือปัจจัยในการเชื่อมอย่างระมัดระวัง เช่น การพิจารณาส่วนผสมทางเคมี กระแสเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม กระบวนการเชื่อมและลวดเชื่อมที่เหมาะสม เพื่อให้มีความแข็งแรงและทนทาน ยึดระยะเวลาการใช้งานได้ยาวนานขึ้น [4] ปัจจัยอย่างหนึ่งที่น่าสนใจคือการศึกษากำหนดจำนวนชั้นของแนวเชื่อมซึ่งการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการเพิ่มจำนวนชั้นในการพอกแข็ง ส่งผลทำให้ความแข็งแรงและความต้านทาน

การสึกหรอเพิ่มขึ้น [5] นอกจากนี้ยังมีผลการศึกษาการเชื่อมโดยใช้เทคนิคการเชื่อมรองพื้น (Buttering) พบว่าการเชื่อมพอกแข็งที่มีการสร้างชั้นรองพื้นมีค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมสูงกว่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่ไม่มีการสร้างชั้นรองพื้น [6] การเชื่อมรองพื้นช่วยให้รอยเชื่อมมีความเหนียว ป้องกันการแตกร้าวในแนวเชื่อม [7] เทคนิคการเชื่อมแบบรองพื้นมีความจำเป็นสำหรับการเชื่อมเหล็กหล่อเนื่องจากโครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อโครเมียมสูงประกอบด้วย คาร์ไบด์ (Carbide) มาร์เทนไซต์ (Martensite) [1] ที่มีความแข็งแรงสูงมีโอกาสเกิดการแตกเปราะได้ง่าย

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาการเชื่อมพอกแข็งชิ้นงานเหล็กหล่อโครเมียมสูง ที่ใช้เทคนิคการเชื่อมรองพื้นและเปรียบเทียบรูปแบบการเชื่อมแบบชั้นเดียวและแบบสองชั้นแนวเชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อมรองพื้นและลวดเชื่อมพอกแข็งที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรง เพื่อข้อมูลพื้นฐานและเป็นแนวทางในการเลือกใช้เทคนิคในการเชื่อมสำหรับเชื่อมซ่อมแซมเหล็กหล่อโครเมียมสูงเพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานและสามารถนำไป

ประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมการเชื่อมซ่อมบำรุง
ด้วยวิธีการเชื่อมพอกผิวแข็งต่อไป

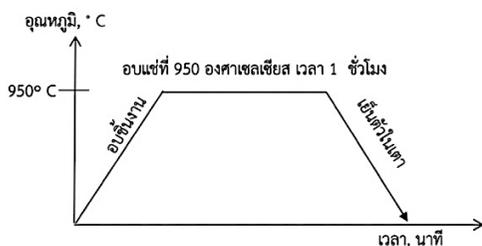
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ชิ้นงานทดลองเป็นเหล็กหล่อโครเมียมสูงชนิด 16wt%Cr, 2wt%Mo ที่เติมซิลิโคน (Si) ในปริมาณ 0.5wt%, 1.0 wt%, 1.5wt% และ 2.0 wt% วัดส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ได้ข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีชิ้นงานทดลอง

ชิ้นงาน	ส่วนผสมทางเคมี					
	C	Cr	Si	Mn	Mo	C
0.5 %Si	2.96	15.96	0.52	0.68	1.99	2.96
1.0 %Si	2.95	15.79	1.04	0.63	2.05	2.95
1.5 %Si	2.90	16.07	1.55	0.62	1.97	2.90
2.0 %Si	2.95	16.07	1.98	0.62	1.99	2.95

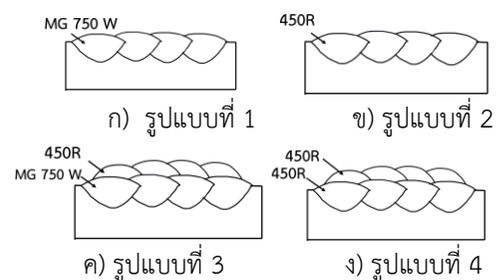
2.2 ตัดชิ้นงานขนาด กว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร อบอ่อนชิ้นงานทดลองที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ให้เย็นตัวในเตา ดังแสดงภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เงื่อนไขกระบวนการอบอ่อน

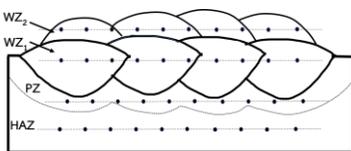
2.3 ขั้นตอนการเชื่อม เริ่มจากการใช้เปลวแก๊สให้ความร้อนแก่ ชิ้นงานที่ อุณหภูมิ 650-700 องศาเซลเซียส [7] ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ Thermocouple Thermometers Type K รุ่น HT-9815 เชื่อมชิ้นงานทดลองด้วยแขนกลเชื่อม KAWASAKI ใช้กระแสไฟเชื่อม 200 แอมแปร์

แรงดันไฟฟ้าเชื่อม 20 โวลต์ ความเร็วเชื่อม 55 เซนติเมตรต่อ นาที ขนาดลวดเชื่อม 1.2 มิลลิเมตร แนวเชื่อมชั้นรองพื้นเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมโลหะแก๊สปกคลุมด้วยลวดเส้นตัน (Solid wire) MG 750W ส่วนผสมทางเคมี 0.09%C, 7.0%Mn, 0.9%Si, 19%Cr, 8.5%Ni, 0.1%Mo, 0.08%Cu ชั้นพอกแข็งเชื่อมด้วยลวดไส้ฟลักซ์ (Flux core wire) 450R ส่วนผสมทางเคมี 0.3%C, <1.5%Si, <2.0%Mn, 2.4%Cr ทดลองเชื่อม 4 รูปแบบ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 รูปแบบการเชื่อม

2.4 การทดสอบโครงสร้างจุลภาคและความแข็งชิ้นงานเริ่มจากตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้า (wire electrical discharge machine, WEDM) จากนั้นวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical micro scope) ในบริเวณโลหะเชื่อม (Weld zone, WZ) บริเวณเขตกระทบร้อน (Heat affected zone, HAZ) วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ใช้เทคนิค EDS ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในบริเวณโลหะเชื่อม และทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers hardness test, HV30) โดยตำแหน่งในการทดสอบความแข็ง 10 จุด ในแต่ละชิ้นแนวเชื่อม ดังภาพที่ 3

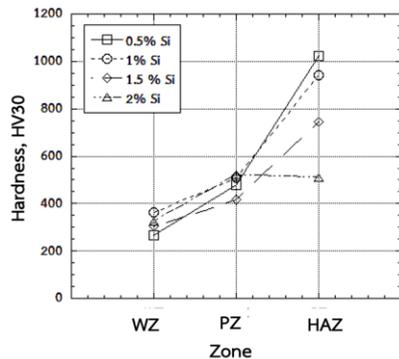


ภาพที่ 3 ตำแหน่งในการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและการทดสอบความแข็งชิ้นแนวเชื่อม

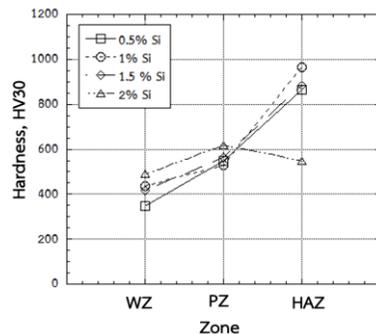
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ความแข็งบริเวณโลหะเชื่อมต่ำกว่าความแข็งบริเวณหลอมละลายบางส่วน (Partial melt zone , PZ) และบริเวณเขตกระทบร้อนทุกรูปแบบการเชื่อม โดยเนื้อโลหะเชื่อมรองพื้นหนึ่งชั้นตามรูปแบบที่ 1 ด้วยลวดเชื่อม MG 750W มีความแข็งต่ำสุด 265 HV โลหะเชื่อมที่มีความแข็งสูงสุดคือเชื่อมแบบสองชั้นด้วยลวดเชื่อม 450R ค่าความแข็ง 473 HV บริเวณเขตกระทบร้อนมีความแข็งสูงกว่าเนื้อโลหะเชื่อมทุกตัวแปรการทดลอง โดยชิ้นงานที่มีปริมาณซิลิคอน 1.5 % มีความแข็งสูงสุด 1,050 HV และค่าความแข็งมี

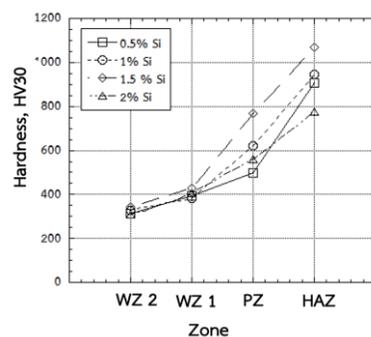
แนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณซิลิคอนเพิ่มเป็น 2 % [2] กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับรูปแบบการเชื่อม ดังภาพที่ 4-7



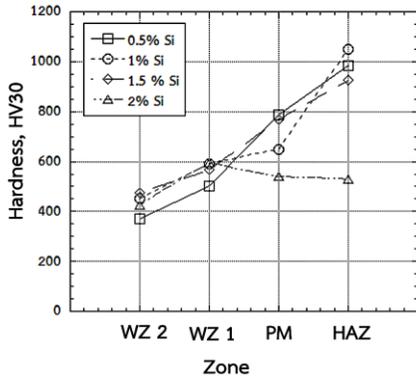
ภาพที่ 4 กราฟความแข็งโลหะเชื่อมแบบหนึ่งชั้นด้วยลวดเชื่อม MG 750W



ภาพที่ 5 กราฟความแข็งโลหะเชื่อมแบบหนึ่งชั้นด้วยลวดเชื่อม 450R

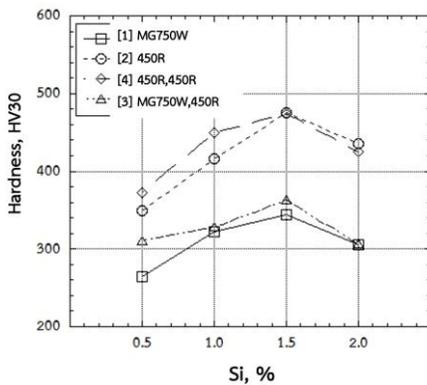


ภาพที่ 6 กราฟความแข็งโลหะเชื่อมชั้นแรกด้วย MG 750W ชั้นที่สองเชื่อมด้วย 450R



ภาพที่ 7 กราฟความแข็งโลหะเชื่อมแบบสองชั้นเชื่อมด้วยลวดเชื่อม 450R

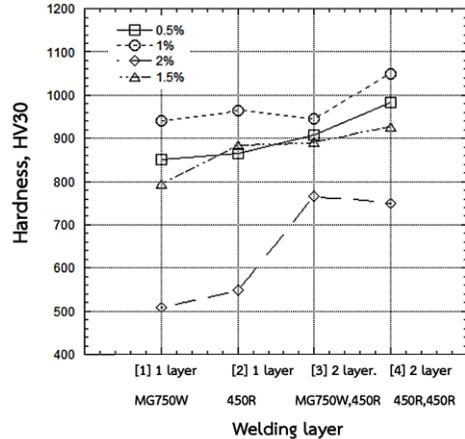
พิจารณาความแข็งบริเวณเนื้อโลหะเชื่อมดังภาพที่ 8 กราฟแสดงความแข็งกับชนิดลวดเชื่อมและรูปแบบการเชื่อมพบว่า การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมพอกแข็ง 450R ตามรูปแบบที่ 2 เชื่อมชั้นเดียว และตามรูปแบบที่ 4 เชื่อมแบบสองชั้น มีค่าความแข็งที่สูงกว่าการเชื่อมตามรูปแบบที่ 1 ที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อมรองพื้น MG 750 W แบบชั้นเดียวและรูปแบบที่ 3 เชื่อมสร้างชั้นรองพื้นก่อนเชื่อมทับหน้าด้วยลวดเชื่อมพอกแข็ง



ภาพที่ 8 กราฟความแข็งบริเวณแนวเชื่อม

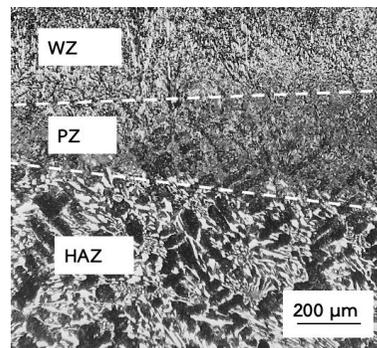
ความแข็งบริเวณเขตกระทบบร้อนพบว่ารูปแบบการเชื่อมแบบที่ 3 และรูปแบบการเชื่อมแบบที่ 4 มีค่าความแข็ง 750-1050 HV ซึ่งสูงกว่าการเชื่อมแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ที่มีค่าความแข็ง

ระหว่าง 500-960 HV ดังภาพที่ 9 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าความแข็งบริเวณเขตกระทบบร้อนนั้นรูปแบบการเชื่อมแบบสองชั้นให้ค่าความแข็งสูงกว่าการเชื่อมแบบแนวเชื่อมชั้นเดียว



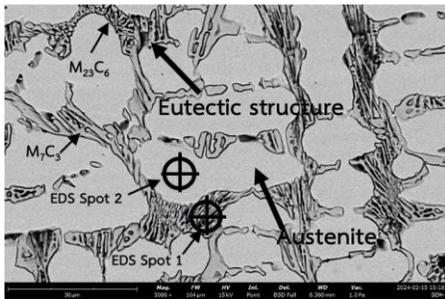
ภาพที่ 9 กราฟความแข็งบริเวณเขตกระทบบร้อน

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคพบว่าบริเวณโลหะเชื่อมและบริเวณหลอมละลายบางส่วนมีลักษณะเกรน (grain) ที่ละเอียดกว่าบริเวณเขตกระทบบร้อน ดังภาพที่ 10 แสดงความแตกต่างโครงสร้างจุลภาคทั้ง 3 บริเวณซึ่งความแตกต่างของโครงสร้างนี้ส่งผลต่อความแข็ง

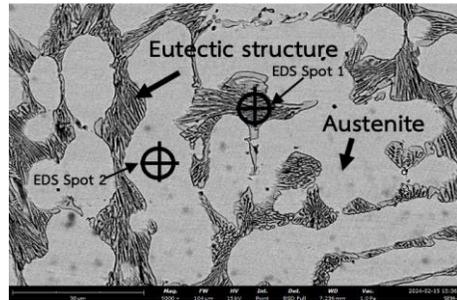


ภาพที่ 10 เปรียบเทียบโครงสร้างแต่ละบริเวณโครงสร้างจุลภาคเนื้อโลหะเชื่อมทั้ง MG750 W และ 450R พบโครงสร้างยูเทคติก

(Eutectic structure) และเนื้อพื้นออสเทนไนท์ (Austenite) [8],[9] โครงสร้างจุลภาคที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของลวดเชื่อมคือการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ ลวดเชื่อม 450R พบแถบคาร์ไบด์ชนิด M_7C_3 สลับกับ $M_{23}C_6$ ดังภาพที่ 11 ซึ่งลักษณะของโครงสร้างจุลภาคสอดคล้องกับงานวิจัยของ K. WIECZERZAK [10] ส่วนลวดเชื่อม MG750 W พบแถบคาร์ไบด์ที่มีขนาดเล็กดังภาพที่ 12 คาร์ไบด์ชนิด M_7C_3 มีความแข็งแรงสูงกว่าคาร์ไบด์ชนิด $M_{23}C_6$ ดังนั้นเป็นสาเหตุเนื้อโลหะเชื่อม 450R มีค่าความแข็งแรงที่สูงกว่าเนื้อโลหะเชื่อม MG750W



ภาพที่ 11 โครงสร้างเนื้อโลหะเชื่อม 450R



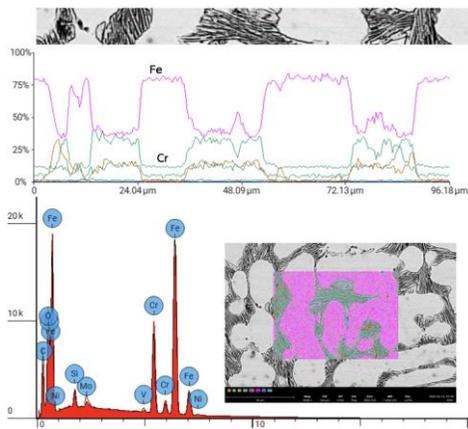
ภาพที่ 12 โครงสร้างเนื้อโลหะเชื่อม MG 750W

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุบริเวณเนื้อโลหะเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยเทคนิค EDS แบบจุด โดยเลือกวิเคราะห์บริเวณแถบคาร์ไบด์ (EDS Spot 1) และบริเวณโครงสร้างพื้นออสเทนไนท์ (EDS Spot 2) ตำแหน่งในการวิเคราะห์ดังภาพที่ 11 และ ภาพที่ 12 ผลแสดงดังตารางที่ 2 อัตราส่วนอะตอมของธาตุ Cr/Fe พบว่าบริเวณแถบคาร์ไบด์ของโลหะเชื่อม MG750 W ได้ค่า Cr/Fe= 1.0 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ K. WIECZERZAK และคณะ [10] ที่อธิบายไว้ว่า Cr/Fe= 0.99 จะเกิดคาร์ไบด์ชนิด $M_{26}C_3$ ส่วนผลการวิเคราะห์บริเวณแถบคาร์ไบด์ของโลหะเชื่อม 450R ได้ค่า Cr/Fe= 1.4 จะเกิดคาร์ไบด์ชนิด M_7C_3 [10]

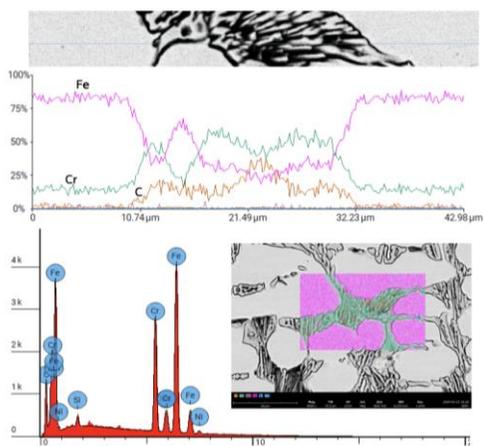
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี

โลหะเชื่อม	ตำแหน่งวิเคราะห์	ส่วนผสมทางเคมี (Atomic Conc.)			Cr/Fe Ratio
		C	Cr	Fe	
450R	Spot 1	49.194	22.443	15.030	1.4
	Spot 2	14.242	12.781	65.714	0.18
MG 750 W	Spot 1	43.216	27.484	27.814	1.0
	Spot 2	36.715	6.200	49.428	0.12

ผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค EDS แบบ Line scan และแบบ MAP เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นถึงการกระจายตัวของธาตุทั้งบริเวณแถบคาร์ไบด์และเนื้อพื้นออสเทนไนต์ผลการวิเคราะห์พบว่า บริเวณเนื้อพื้นออสเทนไนต์มีปริมาณเหล็ก (Fe) สูง และโครเมียม (Cr) ต่ำ ส่วนบริเวณแถบคาร์ไบด์มีปริมาณเหล็กที่ลดลงและโครเมียมมีปริมาณเพิ่มขึ้น กราฟแสดงปริมาณธาตุต่างๆ ในแต่ละบริเวณและการกระจายตัวของธาตุแสดงดังภาพที่ 13 ภาพที่ 14

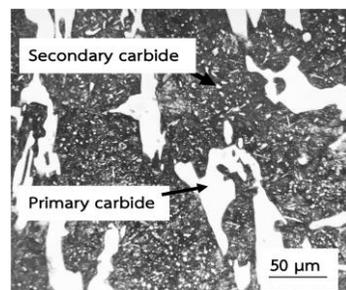


ภาพที่ 13 ผลการวิเคราะห์ EDS แบบ Line scan และแบบ MAP บริเวณเนื้อโลหะเชื่อม MG 750W



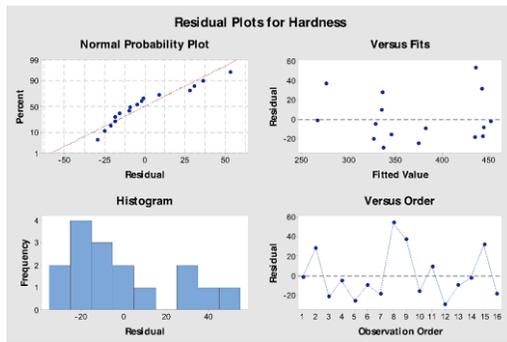
ภาพที่ 14 ผลการวิเคราะห์ EDS แบบ Line scan และแบบ MAP บริเวณเนื้อโลหะเชื่อม 450R

ในสภาพอบอ่อนโครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อโครเมียมสูงประกอบด้วยคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นลำดับแรก (Primary carbide) หรือยูเทคติกคาร์ไบด์ (Eutectic carbide) ชนิด M_7C_3 และโครงสร้างพื้นเพิร์ลไลต์ (Pearlite) เมื่อชิ้นงานได้รับความร้อนจากการเชื่อมและเย็นตัวในอากาศเสมือนเป็นกระบวนการชุบแข็งสำหรับเหล็กหล่อโครเมียมสูงซึ่งจะได้โครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อพื้นของบริเวณเขตกระทันประกอบด้วยมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ลำดับสอง (Secondary carbide) ชนิด $M_{23}C_6$ ที่มีความแข็งสูง จากการทดลองนี้บริเวณเขตกระทันร้อนมีความแข็งระหว่าง 500-960 HV ขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานทดลอง เมื่อเชื่อมแนวเชื่อมสองชั้นทำให้ชิ้นงานได้รับความร้อนซ้ำ ซึ่งเทียบได้กับที่ผ่านการอบคืนตัว (Temper) ซึ่งกระบวนการอบคืนตัวนั้นจะเกิดการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับสอง (Secondary carbide) ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้บริเวณเขตกระทันมีความแข็งสูงขึ้น โดยมีค่าความแข็งระหว่าง 750-1,050 HV ตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคบริเวณเขตกระทันที่ผ่านการเชื่อมสองชั้นแสดงดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเขตกระทัน

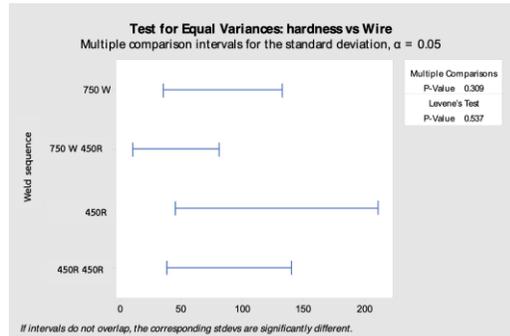
การวิเคราะห์ทางสถิติผลการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลตั้งภาพที่ 16 กราฟ normal probability plot มีค่า P-Value 0.367 มากกว่านัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ กราฟ versus fits ข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างอิสระ ไม่เป็นแนวโน้มและกราฟ versus order มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอรอบค่ากลางไม่เป็นรูปแบบที่ชัดเจน



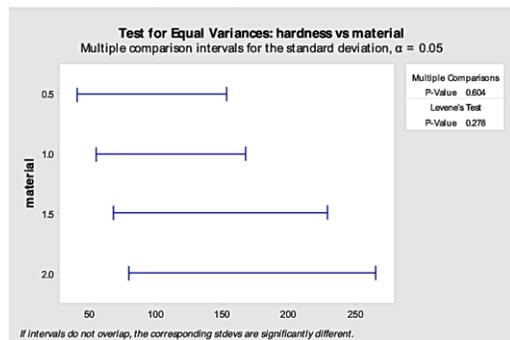
ภาพที่ 16 ผลการตรวจสอบคุณภาพข้อมูล

การทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูล (test equal of variance) ของค่าความแข็งสำหรับปัจจัยด้านรูปแบบการเชื่อมพบว่า มีค่า P-Value 0.537 ดังภาพที่ 17 และปัจจัยชนิดวัสดุในแต่ละปริมาณซิลิกอนที่ผสมเต็มมีค่า P-Value 0.278 ดังภาพที่ 18 ซึ่งมากกว่านัยสำคัญทางสถิติ 0.05 สรุปได้ว่าข้อมูลมีความแปรปรวน

ไม่แตกต่างกัน มีคุณภาพที่สามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไปได้



ภาพที่ 17 การทดสอบความแปรปรวนเท่ากันของข้อมูลปัจจัยรูปแบบการเชื่อม



ภาพที่ 18 การทดสอบความแปรปรวนเท่ากันของข้อมูลปัจจัยปริมาณซิลิกอนที่ผสมเต็ม

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Weld sequence	3	46762	15587	15.34	0.001
Material	3	12426	4142	4.08	0.044
Error	9	9145	1016		
Total	15	68334			

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two way ANOVA) ดังตารางที่ 3 พบว่าปัจจัยรูปแบบการเชื่อม มีค่า P-Value .001 ปัจจัยปริมาณซิลิกอนที่ผสมเติมมีค่า P-Value 0.044 น้อยกว่านัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่ารูปแบบการเชื่อมและชนิดวัสดุตามปริมาณซิลิกอนที่ผสมเติม มีอย่างน้อย 1 คู่ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งที่แตกต่างแตกต่างกัน

การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วย Fisher pairwise model พบว่ารูปแบบการเชื่อมแบบที่ 2 ที่เชื่อมหนึ่งชั้นแนวเชื่อมด้วยลวดเชื่อม 450R และแบบที่ 4 ที่เชื่อมสองชั้นแนวเชื่อมด้วยลวดเชื่อม 450R มีค่าความแข็งเฉลี่ยจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันโดยให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าการเชื่อมรูปแบบที่ 1 และ รูปแบบที่ 3 ที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม MG 750W ดังตารางที่ 4 ส่วนปัจจัยชนิดวัสดุตามปริมาณซิลิกอนที่เติมพบว่า ชิ้นงานที่มีปริมาณซิลิกอน 0.5%, 1.0% และ 1.5 % มีค่าความแข็งเฉลี่ยจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งค่าความแข็งเฉลี่ยสูงกว่าชิ้นงานที่มีปริมาณซิลิกอน 0.5% ดังตารางที่ 5

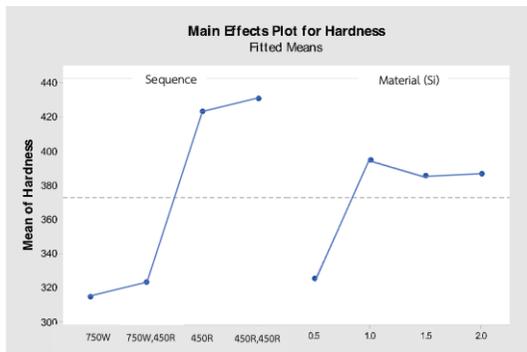
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูลโดยใช้ Fisher pairwise สำหรับปัจจัยปัจจัยรูปแบบการเชื่อม

Weld Sequence	N	Mean	Grouping	
4	4	430.36	A	
2	4	422.72	A	
3	4	323.12		B
1	4	314.35		B

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูลโดยใช้ Fisher pairwise สำหรับปัจจัยชนิดของวัสดุตามปริมาณซิลิกอน

Material (Si)	N	Mean	Grouping	
1.0	4	394.519	A	
2.0	4	386.306	A	
1.5	4	384.953	A	
0.5	4	324.791		B

กราฟแสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อมใช้ Main effects plot พบว่าปัจจัยรูปแบบการเชื่อมส่งผลต่อค่าความแข็งของเนื้อโลหะเชื่อมอย่างเห็นได้ชัด โดยพบว่า การเชื่อมด้วยลวดเชื่อม 450R ทั้งแบบหนึ่งชั้นแนวเชื่อมและแบบสองชั้นแนวเชื่อมให้ความแข็งที่สูงกว่าการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม MG750 W อย่างเห็นได้ชัด ส่วนปัจจัยด้านปริมาณซิลิคอนที่เติมจะเห็นว่าส่งผลต่อความแข็งที่ชัดเจนเมื่อเติมซิลิคอนจากช่วง 0.5% ไปเป็น 1% ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความแข็ง

การเชื่อมพอกแข็งด้วยลวดเชื่อม 450R ทั้งการเชื่อมแบบชั้นเดียวและแบบสองชั้นให้ความแข็งที่สูงกว่าการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม MG 750W แต่เทคนิคการเชื่อมสร้างชั้นรองพื้นมีความจำเป็นในการเชื่อมเนื่องจากเหล็กหล่อโครเมียมสูงมีโครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยคาร์ไบด์ที่มีความแข็งสูง ในการเชื่อมเหล็กกลุ่มนี้ หากเลือกปัจจัยในการเชื่อมที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการแตกร้าวได้ง่าย ซึ่งการเชื่อมสร้างชั้นรองพื้นช่วยให้รอยเชื่อมมีความเหนียวและช่วยป้องกันการแตกร้าวในแนวเชื่อม [7] การใช้ลวดเชื่อม MG 750W ในการเชื่อม เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาเชื่อมสร้างแนวเชื่อมชั้น

รองพื้นได้ดี ในส่วนของการเชื่อมแบบสองชั้นเทียบได้กับการอบคืนตัวสำหรับเหล็กหล่อโครเมียมสูงซึ่งส่งผลให้บริเวณเขตกระแทกร้อนเกิดการตกตะกอนของคาร์ไบด์ที่มากขึ้น [11] หากเพิ่มจำนวนชั้นแนวเชื่อมความร้อนจากการเชื่อมจะเป็นการอบคืนตัวซ้ำทำให้การตกตะกอนของคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย [12] จากการศึกษาชิ้นเนื้อเชื่อมพอกแข็งด้วยลวดเชื่อม 450R มีความแข็งตรงตามคุณสมบัติที่ระบุจากผู้ผลิตซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานทนต่อการเสียดสี อย่างไรก็ตามเนื้อโลหะเชื่อมยังมีความแข็งที่ต่ำกว่าเขตกระแทกร้อน หากต้องการความแข็งที่ใกล้เคียงกับเขตกระแทกร้อนเพื่อให้เนื้อโลหะเชื่อมมีความแข็งทนการเสียดสีได้มากขึ้นนั้น ควรเลือกลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของธาตุที่สนับสนุนการเกิดคาร์ไบด์ เช่น ลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของธาตุ โมลิบดีนัม วานาเดียม และโครเมียม เป็นต้น ซึ่งต้องศึกษาตัวแปรในการเชื่อมที่เหมาะสมต่อไป ในงานวิจัยนี้ไม่ได้กล่าวถึงบริเวณโลหะฐานเนื่องจากชิ้นงานทดลองมีความหนา 5 มิลลิเมตร ดังนั้นความร้อนจากการเชื่อมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งและโครงสร้างจุลภาคทั้งชิ้นงานทำให้ไม่เหลือสภาพของโลหะฐานเดิม สำหรับนักวิจัยที่สนใจศึกษาเพิ่มเติม ควรเพิ่มความหนาของชิ้นงานทดลองเพื่อให้เห็นความเปลี่ยนแปลงความแข็งและโครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อม บริเวณเขตกระแทกร้อน และบริเวณโลหะฐาน

4. สรุปผลการวิจัย

4.1 การเชื่อมแบบชั้นเดียวและแบบสองชั้นด้วยลวดเชื่อม 450R พบโครงสร้างคาร์ไบด์ทั้งชนิด M_7C_3 และ $M_{23}C_6$ ซึ่งให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าการเชื่อมด้วย

- Mechanical Properties of Stellite 6 Part Fabricated by Wire Arc Additive Manufacturing. Metals. 2019; 9:474.
- [10] Wieczerek k, Bala p, Stepień m, et al. The characterization of cast Fe-Cr-C alloy charakterystyka stopu Fe-Cr-C W stanie litym archives of metallurgy and materials. 2015; 60: 779-782.
- [11] Kosasu P , Inthidech S Effect of Silicon on Abrasive Wear Behavior of Heat-Treated 16% Cr - 2% Mo Cast Iron RMUTI JOURNAL Science and Technology.2019; 12 (1):42-56.
- [12] Inthidech S, Boonmak K, Sricha roenchai P, et al. Effect of Repeated Tempering on Hardness and Retained Austenite of High Chromium Cast Iron Containing Molybdenum Materials Transactions. 2010; 51(7): 1264- 1271

การปรับปรุงกระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูปด้วยแนวคิดการผลิตแบบลีน

Enhancing the Production Process of Knockdown House Through the Lean Manufacturing Concept

ชลิตา อุดมรักษาสกุล¹, ชลากร อุดมรักษาสกุล² และ นิวัฒน์ชัย ใจคำ^{3*}
Chalida Udomraksasakul¹, Chalakorn Udomraksasakul²
and Niwatchai Jaikham^{3*}

¹หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

²หลักสูตรวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

²Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

³หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

³Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai

* Corresponding Author: E-mail address: niwatchai@rmut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูปและลดมูลค่าการเสียโอกาสในการขายให้กับบริษัทกรณีศึกษา จากข้อมูลยอดขายของบริษัทฯ พบว่า ไม่สามารถผลิตบ้านไม้สำเร็จรูปส่งให้กับลูกค้าได้ตามจำนวนที่ลูกค้าต้องการ ทำให้สูญเสียโอกาสในการขาย 1,836,000 บาทต่อปี คณะผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้แนวคิดการผลิตแบบลีนในการระบุความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต ประยุกต์ใช้สายธารแห่งคุณค่าในการทำให้เห็นกิจกรรมการไหลในกระบวนการผลิตตั้งแต่รับวัตถุดิบเข้าจนไปถึงการส่งผลิตภัณฑ์ให้กับผู้บริโภค และประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูป ผลการดำเนินการพบว่า สามารถลดกระบวนการผลิตได้ 9 ขั้นตอน สามารถลดเวลาการผลิตได้ 13 วันต่อหลัง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้ 2 หลังต่อปี และสามารถลดมูลค่าการเสียโอกาสในการขายได้ 1,224,000 บาทต่อปี **คำสำคัญ** : การผลิตแบบลีน, สายธารแห่งคุณค่า, หลักการ ECRS บ้านไม้สำเร็จรูป

ABSTRACT

The purpose of this research is to increase the productivity of the knockdown house production process and decrease the value of lost sales opportunities for case study. This result of losing the potential revenues is at 1,836,000 baht per month. Consequently, the researcher team applied the Lean manufacturing methodology to identify waste in the production process. Utilize value stream mapping to visualize the flow activities in the production process from obtaining raw materials to deliver the goods to clients, and employ ECRS technique to improve the manufacturing process of knockdown homes. The results showed that the manufacturing process could be streamlined into 9 process, the production time per home could be reduced by thirteen days, the production could be raised efficiently 2 homes per year, and the annual cost of losing sales opportunities could be reduced by 1,224,000 baht.

Keyword: Lean Manufacturing, Value Stream Mapping, ECRS Technique, Knockdown House

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันว่าภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเป็นแหล่งการผลิต ผลิตภัณฑ์จากไม้ โครงสร้างจากไม้ บ้านไม้สำเร็จรูป รวมทั้งไม้แปรรูปต่างๆ เป็นที่ยอมรับจากทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากเป็นแหล่งที่มีพันธุ์ไม้จำนวนมากที่เหมาะสมจะนำมาผลิตและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากไม้จากข้อมูล [1] รายได้ซื้อขายไม้แปรรูป ปี 2566 มีมูลค่า 1,107 ล้านบาท ซึ่งเพิ่มจากปี 2565 [2] ถึง 92 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 9.03 แสดงให้เห็นถึงการขยายตัวและความต้องการการใช้ไม้แปรรูปที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งไม้แปรรูปสามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ตามความต้องการของลูกค้า เช่น บ้าน ศาลา โต๊ะ เก้าอี้ เป็นต้น ซึ่งบ้านไม้สำเร็จรูป เป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีความนิยมอย่างมากจากลูกค้า โดยเฉพาะลูกค้าที่ประกอบกิจการที่พักสำหรับนักท่องเที่ยว

หลังจากสถานการณ์โควิด 19 [3] การท่องเที่ยวในภาคเหนือได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่าง

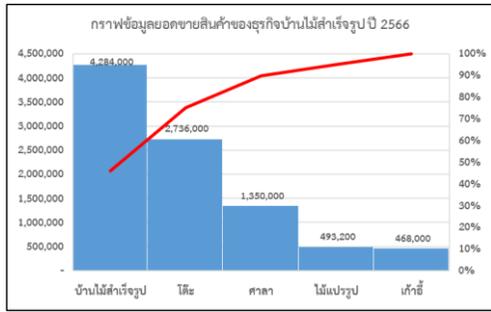
มาก ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลสถานการณ์การท่องเที่ยวในประเทศ รายจังหวัด ปี 2566 พบว่าภาคเหนือตอนบนมีอัตราการเข้าพักของนักท่องเที่ยวปี 2566 รวม 563.06 เพิ่มขึ้นจากปี 2565 ร้อยละ 7.19 มีจำนวนผู้เข้าพักของนักท่องเที่ยวปี 2566 รวม 15,041,385 คน เพิ่มขึ้นจากปี 2565 ร้อยละ 18.30 มีรายได้จากนักท่องเที่ยวปี 2566 รวม 142,658.55 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปี 2565 ร้อยละ 36.65 แสดงให้เห็นถึงความนิยมของนักท่องเที่ยวที่ต้องการมาเยี่ยมชมแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ แหล่งท่องเที่ยวทางประวัติศาสตร์และศิลปวัฒนธรรม และแหล่งท่องเที่ยวสำหรับกิจกรรมพิเศษ นันทนาการและความสนใจพิเศษ รวมทั้งวิถีชีวิตของชาวภาคเหนือตอนบนเป็นอย่างมาก ส่งผลให้สถานประกอบการธุรกิจที่พักใกล้แหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ แหล่งท่องเที่ยวทางประวัติศาสตร์และศิลปวัฒนธรรม เช่น รีสอร์ท โฮมสเตย์ เกสต์เฮาส์ ซึ่งสถานประกอบการธุรกิจที่พักให้ความสนใจ

ที่จะใช้บ้านไม้สำเร็จรูปในการให้บริการเป็นที่พัก
 สำหรับนักท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก

บริษัทกรณีศึกษาได้ดำเนินธุรกิจการผลิต
 และจำหน่ายผลิตภัณฑ์จากไม้ ได้แก่ บ้านไม้
 สำเร็จรูป ศาลา โต๊ะ เก้าอี้ และไม้แปรรูปตามที
 ลูกค้านำมาสั่งซื้อ มานานกว่า 20 ปี ลูกค้าที่สั่งซื้อ
 สินค้าส่วนใหญ่เป็นผู้ประกอบการธุรกิจที่พักสำหรับ
 นักท่องเที่ยวทางภาคเหนือตอนบน จากการศึกษา
 ข้อมูลยอดขายของบริษัทกรณีศึกษาปี 2566 พบว่า
 มีสินค้าทั้งหมด 5 รายการ ดังตารางที่ 1 สินค้าที่มี
 มูลค่ายอดขายสูงสุดคือ บ้านไม้สำเร็จรูป มีมูลค่า
 ยอดขายรวมอยู่ที่ 4,284,000 บาท คิดเป็นร้อยละ
 45.91 ของมูลค่ายอดขายทั้งหมด ดังภาพที่ 1 และ
 เมื่อตรวจสอบข้อมูลการสั่งซื้อสินค้าปี 2566 พบว่า
 ลูกค้าสั่งซื้อบ้านไม้สำเร็จรูป จำนวน 10 หลัง แต่
 บริษัทสามารถผลิตส่งให้กับลูกค้าได้แค่ 7 หลังทำให้
 สูญเสียโอกาสในการขายถึง 1,836,000 บาท ซึ่ง
 ทางบริษัทฯ ให้ความสำคัญในการลดมูลค่าการเสีย
 โอกาสในการขาย และเพิ่มประสิทธิภาพ
 กระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูปเพื่อตอบสนองต่อ
 ความต้องการของลูกค้าได้อย่างครบถ้วน รวมทั้ง
 เป็นการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าและเพิ่ม
 มูลค่ายอดขายในอนาคตอีกด้วย

ตารางที่ 1 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา

ลำดับ	ชื่อผลิตภัณฑ์	รูปผลิตภัณฑ์
1	บ้านไม้ สำเร็จรูป	
2	ศาลา	
3	โต๊ะ	
4	เก้าอี้	
5	ไม้แปรรูป	



ภาพที่ 1 มูลค่าและสัดส่วนของยอดขายสินค้า บริษัททฤษฎีศึกษา

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้แนวคิดการผลิตแบบลีน [4] และหลักการ ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต [5] บ้านไม้สำเร็จรูป เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูป และลดมูลค่าการเสียโอกาสในการขายให้กับบริษัททฤษฎีศึกษา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีและงานวิจัยดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 แนวคิดการผลิตแบบลีน

การผลิตแบบลีน [6] หมายถึง แนวคิดในการบริหารจัดการการผลิต หรือองค์กรให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเน้นการสร้างคุณค่าที่ลูกค้าต้องการ และการขจัดความสูญเปล่า (Wastes) ทั้ง 7 ประการในทุก ๆ กระบวนการ ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการทางโลจิสติกส์ หรือกระบวนการในสายการผลิตไปจนถึงตอบสนองความต้องการของลูกค้าไปถึงลูกค้าแบบทันที โดยเน้นสร้างประสิทธิผลสูงสุด และลดการสูญเสียในวงจร

ผลิตที่มุ่งเน้นในเรื่องการไหล (Flow) ของงานให้ต่อเนื่องเป็นหลัก

เป้าหมายของผู้ผลิตคือความพึงพอใจของลูกค้า [7] ซึ่งสามารถทำได้โดยการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ตรงเวลา ในราคาที่สมเหตุสมผล องค์กรใดไม่ว่าการผลิตหรือการบริการจะอยู่รอดและรักษาความสามารถไว้ได้ หากมีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะตอบสนองความต้องการของลูกค้าอย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ตามลำดับ ดังนั้น ไม่ต้องสงสัยเลยว่าจุดสนใจอันดับแรกจะต้องอยู่ที่การใช้ประโยชน์สูงสุดจากตัวแปรหลักเหล่านี้ ตามด้วยการลดความสูญเปล่าในการผลิต ซึ่งการผลิตแบบลดขั้นตอนกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในทุกภาคการผลิต หลังจากนั้นเทคนิคการผลิตแบบลีนไปใช้คือการลดรอบเวลา กำจัดกิจกรรมที่ไม่มีคุณค่า สถานที่ทำงานที่สะอาด เป็นระเบียบเรียบร้อย และถูกสุขลักษณะ นอกจากนี้การมีขั้นตอนการผลิตที่ราบรื่น การเพิ่มผลผลิต การลดต้นทุนการผลิต การมีส่วนร่วมของพนักงาน การลดสินค้าคงคลัง การสื่อสารภายในองค์กรที่ดี ทำให้การตัดสินใจในตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้ารวดเร็วขึ้น

2.1.2 สายธารแห่งคุณค่า

แผนภูมิสายธารแห่งคุณค่า [6, 8] คือ เครื่องมือที่ใช้เขียนแผนภาพที่แสดงถึงแนวทางการผลิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะแสดงทั้งการไหลของวัตถุดิบและข้อมูลในการผลิต ใช้ในการจำแนกหรือระบุถึงขั้นตอนที่เป็นการเพิ่มคุณค่าและไม่เพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์หรือที่เรียกว่า ความสูญเปล่า แล้วหาวิธีการเพื่อกำจัดความสูญเปล่านั้นออกไป ลักษณะของแผนภูมิสายธารแห่งคุณค่า คือการที่ให้เห็นมองเห็นกิจกรรม และการไหลทั้งหมดในการเคลื่อนย้ายสินค้าตั้งแต่วัตถุดิบจนไปสู่ผู้บริโภคขั้น

สุดท้าย เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการพิจารณา แผนภาพนั้นได้ใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวาด แผนภูมิสายธารแห่งคุณค่า ถือเป็นเครื่องมือพื้นฐาน ในการพยายามผลักดันองค์กรให้เข้าสู่การผลิตแบบ ลีนก่อนที่จะไปใช้เครื่องมืออื่น ๆ

2.1.3 หลักการ ECRS

หลักการ ECRS [9] เป็นหลักการที่ลด ความสูญเปล่าหรือ MUDA ทั้ง 7 ประการ ลงได้เป็น อย่างดี ซึ่งประกอบด้วย

1. การกำจัด (Eliminate) หมายถึง การ พิจารณาการทำงานปัจจุบันและทำการกำจัดความ สูญเปล่าทั้ง 7 ที่ประการ ที่พบในการผลิตออกไป คือการผลิตมากเกินไป การรอคอย การเคลื่อนที่/ เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น การทำงานที่ไม่ก่อให้เกิด ประโยชน์ การเก็บสินค้าที่มากเกินไป การเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น และ ของเสีย

2. การรวมกัน (Combine) สามารถลด การทำงานที่ไม่จำเป็นลงได้ โดยการพิจารณาว่า สามารถรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้หรือไม่ เช่น จากเดิมเคยทำ 5 ขั้นตอนก็รวมบางขั้นตอนเข้า ด้วยกัน ทำให้ขั้นตอนที่ต้องทำลดลงจากเดิม การ ผลิตก็จะสามารถทำได้เร็วขึ้นและลดการเคลื่อนที่ ระหว่างขั้นตอนลงอีกด้วย เพราะถ้ามีการรวม ขั้นตอนกัน การเคลื่อนที่ระหว่างขั้นตอนก็ลดลง

3. การจัดใหม่ (Rearrange) คือ การจัด ขั้นตอนการผลิตใหม่เพื่อให้ลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น หรือการรอคอย เช่น ในกระบวนการผลิต หากทำการ สลับขั้นตอนที่ 2 กับ 3 โดยทำขั้นตอนที่ 3 ก่อน 2 จะ ทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ลดลง เป็นต้น

4. การทำให้ง่าย (Simplify) หมายถึง การ ปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น โดย อาจจะออกแบบ Jig หรือ Fixture เข้าช่วยในการ ทำงานเพื่อให้การทำงานสะดวกและแม่นยำมากขึ้น

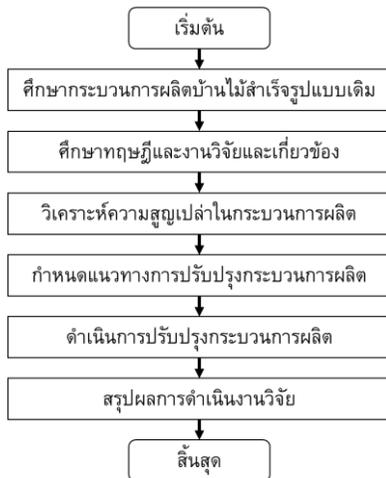
ซึ่งสามารถลดของเสียลงได้ จึงเป็นการลดการ เคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นและลดการทำงานที่ไม่จำเป็น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ การศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้การผลิตแบบลีน ในอุตสาหกรรมแบบไม่ต่อเนื่อง โดยใช้สายธารแห่ง คุณค่าเป็นเครื่องมือหลักในการลดเวลาในการผลิต และลดจำนวนสินค้าคงคลัง [10] การใช้การผลิต แบบลีนกำหนดและกำจัดของเสียเพื่อรักษา ความสามารถในการแข่งขันเหนือคู่แข่งโดยการ ปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตของระบบการผลิต และการเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และใช้เทคนิค สายธารแห่งคุณค่าปรับปรุงสายการผลิตของ อุตสาหกรรมสี [11] การลดของเสียในกระบวนการ ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ปุ๋ยมัดแช่แข็ง โดยนำเทคนิค ECRC โดยหาแนวทางในการลดเวลา ขอบกพร่อง และผลกระทบของของเสียในกระบวนการผลิต กระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ปุ๋ยมัดแช่แข็ง [12] การปรับปรุงกระบวนการบรรจุน้ำผึ้ง โดยใช้เทคนิค ECRC ในการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการบรรจุและ ปรับปรุงวิธีการทำงานใหม่ สามารถลดขั้นตอนใน การบรรจุน้ำผึ้งที่ไม่จำเป็นออกไป [13] คณะผู้วิจัย จึงประยุกต์ใช้สายธารแห่งคุณค่าในการศึกษาและ วิเคราะห์ในแต่ละกระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูป จากนั้นใช้แนวคิดการผลิตแบบลีน ในการวิเคราะห์ ความสูญเปล่าของกระบวนการ และทำการ ปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยประยุกต์ใช้หลักการ ECRC เพื่อกำจัดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น ใน กระบวนการผลิต

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การปรับปรุงกระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูปด้วยแนวคิดการผลิตแบบลีน มีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษากระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูปแบบเดิม

ดำเนินการศึกษากระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูปแบบเดิม (ก่อนการปรับปรุง) เพื่อให้ได้ข้อมูลกระบวนการผลิตแล้วนำไปวิเคราะห์กระบวนการทำงานในแต่ละขั้นตอน รวมทั้งใช้สำหรับการวิเคราะห์ความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต

3.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
คณะผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีเพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด 3 ทฤษฎีได้แก่ แนวคิดการผลิตแบบลีน สายธารแห่งคุณค่า และหลักการ ECRS และได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้นำทฤษฎีทั้ง 3 มาดำเนินงานวิจัยทั้งหมด 4 งานวิจัย

3.3 วิเคราะห์ความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต

ในการวิเคราะห์ความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต ได้ประยุกต์ใช้สายธารแห่งคุณค่าในการทำให้เห็นกิจกรรม และการไหลในกระบวนการผลิตตั้งแต่รับวัตถุดิบเข้าจนถึงการส่งผลิตภัณฑ์ให้กับผู้บริโภค จากนั้นประยุกต์ใช้แนวคิดการผลิตแบบลีนในการระบุความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต

3.4 กำหนดแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิต

การกำหนดแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตจะประยุกต์ใช้หลักการ ECRS โดยกำหนดแนวทางดังนี้

1. การกำจัด (Eliminate) กระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่ากับผลิตภัณฑ์ หรือเป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต

2. การรวมกัน (Combine) ของขั้นตอนการทำงานหรือกระบวนการผลิตที่สามารถทำไปพร้อม ๆ กันได้ เป็นการลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอย และการเคลื่อนที่/เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น การผลิตก็สามารถทำได้รวดเร็วขึ้น

3. การจัดใหม่ (Rearrange) จัดเรียงขั้นตอนการผลิตใหม่เพื่อให้กระบวนการผลิตมีความรวดเร็วขึ้น และเป็นการลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น หรือ การรอคอย

4. การทำให้ง่าย (Simplify) หมายถึง การปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยอาจจะออกแบบ Jig หรือ Fixture เข้าช่วยในการทำงานเพื่อให้การทำงานสะดวกและแม่นยำมากขึ้น ซึ่งสามารถลดของเสียลงได้ และเป็นการลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นและลดการทำงานที่ไม่จำเป็น

3.5 ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิต
เมื่อได้แนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิต
แล้ว คณะผู้วิจัยจะดำเนินการปรับปรุงกระบวนการ
ผลิตตามขั้นตอนที่ออกแบบไว้ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตาม
วัตถุประสงค์ที่วางไว้

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ความสูญ
เปล่าในกระบวนการผลิตแบบเดิม

ผลการศึกษา พบว่า มีกระบวนการผลิต
บ้านไม้สำเร็จรูปทั้งหมด 21 ขั้นตอน ใช้เวลาในการ
ผลิต 46 วัน ต่อหลัง คิดเป็น 267 วันทำงาน
โดยที่กระบวนการลำดับที่ 20 การเก็บรายละเอียด เป็น
กระบวนการที่ใช้เวลาทำงานที่มากที่สุดอยู่ที่ 40 วัน
ทำงาน คิดเป็นร้อยละ 14.98 ของสัดส่วนงาน
ทั้งหมด ดังตารางที่ 2 แล้วระบุคุณค่าของ
กระบวนการผลิตโดยมีเกณฑ์กำหนดดังนี้

ตารางที่ 2 กระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูปแบบเดิม

กระบวนการผลิต	เวลา ทำงาน (วัน)	จำนวน พนง. (คน)	กำลัง การผลิต(Manday)	VA		NVA		NVAR	
				IC	OC	IC	OC	IC	OC
1. ตัดไม้ซัดไม้	4	5	20	✓					
2. คัดแยกตามขนาด	3	5	15						✓
3. งานรากฐาน	3	8	24	✓					
4. งานโครงไม้เนื้อแข็ง	3	5	15	✓					
5. งานฝ้าเพดาน คานรับ หลังคาไม้ เนื้อแข็ง	2.5	6	15	✓					
6. งานสเปรย์น้ำยากันปลวกรอบที่ 1	1	2	2				✓		
7. งานมุงหลังคากระเบื้อง	3	6	18	✓					
8. ปูพื้นทั้งหมด	3	6	18	✓					
9. งานระเบียบ	2	3	6	✓					
10. ติดตั้งหน้าต่างพร้อมช่องระบาย อากาศ	0.5	2	1	✓					
11. ติดตั้งวงกบไม้ประตู หน้าต่าง	1	6	6	✓					
12. ผนั้กภายนอกทั้งสี่ด้านกรุไม้แต่ง เนื้อแข็ง	2	6	12	✓					

เกณฑ์ระบุคุณค่า

กิจกรรมที่ก่อให้เกิดคุณค่าจะระบุว่าเป็น VA
(Value Added)

กิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า NVA (Non-
Value Added)

กิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าแต่
จำเป็นต้องมีจะระบุว่าเป็น NVAR (Non-Value Added
but Require)

เกณฑ์ระบุสถานะ

กิจกรรมที่สามารถควบคุมได้จะระบุว่าเป็น
IC (In Control)

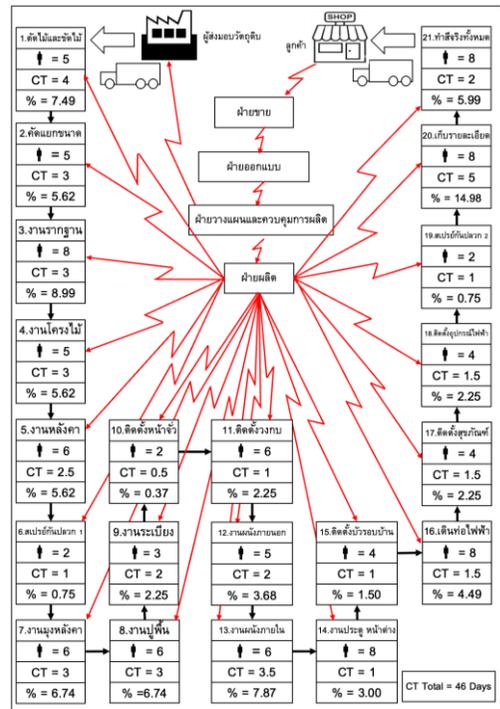
กิจกรรมที่ไม่สามารถควบคุมได้จะระบุว่าเป็น
OC (Out of Control)

ซึ่งพบว่า มีกระบวนการที่ก่อให้เกิดคุณค่า
17 กระบวนการ มีกระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า 2
กระบวนการ และมีกระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า
แต่จำเป็นต้องมี 2 กระบวนการ

กระบวนการผลิต	เวลา ทำงาน (วัน)	จำนวน พนง. (คน)	กำลัง การผลิต(Manday)	VA		NVA		NVAR	
				IC	OC	IC	OC	IC	OC
13. ผนังภายในกรุไม้ตั้งเนื้อแข็ง	3.5	6	21	✓					
14. งานประตู หน้าต่าง	1	8	8	✓					
15. ติดตั้งบัวรอบบ้าน	1	4	4	✓					
16. เดินท่อไฟฟ้าฝังบล็อก	1.5	8	12					✓	
17. งานงานติดตั้งสุขภัณฑ์	1.5	4	6	✓					
18. งานติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า	1.5	4	6	✓					
19. งานสเปรย์น้ำยากันปลวกรอบที่ 2	1	2	2				✓		
20. เก็บรายละเอียด	5	8	40	✓					
21. งานทำสีจริงทั้งหมด	2	8	16	✓					
รวม	46		267						

จากนั้นได้วิเคราะห์กระบวนการผลิตบ้าน
ไม่สำเร็จ ด้วยทฤษฎีสายธารแห่งคุณค่า (Value
Stream Mapping :VSM) ดังภาพที่ 3 โดยกำหนด
สัญลักษณ์ต่าง ๆ ดังนี้

- ♣ คือ จำนวนพนักงานในกระบวนการผลิต (คน)
- CT คือ รอบเวลาในการผลิตในแต่ละกระบวนการ
(วัน)
- % คือ สัดส่วนของงานในแต่ละกระบวนการผลิต
- ➔ คือ การส่งต่องานในแต่ละกระบวนการผลิต
- ↪ คือ การประสานงาน/สื่อสารงานในแต่ละ
กระบวนการผลิตหรือหน่วยงาน



ภาพที่ 3 สายธารแห่งคุณค่าของกระบวนการผลิต
บ้านไม่สำเร็จรูปแบบเดิม (ก่อนการปรับปรุง)

จากนั้นทำการวิเคราะห์ความสูญเสียเปล่าใน
กระบวนการผลิตบ้านไม่สำเร็จรูปแบบเดิม พบว่า
เกิดจากความสูญเสียเปล่าจากการรอคอย ความสูญเสีย

เปล่าจากกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสม และความ
สูญเปล่าจากสินค้าคงคลังที่ไม่จำเป็น ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความสูญเปล่าของกระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูปแบบเดิม

ชนิดความสูญเปล่า	รายละเอียด
1. ความสูญเปล่าจากการผลิตที่มากเกินไป	รอบเวลาในแต่ละสถานีนงานไม่เท่ากัน
2. ความสูญเปล่าจากการรอคอย	กระบวนการผลิตแบบเดิมเน้นการใช้วัสดุแยกชิ้นและคนงานจำนวนมาก ทำให้เกิดต้นทุนที่สูง และทำให้เกิดการรอคอยของกระบวนการผลิต
3. ความสูญเปล่าจากการขนส่ง	ไม่พบปัญหากระบวนการเนื่องจากผู้ใช้รับเหมาะสมในการขนส่ง
4. ความสูญเปล่าจากสินค้าคงคลังที่ไม่จำเป็น	มีการจัดเตรียมวัสดุสำหรับการผลิตล่วงหน้า 2 - 3 วัน จึงต้องมีสินค้าคงคลัง (วัสดุ) ก่อนการผลิต
5. ความสูญเปล่าจากกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสม	เกิดจากกระบวนการตรวจสอบที่ไม่เหมาะสม ซึ่งเป็นการตรวจสอบ 100% ระหว่างการทำงานและผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์และการเก็บรายละเอียดงานที่ค่อนข้างละเอียดจนเกินไป
6. ความสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหวที่ไม่เหมาะสม	เกิดจากกระบวนการที่พนักงานเตรียมวัสดุที่ใช้ในการผลิตไว้ห่างจากพื้นที่ผลิตมากเกินไปทำให้ต้องเดินไปหยิบวัสดุในระยะทางที่ไกลกว่าที่ควร
7. ความสูญเปล่าจากข้อบกพร่อง	ชิ้นงานเสีย จากการผลิตทั้งหมด เช่น ไม้แตกหัก

**4.2 แนวทางและผลการปรับปรุง
กระบวนการผลิต**

แนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตจะ
ประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ดังนี้

1. การกำจัด (Eliminate) จะกำจัดกระบวนการที่มีการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น เช่น การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการผลิตไว้ห่างจากพื้นที่ผลิตมากเกินไป
2. การรวมกัน (Combine) การรวมกันของกระบวนการผลิตที่สามารถทำพร้อมกันได้ หรือใช้พนักงานที่มีทักษะเหมือนกันได้ รวมทั้งการใช้เครื่องมือเครื่องจักรเดียวกันได้ ดังตารางที่ 4

3. การจัดใหม่ (Rearrange) ทำการจัดเรียงกระบวนการทำงานใหม่เมื่อรวมกระบวนการแล้ว เพื่อให้กระบวนการผลิตมีการไหลอย่างต่อเนื่อง

4. การทำให้ง่าย (Simplify) กำหนดให้มีการจัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ ให้พร้อมก่อนการทำงาน โดยให้เตรียมวัสดุไว้ใกล้กับพื้นที่การผลิต

เมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการรวมกันและจัดเรียงลำดับของกระบวนการผลิตแบบเดิม จะได้กระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูปแบบใหม่ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 การรวมกระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูป

กระบวนการผลิตแบบเดิม	กระบวนการผลิตแบบใหม่
1 + 2	1
3	2
4 + 6 + 8	3
7 + 10 + 11	4
5	5
9	6
12 + 13	7
16	8
14 + 15 + 17 + 18	9
20	10
19	11
21	12

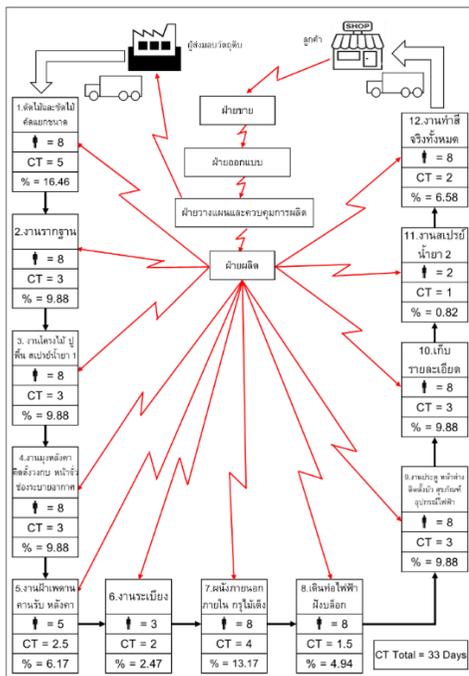
ตารางที่ 5 กระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูปแบบใหม่

กระบวนการผลิต	เวลาทำงาน (วัน)	จำนวน พนง. (คน)	กำลังการผลิต(Manday)	สัดส่วนของงาน (ร้อยละ)
1. ตัดไม้ ขัดไม้ และคัดแยก	5	8	40	16.46
2. งานรากฐาน	3	8	24	9.88
3. งานโครงไม้ ปูพื้น สเปรย์น้ำยากันปลวกรอบที่ 1	3	8	24	9.88
4. งานมุงหลังคา ติดตั้งวงกบ หน้าจั่ว ช่องระบายอากาศ	3	8	24	9.88
5. งานฝ้าเพดาน คานรับ หลังคาไม้เนื้อแข็ง	2.5	6	15	6.17
6. งานระเบียบ	2	3	6	2.47
7. ผนังภายนอก ภายใน กรุไม้แต่งเนื้อแข็ง	4	8	32	13.17
8. เดินท่อไฟฟ้าฝังปลอก	1.5	8	12	4.94
9. งานประตู่ หน้าต่าง ติดตั้งบัว สุขภัณฑ์ อุปกรณ์ไฟฟ้า	3	8	24	9.88
10. เก็บรายละเอียด	3	8	24	9.88
11. งานสเปรย์น้ำยากันปลวกรอบที่ 2	1	2	2	0.82
12. งานทำสิ่งจริงทั้งหมด	2	8	16	6.58

[64]

กระบวนการผลิต	เวลา ทำงาน (วัน)	จำนวน พนง. (คน)	กำลัง การผลิต(Manday)	สัดส่วนของงาน (ร้อยละ)
รวม	33		243	100.00

จากนั้นได้วิเคราะห์กระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จแบบใหม่ ด้วยทฤษฎีสายธารแห่งคุณค่า ดังภาพที่ 4 ซึ่งผลการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูป พบว่า สามารถลดกระบวนการผลิตได้ 9 ขั้นตอน สามารถลดเวลาการผลิตได้ 13 วันต่อหลัง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้ 2 หลังต่อปี และสามารถลดมูลค่าการเสียโอกาสในการขายได้ 1,224,000 บาทต่อปี ดังตารางที่ 6



ภาพที่ 4 สายธารแห่งคุณค่าของกระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูปแบบใหม่ (หลังการปรับปรุง)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานวิจัย ก่อนและหลังปรับปรุง

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลต่าง	หน่วย
ขั้นตอนการผลิต	21	12	- 9	ขั้นตอน
เวลาการผลิต	46	33	- 13	วัน/หลัง
ประสิทธิภาพในการผลิต	7	9	2	หลัง/ปี
มูลค่าการเสียโอกาสในการขาย	1,836,000	612,000	-1,224,000	บาท/ปี

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูปของบริษัทกรณีศึกษา พบว่า บริษัทฯ ไม่สามารถผลิตส่งให้กับลูกค้าได้ตามจำนวนที่ลูกค้าต้องการ ทำให้สูญเสียโอกาสในการขายถึง 1,836,000 บาทต่อปี คณะผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้แนวคิดการผลิตแบบลีนในการระบุดูความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิต ประยุกต์ใช้สายธารแห่งคุณค่าในการทำให้เห็นกิจกรรม และการไหลในกระบวนการผลิตตั้งแต่รับวัตถุดิบเข้าจนถึงการส่งผลิตภัณฑ์ให้กับผู้บริโภค และประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูป เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตและลดมูลค่าการเสียโอกาสในการขายให้กับบริษัทกรณีศึกษา ผลการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการ

ผลิตบ้านไม้สำเร็จรูป พบว่า สามารถลดกระบวนการผลิตได้ 9 ขั้นตอน สามารถลดเวลาการผลิตได้ 13 วันต่อหลัง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้ 2 หลังต่อปี และสามารถลดมูลค่าการเสียโอกาสในการขายได้ 1,224,000 บาทต่อปี

6. ข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงานวิจัย พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตบ้านไม้สำเร็จรูป จาก 7 หลังต่อปี เป็น 9 หลังต่อปี และสามารถลดมูลค่าการสูญเสียโอกาสในการขายจาก 1,836,000 บาทต่อปี เหลือ 612,000 บาทต่อปี ซึ่งยังไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ทั้งหมด คณะผู้วิจัยได้เสนอแนะให้ทางบริษัทฯ จัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำงานที่สนับสนุนการผลิตให้รวดเร็วขึ้น รวมทั้งให้รักษาและทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตทุกผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตให้กับบริษัทฯ ต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้, แผนปฏิบัติการประจำปี 2566, ข้อมูลจาก http://www.fio.co.th/fioWebdoc66/plan_stg66.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 ธันวาคม 2566)
- [2] องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้, แผนปฏิบัติการประจำปี 2565, ข้อมูลจาก http://www.fio.co.th/fioWebdoc64/plan_stg65.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 ธันวาคม 2566)
- [3] กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, สถานการณ์การท่องเที่ยวในประเทศ รายจังหวัด ปี 2566, ข้อมูลจาก <https://www.mots.go.th/news>

/category/705 (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 ธันวาคม 2566)

- [4] T. Haddad, B. W. Shaheen and I. Németh. 2021. “Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) of Extrusion Machine Using Lean Manufacturing Approach”. *Manufacturing Technology*, Vol. 21 (1): 56–64.
- [5] J. Singh, H. Singh and G. Singh. 2018. “Productivity improvement using lean manufacturing in manufacturing industry of Northern India”. *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 67 (8): 1394–1415.
- [6] J. K. Liker, *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, 2nd ed., McGraw Hill, 2004.
- [7] A. Palange and P. Dhattrak. 2021. “Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing”. *Materials Today: Proceedings*, Vol. 46: 729–736.
- [8] วิทยา สุทธิพิตร ยุกา กลอนกลาง และสุนทร ศรีลังกา. “มุ่งสู่ “สิน” ด้วยการจัดการสายธารคุณค่า (Value Stream Management)”. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ อี.ไอ. สแควร์. 2550.
- [9] วิทยา สุทธิพิตร และยุกา กลอนกลาง. *แนวคิดแบบสิน (Lean Thinking)*. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ อี.ไอ. สแควร์. 2550.

- [10] F. A. Abdulmalek and J. Rajgopal. 2007. “Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study”. International Journal of Production Economics, Vol. 107 (1): 223–236.
- [11] J. M. Rohani and S. M. Zahraee. 2015. “Production Line Analysis via Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process of Color Industry”. Procedia Manufacturing, Vol. 2: 6–10.
- [12] N. Kanoksirirujisaya. 2022. “Reducing Waste in Frozen Crab Stick Product Inspection Process by Applying ECRS Technique”. International Journal of Health Sciences, 1506–1523.
- [13] วรพจน์ ศิริรักษ์, นิวัฒน์ชัย ใจคำ, อมรัตน์ ปิ่นชัยมูล, ธวัชชัย คล่องดี และศริญญา ศิริแสน. 2565. “การใช้เทคนิค ECRS เพื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุน้ำผึ้ง.” วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2: 1-10

การลดมูลค่าของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรทางการเกษตร
Reducing Defect Value in the Agricultural Machinery Component
Manufacturing Process

นิวัฒน์ชัย ใจคำ¹, ชลิดา อุดมรัชสาสกุล², และ ชลากร อุดมรัชสาสกุล^{3*}
Niwatchai Jaikham¹, Chalida Udomraksasakul² and Chalakorn Udomraksasakul^{3*}

¹หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Lanna Chiangrai

²หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Phra Nakhon

³หลักสูตรวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
³Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Phra Nakhon

* Corresponding Author: E-mail address: chalakorn.u@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้แนวทางในการลดของเสีย และลดมูลค่าของเสียของผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 ให้กับ บริษัทกรณีศึกษา จากการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บริษัทฯ พบว่า ผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 ประเภทงานเสริมซิม T. 1.0 mm. มีมูลค่าของเสียมากที่สุดอยู่ที่ 304,800 บาทต่อเดือน คณะผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า (DMAIC) และหลักการ ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ผลการดำเนินงาน ได้แนวทางในการลดของเสียของผลิตภัณฑ์ดังนี้ 1) กำหนดระยะเพื่อในการตัดวัตถุดิบให้กับผู้ผลิตวัตถุดิบ 2) กำหนดให้พนักงานตรวจวัตถุดิบที่ส่งมาจากผู้ผลิตวัตถุดิบทุกรุ่น 3) ออกแบบคู่มือการปฏิบัติงานใหม่ แล้วอบรมให้พนักงาน 4) ออกแบบและสร้าง JIG ช่วยในการตรวจสอบความกว้างของช่องงานเสริมซิมทั้งด้านหัวและด้านท้ายของชิ้นงาน 5) ควบคุมการปฏิบัติงานของพนักงาน เพื่อรักษามาตรฐานการปฏิบัติงาน เมื่อดำเนินงานตามแนวทางแล้วสามารถลดมูลค่าของเสียลงได้ 235,200 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 77.17 และสามารถลดเวลาในกระบวนการผลิตได้ 27.5 วินาทีต่อชิ้น คิดเป็นร้อยละ 12.33

คำสำคัญ : การลดมูลค่าของเสีย, แนวทางซิกซ์ซิกม่า, หลักการ ECRS, ชิ้นส่วนเครื่องจักร

ABSTRACT

This research aims to provide guidelines for reducing defect in the production and decreasing the defect value of Frame Com Front NC131 products for case study. The study of the production process of the company's products, found that the Frame Com Front NC131 product, specifically the T. 1.0 mm. researchers supplementary work type. The highest scrap value was 304,800 Baht per month. The research team applied the principles of Six Sigma (DMAIC) and ECRS technique to improve the production process. The implemented strategies to reduce product waste are as follows: 1) Determining a reserve distance cutting for raw material for maker. 2) Specifying inspections of raw materials from all suppliers for every model. 3) Designing the new operational manuals and providing training to employees. 4) Designing and creating JIG to check the width of supplementary work channels on both the front and rear sides of the workpiece. The result found that, the research achieved a reduction in scrap value by 235,200 Baht per month, representing a percentage decrease of 77.17% and decreased 27.5 second per piece in the production process, representing a percentage of 12.33%.

Keyword: Reducing defect value, Six sigma, ECRC Technique, Machinery component

1. บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีและนวัตกรรมด้านการเกษตรมีความก้าวหน้าขึ้นอย่างรวดเร็ว การพัฒนากระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรทางการเกษตรจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่ายในการผลิตทางการเกษตร จากข้อมูลปี 2565 [1] มูลค่าการตลาดเครื่องจักรกลการเกษตรในไทยมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้น โดยมีมูลค่าราว 84,600 - 87,900 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 1.6 - 5.6 จากปัจจัยหนุนด้านอุปสงค์เป็นสำคัญ อย่างไรก็ตาม ปัญหาหนึ่งของผู้ผลิตเครื่องจักรทางการเกษตรต้องเผชิญคือ “ของเสียในกระบวนการผลิต” ซึ่งเป็นผลกระทบที่สำคัญต่ออายุการใช้งานและประสิทธิภาพของเครื่องจักร รวมทั้งส่งผลให้ผู้ผลิตสูญเสียต้นทุนที่เกิดจากมูลค่า

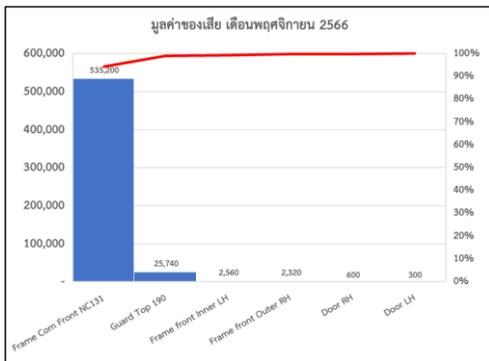
ของเสีย ดังนั้นการลดมูลค่าของเสียในกระบวนการผลิตไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิต แต่ยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มและเพิ่มประสิทธิภาพทางธุรกิจ. การทำความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการลดมูลค่าของเสียไม่เพียงแต่เป็นประโยชน์สำหรับผู้ผลิต แต่ยังเป็นส่วนสำคัญของการยึดมั่นในบรรทัดฐานประสงค์ของการยั่งยืนในด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรทางการเกษตร มีผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 184 รายการ (SKU) จากการศึกษามูลค่าของเสียของบริษัทกรณีศึกษาเดือนพฤศจิกายน 2566 พบว่ามีผลิตภัณฑ์ 6 รายการ ที่มีมูลค่าของเสียสูงสุดได้แก่

- 1) Frame Com Front NC131
- 2) Guard Top 190
- 3) Frame front Outer RH
- 4) Frame front Inner

LH 5) Door RH 6) Door LH จากผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 รายการ ผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 มีจำนวนของเสียมากที่สุด อยู่ที่ 892 ชิ้น คิดเป็นมูลค่าของเสียอยู่ที่ 535,200 บาท คิดเป็นร้อยละ 94.44 ของมูลค่าของเสียทั้งหมด ดังภาพที่ 1

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า [2] และหลักการ ECRS [3] ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 เพื่อให้ได้แนวทางในการลดของเสียของผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 และเพื่อลดมูลค่าของเสียของผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131



ภาพที่ 1 มูลค่าและสัดส่วนของเสีย เดือนพฤศจิกายน 2566 บริษัทกรณีศึกษา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีและงานวิจัยดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 แนวทางซิกซ์ ซิกม่า

แนวทางการดำเนินงานของซิกซ์ซิกม่าในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการ โดยดำเนินการตามขั้นตอน DMAIC 5 ขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดสภาพปัญหา (Define) เป็นการหาคำตอบว่าอะไรคือปัญหาหลักของโครงการ ทำไมต้องแก้ไขปัญหานี้ ใครคือลูกค้าของกระบวนการนี้ อะไรคือความต้องการของลูกค้า รวมทั้งสภาพปัจจุบันของกระบวนการ สินค้า หรือบริการมีสถานะเป็นเช่นใด รวมถึงจะได้รับประโยชน์อะไรจากการปรับปรุงในโครงการนี้ ในขั้นตอนนี้ประกอบด้วยกิจกรรมหลักของการคัดเลือกทีมงาน การจัดทำข้อเสนอโครงการ การศึกษาโครงการที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการวางแผนโครงการโดยภาพรวม

2. การวัดสาเหตุของปัญหา (Measure) การดำเนินงานในขั้นตอนนี้คือการศึกษาระบวนการอย่างละเอียด การระบุปัจจัย (Parameter) ที่สำคัญการกำหนด Critical-to-Quality (CTQ) การวางแผนเก็บข้อมูล ลงมือเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ที่สำคัญของกระบวนการ

3. การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis) เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยเฉพาะสาเหตุที่แท้จริง เพื่อนำไปสู่ขั้นตอนต่อไปคือการแนวทางในการแก้ไข

4. การปรับปรุงกระบวนการ (Improve) เป็นขั้นตอนการค้นหาแนวทางแก้ไขปัญหา และตัดสินใจเลือกเพื่อนำสู่การทดลองปฏิบัติ หากผลลัพธ์ออกมาเป็นไปในทิศทางตามเป้าหมายที่ออกแบบไว้จะนำสู่การใช้จริง แต่หากยังไม่ได้ตามเป้าหมายอาจต้องเลือกแนวทางอื่นเพื่อนำสู่การทดลองปฏิบัติต่อไป

5. การควบคุม (Control) เป็นการวางมาตรการเพื่อให้มั่นใจว่าแนวทางการแก้ไขปัญหานั้นได้ถูกนำไปปฏิบัติอย่างถูกต้อง เหมาะสม และ

ต่อเนื่อง โดยผู้ปฏิบัติไม่กลับไปใช้แนวทางเดิม ที่
อาจนำมาซึ่งปัญหาเดิม [2], [4]

2.1.2 หลักการ ECRS

หลักการ ECRS [เป็นหลักการที่ลดความ
สูญเสียหรือ Muda ทั้ง 7 ประการ ลงได้เป็นอย่างดี
ซึ่งประกอบด้วย

1. การกำจัด (Eliminate) หมายถึง การ
พิจารณาการทำงานปัจจุบันและทำการกำจัดความ
สูญเสียทั้ง 7 ที่ประการ ที่พบในการผลิตออกไป คือ
การผลิตมากเกินไป การรอคอย การเคลื่อนที่/
เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น การทำงานที่ไม่ก่อให้เกิด
ประโยชน์ การเก็บสินค้าคงคลังที่มากเกินไป การ
เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น และ ของเสีย

2. การรวมกัน (Combine) สามารถลดการ
ทำงานที่ไม่จำเป็นลงได้ โดยการพิจารณาว่าสามารถ
รวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้หรือไม่ เช่น จาก
เดิมเคยทำ 5 ขั้นตอนก็รวมบางขั้นตอนเข้าด้วยกัน ทำ
ให้ขั้นตอนที่ต้องทำลดลงจากเดิม การผลิตก็จะ
สามารถทำได้เร็วขึ้นและลดการเคลื่อนที่ระหว่าง
ขั้นตอนลงอีกด้วย เพราะถ้ามีการรวมขั้นตอนกัน การ
เคลื่อนที่ระหว่างขั้นตอนก็ลดลง

3. การจัดใหม่ (Rearrange) คือ การจัด
ขั้นตอนการผลิตใหม่เพื่อให้ลดการเคลื่อนที่ที่ไม่
จำเป็น หรือการรอคอย เช่น ในกระบวนการผลิต หาก
ทำการสลับขั้นตอนที่ 2 กับ 3 โดยทำขั้นตอนที่ 3
ก่อน 2 จะทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ลดลง เป็นต้น

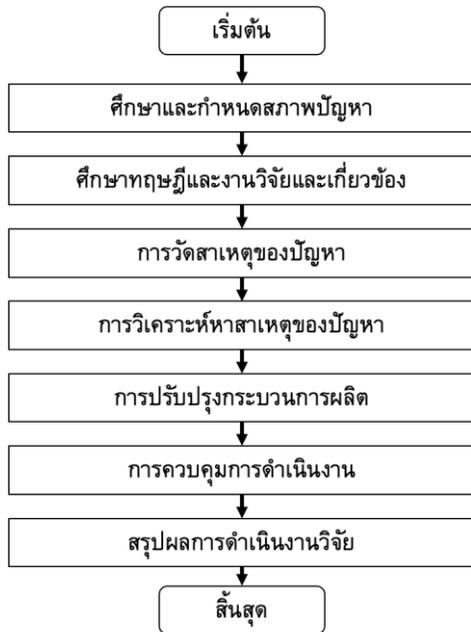
4. การทำให้ง่าย (Simplify) หมายถึง
การปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น โดย
อาจจะออกแบบ Jig หรือ Fixture เข้าช่วยในการ
ทำงานเพื่อให้การทำงานสะดวกและแม่นยำมากขึ้น
ซึ่งสามารถลดของเสียลงได้ จึงเป็นการลดการ
เคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นและเป็นการลดการทำงานที่ไม่
จำเป็นอีกด้วย [3], [5]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่
การศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการอัตโนมัติของ
ผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ ดอกยางและแก้มยาง ด้วย
การใช้วิธีการ Six Sigma และใช้วงจร DMAIC
สามารถใช้ปรับปรุงกระบวนการและส่งผลให้ต้นทุน
การผลิตลดลง [6] การใช้แนวทางการดำเนินงานของ
ซิกซ์ ซิกม่าในการลดข้อบกพร่องและเพิ่มผลกำไรของ
องค์กรในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ [7] การลดของ
เสียในกระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์บูอัดแช่แข็ง
โดยนำเทคนิค ECRS โดยหาแนวทางในการลดเวลา
ข้อบกพร่อง และผลกระทบของของเสียใน
กระบวนการผลิต กระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์บู
อัดแช่แข็ง [8] การปรับปรุงกระบวนการบรรจุน้ำผึ้ง
โดยประยุกต์ใช้เทคนิค ECRS ในการออกแบบ
อุปกรณ์ช่วยในการบรรจุและปรับปรุงวิธีการทำงาน
ใหม่ สามารถลดขั้นตอนในการบรรจุน้ำผึ้งที่ไม่จำเป็น
ออกไป [9] คณะผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้แนวทางการ
ดำเนินงานของซิกซ์ ซิกม่า ในศึกษาและกำหนด
สภาพของปัญหา การวัดสาเหตุของปัญหา การ
วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา จากนั้นประยุกต์ใช้
หลักการ ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อ
ลดมูลค่าของเสียในกระบวนการผลิต

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์
Frame Com Front NC131 ตามแนวทางซิกซ์
ซิกม่า มีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาและกำหนดสภาพของปัญหา

ดำเนินการศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์และชิ้นส่วนเครื่องจักรแบบเดิม (ก่อนการปรับปรุง) เพื่อให้ได้ข้อมูลของกระบวนการผลิตแล้วนำไปวิเคราะห์สภาพของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแบบเดิม และใช้สำหรับการวิเคราะห์มูลค่าของเสียในกระบวนการผลิต

3.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีเพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด 2 ทฤษฎีได้แก่ แนวทางการดำเนินงานของซิกซ์ ซิกม่า และหลักการ ECRS และได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้นำทฤษฎีทั้ง 2 มาดำเนินงานวิจัยทั้งหมด 4 งานวิจัย

3.3 การวัดสาเหตุของปัญหา

การวัดสาเหตุของปัญหาจะนำข้อมูลที่ได้จากกระบวนการการศึกษาและกำหนดสภาพของปัญหามาทำการเปรียบเทียบมูลค่าของเสียในกระบวนการผลิต ของแต่ละสาเหตุของปัญหาโดยประยุกต์ใช้แผนภูมิพาเรโต เพื่อเลือกสาเหตุของปัญหาที่มีมูลค่าของเสียมากที่สุดมาดำเนินการแก้ไขก่อน

3.4 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ได้ประยุกต์ใช้ผังเหตุและผล โดยการพิจารณาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาจากปัจจัยการผลิต 4M1E คือ Mam, Machine, Material, Method และ Environment

3.5 การปรับปรุงกระบวนการผลิต

การปรับปรุงกระบวนการผลิตจะประยุกต์ใช้หลักการ ECRS โดยมีแนวทางดังนี้

1. การกำจัด (Eliminate) กระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่ากับผลิตภัณฑ์ หรือเป็นกระบวนการที่ ก่อให้เกิดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต

2. การรวมกัน (Combine) ของขั้นตอนในการทำงาน หรือกระบวนการผลิตที่สามารถทำไปพร้อม ๆ กันได้ เป็นการลดความสูญเปล่าจากการรอคอย และการเคลื่อนที่/เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น การผลิตก็จะสามารถทำได้รวดเร็วขึ้น

3. การจัดใหม่ (Rearrange) จะจัดเรียงขั้นตอนการผลิตใหม่เพื่อให้กระบวนการผลิตมีความรวดเร็วขึ้น และเป็นการลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น หรือ การรอคอย

4. การทำให้ง่าย (Simplify) เป็นการปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยอาจจะออกแบบ Jig หรือ Fixture เข้าช่วยในการทำงานเพื่อให้การทำงานสะดวกและแม่นยำมากขึ้น

ซึ่งสามารถลดของเสียลงได้ และเป็นการลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น และลดการทำงานที่ไม่จำเป็น

3.6 การควบคุมการดำเนินงาน

ในการควบคุมการดำเนินงานเพื่อให้ได้แนวทางในการลดของเสีย และเพื่อลดมูลค่าของเสียของผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 คณะผู้วิจัยจะควบคุมและติดตามการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามขั้นตอนการทำงานที่ออกแบบไว้ หากไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ จะวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาแล้วดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าวต่อไป

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลศึกษาและกำหนดสภาพของปัญหา

ผลการศึกษาข้อมูลการผลิตตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2566 ของบริษัทกรณีศึกษา พบว่า มีผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 184 รายการ โดยสายการผลิตผลิตภัณฑ์ NC131 มีปริมาณคำสั่งซื้อจากลูกค้ามากที่สุด ทำให้สายการผลิตดังกล่าวต้องเร่งทำการผลิตเพื่อให้ได้ทั้งปริมาณ และส่งทันตามเวลาที่ลูกค้ากำหนด จึงทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต เมื่อทำการศึกษามูลค่าของเสีย ในเดือนพฤศจิกายน 2566 พบว่า ผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 ซึ่งอยู่ในสายการผลิตผลิตภัณฑ์ NC131 มีมูลค่าของเสียมากที่สุด อยู่ที่ 535,200 บาท คิดเป็นร้อยละ 94.44 ของมูลค่าของเสียทั้งหมด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลมูลค่าของเสีย เดือนพฤศจิกายน 2566

ลำดับ	ชื่อผลิตภัณฑ์	จำนวน (ชิ้น)	มูลค่า (บาท/ชิ้น)	มูลค่ารวม (บาท)	ร้อยละ
1	Frame Com Front NC131	892	600	535,200	94.44
2	Guard Top 190	286	90	25,740	4.54
3	Frame Front Inner LH	16	145	2,560	0.45
4	Frame Front Outer RH	16	160	2,320	0.41
5	Door RH	8	75	600	0.11
6	Door LH	4	75	300	0.05
	รวม	1,222		710,615	100

4.2 ผลการวัดสาเหตุของปัญหา

เมื่อนำข้อมูลปริมาณและมูลค่าของเสียของผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 มาจำแนกปริมาณและมูลค่าตามประเภทของของเสียพบว่า ประเภทของเสียที่มีจำนวนมากที่สุดคือ งานเสริมซึม T. 1.0 MM. อยู่ที่ 508 ชิ้น มีมูลค่าของเสียอยู่ที่ 304,800 บาท คิดเป็นร้อยละ 56.95 รองลงมาคือสีต่าง มีจำนวน 142 ชิ้น มูลค่าของเสียอยู่ที่ 85,200 บาท คิดเป็นร้อยละ 15.92 ลำดับที่ 3 เป็นประเภท แนวเชื่อมไม่ติดกัน มีจำนวน 131 ชิ้น มูลค่าของเสียอยู่ที่ 78,600 บาท คิดเป็นร้อยละ 14.69 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลปริมาณและมูลค่าตามประเภทของของเสีย ผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131

ลำดับ	ประเภทของของเสีย	จำนวน (ชิ้น)	มูลค่า (บาท)	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1	งานเสริมซึม T. 1.0 mm.	508	304,800	56.95	56.95
2	สีต่าง	142	85,200	15.92	72.87
3	แนวเชื่อมไม่ติดกัน	131	78,600	14.69	87.56
4	แนวเชื่อมตามด	95	35,400	6.61	94.17
5	Gap Spot Plate	52	31,200	5.83	100.00
ผลรวม		892	535,200	100	

ในการพิจารณาของดีและของเสียแต่ละประเภทสามารถเปรียบเทียบได้ดังภาพที่ 3 ถึงภาพที่ 7 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ภาพที่ 3 เป็นลักษณะของเสียของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากขนาดของท่อที่ยึดติดกับชิ้นงาน (งานเสริมซึม) ต้องมีขนาดความยาว 130 – 131 mm. (ขนาดความยาว 130. mm. + ไม่เกิน 1.0 mm. - ไม่เกิน 0.0 mm.) ภาพที่ 4 เป็นลักษณะของเสียของผลิตภัณฑ์ที่มีสีต่าง สีไม่เรียบเงา ภาพที่ 5 เป็นลักษณะของเสียของผลิตภัณฑ์ที่แนวเชื่อมไม่ติดกัน มีลักษณะแนวเชื่อมไม่ถูกต้องไม่เรียบ มีลวดเชื่อมมากกระจุกรวมอยู่จุดเดียว ภาพที่ 6 เป็นของเสียของผลิตภัณฑ์ที่แนวเชื่อมตามด ซึ่งเป็นแนวเชื่อมที่มีฟองอากาศทำให้ขรุขระ ไม่เรียบ และเปราะบาง และภาพที่ 7 เป็นของเสียของผลิตภัณฑ์ที่มี Gap Spot Plate เกิดจากองศาของชิ้นงานที่นำมาเชื่อมไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดระยะห่างของ Spot Plate



ของเสีย

ของดี

ภาพที่ 3 ของดีของเสียประเภทงานเสริมซึม T. 1.0 mm.



ของเสีย

ของดี

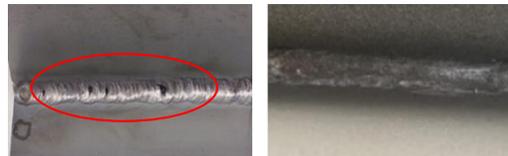
ภาพที่ 4 ของดีของเสียประเภทสีต่าง



ของเสีย

ของดี

ภาพที่ 5 ของดีของเสียประเภทแนวเชื่อมไม่ติดกัน



ของเสีย

ของดี

ภาพที่ 6 ของดีของเสียประเภทแนวเชื่อมตามด



ของเสีย

ของดี

ภาพที่ 7 ของดีของเสียประเภท Gap Spot Plate

4.3 ผลการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

จากการวัดสาเหตุของปัญหา พบว่าประเภทของเสียที่มีจำนวนและมูลค่าสูงสุดคือประเภทงานเสริมซิม T. 1.0 mm. คณะผู้วิจัยจึงนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ดังภาพที่ 8 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

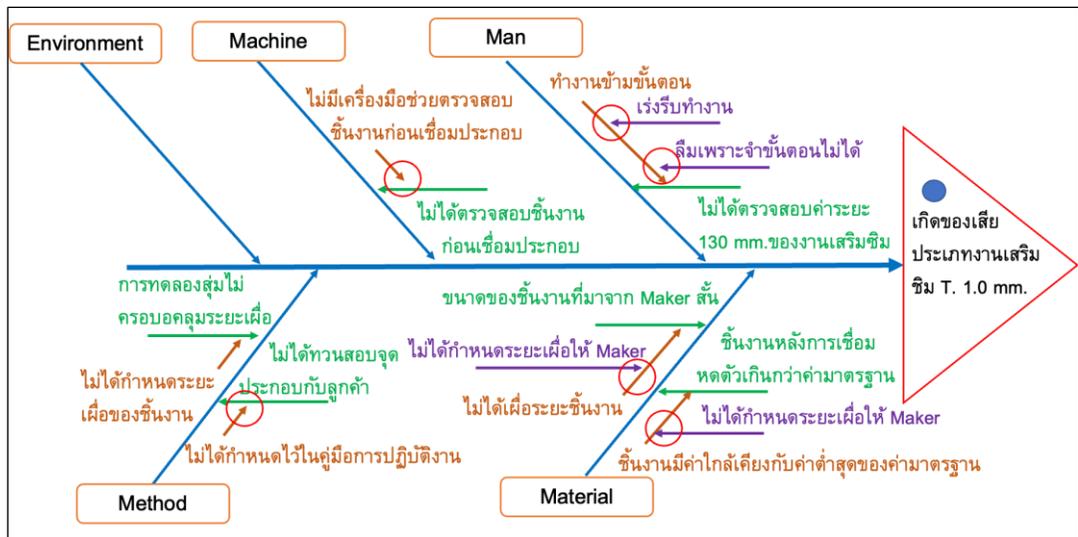
สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man) คือพนักงานเร่งรีบและลืมนั่นตอนการทำงาน ทำให้ทำงานข้ามขั้นตอน จึงไม่ได้ตรวจสอบค่าระยะ 130 mm. ของงานเสริมซิม

สาเหตุที่เกิดจากเครื่องจักรอุปกรณ์ (Machine) คือ ไม่มีเครื่องมือช่วยตรวจสอบชิ้นงานก่อนเชื่อมประกอบ

ก่อนเชื่อมประกอบ จึงทำให้ไม่ได้ตรวจสอบชิ้นงานก่อนเชื่อมประกอบ

สาเหตุที่เกิดจากวัตถุดิบ (ชิ้นงาน) (Material) คือ ไม่ได้กำหนดระยะเพื่อให้ผู้ผลิตวัตถุดิบ (Maker) ทำให้ชิ้นงานมีค่าใกล้เคียงกับค่าต่ำสุดของค่ามาตรฐาน จึงทำให้ชิ้นงานหลังการเชื่อมหดตัวเกินกว่าค่ามาตรฐาน และ ไม่ได้กำหนดระยะเพื่อให้ ผู้ผลิตวัตถุดิบ (Maker) ทำให้ไม่ได้เพื่อระยะชิ้นงาน จึงทำให้ขนาดของชิ้นงานที่มาจากผู้ผลิตวัตถุดิบ (Maker) สั้น

สาเหตุที่เกิดจากขั้นตอนการทำงาน (Method) คือ ไม่ได้กำหนดขั้นตอนการทวนสอบจุดประกอบร่วมกับลูกค้าไว้ในคู่มือการปฏิบัติงาน ทำให้ไม่ได้ทวนสอบจุดประกอบร่วมกับลูกค้า



ภาพที่ 8 แผนภูมิเหตุและผลในการวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดของเสียประเภทงานเสริมซิม T. 1.0 mm.

4.4 ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต

4.4.1 แนวทางในการลดของเสียของผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131

แนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 เพื่อลด

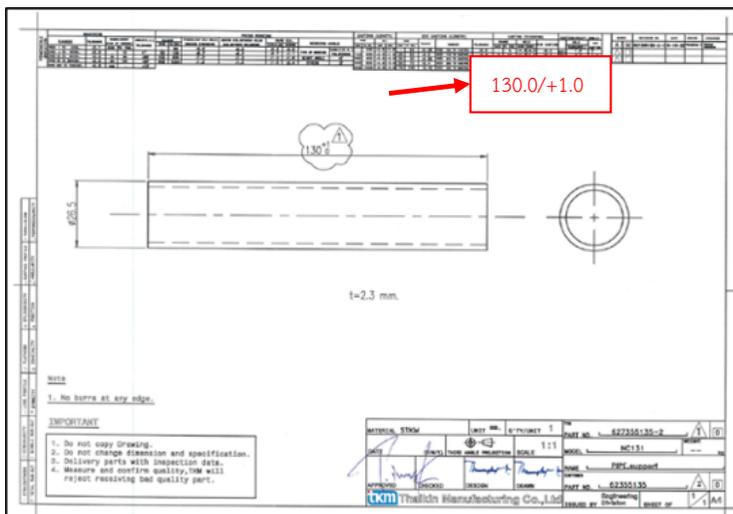
ของเสียของผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 ประเภทงานเสริมซิม T. 1.0 mm. จะประยุกต์ใช้หลักการ ECRS โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การจัดใหม่ (Rearrange) ได้ดำเนินการ 2 กิจกรรม คือ 1. กำหนดระยะเพื่อใน

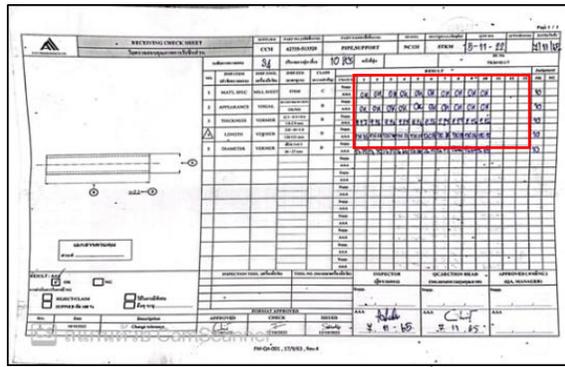
การตัดวัสดุดิบให้กับผู้ผลิตวัสดุดิบ (Maker) ดังภาพที่ 9 ซึ่งจะกำหนดขนาดความยาว ของท่อที่ยึดติดกับชิ้นงาน (งานเสริมซิม) อยู่ที่ 130 – 131 mm. (ขนาดความยาว 130. mm. + ไม่เกิน 1.0 mm. - ไม่เกิน 0.0 mm.) และการกำหนดให้พนักงานตรวจวัสดุดิบที่ส่งมาจากผู้ผลิตวัสดุดิบทุกรุ่น ดังภาพที่ 10 เมื่อกำหนดระยะเพื่อในการตัดวัสดุดิบเสร็จแล้วได้แจ้งไปยังผู้ผลิตวัสดุดิบให้ดำเนินการตัดวัสดุดิบตามที่กำหนด และกำกับติดตามคุณภาพของวัสดุดิบกับผู้ผลิตวัสดุดิบอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะเป็นการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากสาเหตุชิ้นงานหลังการเชื่อมหดตัวเกินกว่าค่ามาตรฐาน และสาเหตุขนาดของชิ้นงานที่มาจากผู้ผลิตวัสดุดิบ (Maker) สั้นกว่ามาตรฐาน 2. ทำการออกแบบคู่มือการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ใหม่ดังภาพที่ 11 แล้วทำการอบรมให้พนักงานในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 ทุก

คน เพื่อให้เข้าใจและสามารถปฏิบัติงานตามคู่มือการปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งมีการสุ่มตรวจการปฏิบัติงานของพนักงานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากสาเหตุพนักงานทำงานข้ามขั้นตอน และไม่ได้ตรวจสอบค่าระยะ 130 mm. ของงานเสริมซิม

2. การทำให้ง่าย (Simplify) ทำการออกแบบและสร้าง JIG ช่วยในการตรวจสอบระยะความกว้างของช่องงานเสริมซิมทั้งด้านหัวและด้านท้ายของชิ้นงาน ดังภาพที่ 12 และภาพที่ 13 ถ้า JIG สามารถสอดเข้าช่องงานเสริมซิมได้แสดงว่าระยะห่างของช่องงานเสริมซิมมีค่าอยู่ที่ 130 – 131 mm. แล้วอบรมให้พนักงานทุกคนในกระบวนการผลิตของงานเสริมซิม ให้เข้าใจและสามารถใช้งาน JIG ได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งมีการสุ่มตรวจการปฏิบัติงานของพนักงานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากสาเหตุไม่ได้ตรวจสอบชิ้นงานก่อนเชื่อมประกอบ



ภาพที่ 9 แบบท่อกานเสริมซิม แบบใหม่ที่ส่งให้กับผู้ผลิตวัสดุดิบ



ภาพที่ 10 ใบตรวจรับวัตถุดิบที่ส่งมาจากผู้ผลิตวัตถุดิบ

A.A.A Manufacturing Co., Ltd.		วิธีการปฏิบัติงาน (WORK INSTRUCTION)										
MODEL : NC 131		รูปชิ้นงานสำเร็จ		บันทึกการแก้ไขเอกสาร								
PART NAME : FRAME.COMP.FRONT				ครั้งที่	วันที่	รายการแก้ไข	ผู้แก้ไข					
PART NO : 62735-51103 A1				1	2 Nov 66	เปลี่ยนแบบฟอร์ม และค่า CONDITION		ก. นพคุณย์				
W/NAME : FRAME.COMP.FRONT) NC 131												
W/NO :												
PROCESS NAME : ROBOT WELDING												
PROCESS NO : 62735-51103 A1												
ลำดับขั้นตอนการผลิตงาน				สถานะของขั้นตอน ในกระบวนการผลิต				เวลาการทำงาน (SEC.)				
ลำดับ	PROCESS	รูปภาพประกอบการทำงาน	รายละเอียดประกอบการทำงาน	เครื่องมือที่ใช้	วิธีการตรวจสอบภาพ	เครื่องมือที่ใช้	สิ่งไม่ผ่านขั้นตอนนี้	การตรวจ	การเชิงกัน	REWORK	SEC	MINUTE
28	PROCESS 4		- ใช้ JIG CHECK 10 12 130 มม. JIG CHECK ค้าง ส่วนหน้า = OK. JIG CHECK ไม้ตั้ง = 130 และให้ปิดกั้นด้วยการขีด MARK #บน JIG CHECK ไม้ตั้ง	JIG CHECK 130 130 มม. ปากกาไวท์มาร์ค	- ใช้ JIG CHECK ตรวจสอบทุกจุด - ไม้ขีด MARK ไม้ตั้งคู่	- HAND - VISUAL	- ชิ้นงาน JIG หลุดลงไปที่สีจืด	- หนัก/หนักน้อย	- ตรวจดูเอง - ตรวจกับ			
29	PROCESS 4		- ใช้ JIG CHECK 14 มม. JIG CHECK ค้าง ส่วนหน้า = OK. JIG CHECK ไม้ตั้ง = 130 และให้ปิดกั้นด้วยการขีด MARK #บน JIG CHECK ไม้ตั้ง	JIG CHECK 216 มม. ปากกาไวท์มาร์ค	- ใช้ JIG CHECK ตรวจสอบทุกจุด - ไม้ขีด MARK ไม้ตั้งคู่	- HAND - VISUAL	- ชิ้นงาน JIG หลุดลงไปที่สีจืด	- หนัก/หนักน้อย	- ตรวจดูเอง - ตรวจกับ			
30	PROCESS 4		- ใช้ JIG CHECK 10 12 130 มม. ด้านที่ยอดชิ้นงาน JIG CHECK ค้าง ส่วนหน้า = OK. JIG CHECK ไม้ตั้ง = 130 และให้ปิดกั้นด้วยการขีด MARK #บน JIG CHECK ไม้ตั้ง	JIG CHECK 130 130 มม. ปากกาไวท์มาร์ค	- ใช้ JIG CHECK ตรวจสอบทุกจุด - ไม้ขีด MARK ไม้ตั้งคู่	- HAND - VISUAL	- ชิ้นงาน JIG หลุดลงไปที่สีจืด	- หนัก/หนักน้อย	- ตรวจดูเอง - ตรวจกับ			

ภาพที่ 11 คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ใหม่ของผู้ผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC1



ภาพที่ 12 JIG ที่ใช้ตรวจสอบระยะความกว้างของ
ช่องงานเสริมซิมด้านหัวของชิ้นงาน



ภาพที่ 13 JIG ที่ใช้ตรวจสอบระยะความกว้างของ
ช่องงานเสริมซิมด้านท้ายของชิ้นงาน

4.4.2 ผลการลดมูลค่าของเสียของ ผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131

เมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 ประเภทงานเสริมซิม T. 1.0 mm. ตามหลักการ ECRS แล้วทำการเก็บข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิต เพื่อนำมาเปรียบเทียบข้อมูลก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต (เดือนพฤศจิกายน 2566) พบว่ามีจำนวนของเสียอยู่ที่ 508 ชิ้น คิดเป็นมูลค่า 304,800 บาทต่อเดือน และข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต (เดือนมกราคม 2567) มีจำนวนของเสียอยู่ที่ 116 ชิ้น คิดเป็นมูลค่า 69,600 บาทต่อเดือน สามารถลดจำนวนของเสียลงได้ 392 ชิ้น คิดเป็นมูลค่า 235,200 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 77.17 ของมูลค่าของเสียทั้งหมด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 ประเภทงานเสริมซิม T. 1.0 mm.

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลต่าง	หน่วย
จำนวนของเสีย	508	116	- 392	ชิ้น/เดือน
มูลค่าของเสีย	304,800	69,600	- 235,200	บาท/เดือน

4.5 ผลการควบคุมการดำเนินงาน

4.5.1 การควบคุมการปฏิบัติงานของพนักงาน

การควบคุมการปฏิบัติงานของพนักงานได้มีการกำหนดและควบคุมดังนี้

1. กำหนดให้พนักงานทุกคนต้องเข้าร่วมการอบรมในการใช้คู่มือการปฏิบัติงานใหม่ และการ

ใช้ JIG เพื่อตรวจสอบระยะความกว้างของช่องงานเสริมซิมทั้งด้านหัวและด้านท้าย

2. ในช่วงสัปดาห์ที่ 1-2 ของเดือนแรก (เดือนธันวาคม 2566) กำหนดให้หัวหน้างานทำการสุ่มตรวจพนักงานในการใช้คู่มือการปฏิบัติงานใหม่และการใช้ JIG เพื่อตรวจสอบระยะความกว้างของช่องงานเสริมซิมทั้งด้านหัวและด้านท้ายทุกวัน สัปดาห์ที่ 3-4 ทำการสุ่มตรวจพนักงานทุก 2 วัน เพื่อให้มั่นใจได้ว่าพนักงานทุกคนสามารถปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งการใช้งาน JIG ได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย หากพบพนักงานที่ปฏิบัติงานไม่ถูกต้องจะดำเนินการให้พนักงานดังกล่าวเข้ารับการอบรมใหม่

3. กำหนดให้หัวหน้างานติดตามตรวจสอบ ควบคุม และวัดผลการปฏิบัติงานของพนักงานทุกสัปดาห์อย่างต่อเนื่อง

4.5.2 การควบคุมจำนวนและมูลค่าของเสีย

ในเดือนธันวาคม 2566 ได้กำหนดให้หัวหน้างานทำการตรวจนับจำนวนของเสียและคำนวณมูลค่าของเสียทุกวัน เพื่อเปรียบเทียบจำนวนและมูลค่าของเสียหลังการปรับปรุงการทำงาน และเพื่อยืนยันว่าการปรับปรุงการทำงานนั้นเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ และรายงานไปยังผู้จัดการฝ่ายผลิต หากพบประเด็นที่ก่อให้เกิดปัญหาให้รายงานไปยังผู้จัดการฝ่ายผลิต เพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาพร้อมกันต่อไป

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา พบว่า ผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 ประเภทงานเสริมซิม T. 1.0 mm. มีมูลค่าของเสียมากที่สุดอยู่ที่ 304,800 บาทต่อเดือน คณะผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้แนวทาง

ซิกซ์ ซิกม่า และหลักการ ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้แนวทางในการลดของเสียของผลิตภัณฑ์ และเพื่อลดมูลค่าของเสียของผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 ผลการดำเนินงาน ได้แนวทางในการลดของเสียของผลิตภัณฑ์ดังนี้ 1) กำหนดระยะเวลาเมื่อในการตัดวัตถุดิบให้กับผู้ผลิตวัตถุดิบ (Maker) 2) กำหนดให้พนักงานตรวจวัตถุดิบที่ส่งมาจากผู้ผลิตวัตถุดิบทุกรุ่น 3) ออกแบบคู่มือการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ใหม่ แล้วอบรมให้พนักงานเพื่อให้เข้าใจและสามารถปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง 4) ออกแบบและสร้าง JIG ช่วยในการตรวจสอบความกว้างของช่องงานเสริมซึมทั้งด้านหัวและด้านท้ายของชิ้นงาน 5) ควบคุมและติดตามให้พนักงานปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติงาน และ การใช้ JIG ตรวจวัดชิ้นงานได้อย่างถูกต้อง เพื่อรักษามาตรฐานการปฏิบัติงาน เมื่อดำเนินงานตามแนวทางแล้วสามารถลดมูลค่าของเสียลงได้ 235,200 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 77.17 ของมูลค่าของเสียในผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 ประเภทงานเสริมซึม T. 1.0 mm. และเมื่อตรวจสอบเวลาในกระบวนการผลิตพบว่า ก่อนการปรับปรุงใช้เวลาในการผลิต 223 วินาทีต่อชิ้น หลังการปรับปรุงใช้เวลาในการผลิต 195.5 วินาทีต่อชิ้น สามารถลดเวลาในกระบวนการผลิตได้ 27.5 วินาทีต่อชิ้น คิดเป็นร้อยละ 12.33

6. ข้อเสนอแนะ

บริษัทกรณีศึกษา สามารถนำแนวทางการดำเนินงานวิจัยนี้ ไปประยุกต์ใช้ในการลดมูลค่าของเสียในผลิตภัณฑ์ Frame Com Front NC131 ในประเภทของเสียอื่นได้ อีกทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการลดมูลค่าของเสียในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ของบริษัทได้อีก ซึ่งจะส่งผลให้บริษัทสามารถลดมูลค่าของเสียลงได้อีกมาก และสามารถเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อ

ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า รวมทั้งสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้าได้อีกด้วย

7. อ้างอิง

- [1] ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. เครื่องจักรกลการเกษตรปี 2565. [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม 2566] เข้าถึงได้จาก : <https://www.kasikornresearch.com/th/analysis/k-econ/business/Pages/agri-machinery-z3301.aspx>
- [2] R. Basu, Implementing Quality: A Practical Guide to Tools and Techniques, Thomson Learning, 2004.
- [3] J. Singh, H. Singh and G. Singh. Productivity improvement using lean manufacturing in manufacturing industry of Northern India. International Journal of Productivity and Performance Management. 2018; 67 (8): 1394–1415.
- [4] รัชชานา สิ้นธวาลัย. การปรับปรุงคุณภาพ, พิมพ์ครั้งที่ 1, โอคิวมีเดีย, 2560.
- [5] วิทยา สุหฤทธดำรง และยุพา กลอนกลาง. แนวคิดแบบลีน (Lean Thinking). พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ อี.ไอ. สแควร์. 2550.
- [6] Costa, T., Silva, F. J. G., & Pinto Ferreira, L. 2017. Improve the extrusion process in tire production using Six Sigma methodology. Procedia Manufacturing. 2017; 13: 1104–1111.
- [7] Swarnakar, V., & Vinodh, S. Deploying Lean Six Sigma framework in an automotive component manufacturing organization. International Journal of Lean Six Sigma. 2016; 7 (3): 267–293.

- [8] N. Kanoksirujisaya. Reducing Waste in Frozen Crab Stick Product Inspection Process by Applying ECRS Technique. International Journal of Health Sciences. 2022; 1506–1523.
- [9] วรพจน์ ศิริรักษ์, นวัตกรรมชัย ใจคำ, อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล, ธวัชชัย คล่องดี และศรีัญญา ศิริแสน. การใช้เทคนิค ECRS เพื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุน้ำผึ้ง. วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ. 2565.; 1(2): 1-10

เครื่องคัดผลเชอร์รี่สายพันธุ์ไทยด้วยเทคนิครางเอียง Thai Cherry Sorting Machine with tilt Rail Technique.

เพลิน จันท์สุยะ¹, วิวัฒน์ ทิพจร¹, ทักษ์ หงษ์ทอง¹, เอกชัย ชัยดี¹, กุลพรภัสร์ ภราดรภิบาล²
สุวิสา ทะยะธง² และทัชชกร ธรรมปัญญา^{1*}

Phlearn Jansuya¹, Wiwat Tippachon¹, Thak Hongthong¹, Ekkachai Chaidee¹
Kulpornphas Paradonphiban², Suwisa Tayatong² and Tatchakorn Thammpanya¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
² ภาควิชาบริหารธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University
of Technology Lanna Chiang Rai

² Department of Business Administration, Faculty of Business Administration and Liberal Arts,
Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai
99 Sai Khao, Phan, Chiang Rai, Thailand, 57120

*Corresponding author Email:: Nikom_tamma@hotmail.com Tel. 089-7017032

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องคัดผลเชอร์รี่และขนาดของเครื่องคัดผลเชอร์รี่ โดยมีขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร ความยาว 180 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร โดยฐานของเครื่องคัดผลเชอร์รี่จะทำมาจากเหล็กฉากขนาด 1 นิ้ว ส่วนถาดรองผลเชอร์รี่ทำมาจากเหล็กที่มีขนาดความหนา 1.40 มิลลิเมตร ในส่วนของแกนเหล็กที่ใช้การในคัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.5 มิลลิเมตร ซึ่งการทำงานของเครื่องคัดผลเชอร์รี่จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่และสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรงมาขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในส่วนของการคัดขนาดนั้นได้จะแบ่งเป็น 4 ขนาด C , B , A , AA ตามลำดับขนาดเล็กไปขนาดใหญ่ ซึ่งการปรับตั้งรางคัดขนาดที่เหมาะสมอยู่ที่ 10 องศา โดยเครื่องคัดผลเชอร์รี่จะมีความผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ เครื่องคัดผลเชอร์รี่, เชอร์รี่ และมอเตอร์กระแสตรง

Abstract

This research involves the design and construction of a cherry sorting machine, with dimensions of 50 centimeters in width, 180 centimeters in length, and 120 centimeters in height. The base of the cherry sorting machine is made of 1-inch angle steel while the cherry tray is constructed from steel with a thickness of 1.40 millimeters. The steel shaft used for sorting has a diameter of 9.5 millimeters. The operation of the cherry sorting machine utilizes electrical power from a battery and a switching power supply that converts alternating current to direct current to drive the electric motor. Regarding the sorting of cherry sizes, it is divided into 4 categories: C, B, A, and AA, in order from small to large. The optimum size adjustment of the track is 10 degrees. Cherry screeners have an average error of no more than 5 percent.

Keywords: Cherry Sorting Machine, Cherry and DC motor

1. บทนำ

เชอร์รี่จัดเป็นผลไม้ในเขตหนาว (Stone Fruit) โดยเชื่อกันว่ามีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมในทวีปออสเตรเลีย ส่วนอีกข้อมูลหนึ่งระบุว่าถิ่นกำเนิดดั้งเดิมของเชอร์รี่คือ ป่าประเทศอังกฤษและสกอตแลนด์ โดยทั่วไปเชอร์รี่สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเชอร์รี่หวาน (*Prunus Aevum L.*) และกลุ่มเชอร์รี่หวานอมเปรี้ยว (*Prunus Cerasus L.*) สำหรับในประเทศไทยสามารถพบได้ทางภาคเหนือของประเทศ บริเวณเชิงเขาที่มีอากาศหนาวเย็นเชอร์รี่จัดเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง มีทรงพุ่มขนาดเล็กถึงกลาง แตกกิ่งก้านเป็นพุ่มลำต้นกลม เปลือกต้นมีสีน้ำตาลเนื้อแข็งเหนียว ใบ เป็นใบเดี่ยวออกเรียงสลับใบ เป็นรูปไข่ สีเขียว ยาวรีกว้าง 2-4 เซนติเมตร ยาว 4-7 เซนติเมตร ขอบใบหยัก ก้านใบยาว ดอก ออกเป็นช่อ บริเวณซอกใบ ซอกกิ่ง และปลายกิ่ง แต่ละช่อมีดอกย่อยโดยแต่ละช่อมีลักษณะเป็นรูปแตร กลีบดอกมีสีขาวหรือสีชมพู แล้วแต่สายพันธุ์ มีก้านช่อดอกยาวผล เป็นผลเดี่ยว ออกเป็นพวงมีลักษณะทรงกลมเล็กๆ หรือรูปแอปเปิ้ลเล็ก ๆ ผิวเปลือกเรียบลื่น

มีก้านผลสีเขียวยาว ผลอ่อนมีสีเขียว ผลสุกจะมีสีส้มแดง สีแดงเข้ม หรือสีม่วง แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์มีเนื้อเป็นสีแดงนุ่มฉ่ำน้ำ มีกลิ่นหอม รสชาติหวานหรือหวานอมเปรี้ยวตามสายพันธุ์[1]

เชอร์รี่เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความต้องการบริโภคในแต่ละวันเป็นจำนวนมาก จึงมีเกษตรกรหลายพื้นที่ในจังหวัดเชียงรายยึดอาชีพปลูกเชอร์รี่เป็นอาชีพหลัก การคัดแยกเชอร์รี่ด้วยแรงงานคนจะต้องอาศัยพนักงานจำนวนมาก และใช้เวลาในการคัดแยกขนาดของเชอร์รี่เป็นเวลานาน จึงส่งผลกระทบต่อการใช้แรงงานคนในการจ้างพนักงาน และได้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการ และผลกำไรน้อย ถึงแม้ว่าใช้แรงงานคนก็ได้ ลูกเชอร์รี่ที่สมบูรณ์แต่จะไม่ค่อยมีความแม่นยำในเรื่องขนาดของลูกเชอร์รี่

การคัดขนาดของผลที่เห็นอยู่หลัก ๆ มีอยู่ 2 วิธีคือ 1.) วิธีการคัดขนาดการคัดด้วยคนโดยการใส่สายตา เพื่อตรวจพินิจคัดขนาดที่ไม่ต้องการออก มีข้อดีคือคนมีความยืดหยุ่นสูงสามารถใช้ได้กับอาหารได้ทุกชนิด เหมาะกับอาหารที่มีรูปทรงแปลก

ไม่เป็นเรขาคณิต วัตถุประสงค์ที่บอบช้ำง่าย หรือกับ วัตถุประสงค์ ที่มีปริมาณการผลิตไม่มาก 2.) การคัดขนาด ด้วยการใช้อุปกรณ์คัดขนาด วัตถุประสงค์ของการคัด ขนาด คือเพื่อให้ได้วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่มีขนาด สม่ำเสมอ มีมาตรฐานซึ่งเป็นคุณภาพซึ่งผู้บริโภค ต้องการ สินค้าที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอ เช่น มีการ แดกหัก เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อการยอมรับสินค้า

จากการศึกษางานวิจัยย้อนหลังเกี่ยวกับเครื่อง คัดผลไม้พบว่า ศุภฤกษ์ โคตรทองและคณะ มีการ สร้างเครื่องคัดขนาดมะนาวและได้ทำการทดลอง การคัดขนาดมะนาวตามเส้นผ่านศูนย์กลาง พบว่า ความถูกต้องในการทำงานของเครื่องคัดขนาด มะนาวของเครื่องเท่า 96.71 เปอร์เซ็นต์ ความ ผิดพลาดเกิดจากลักษณะของมะนาวที่เป็นทรงกลม รี แต่รูของล่อคัดขนาดมีลักษณะกลม โดยเครื่องคัด มะนาวมีความสามารถคัดขนาดมะนาวได้ประมาณ 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง [2] กนต์ธีร์ สุขตากจันทร์ และคณะได้สร้างเครื่องคัดขนาดมะเขือเทศเซอร์รี พบว่าเครื่องคัดขนาดมะเขือเทศเซอร์รีแบบลูกกลิ้งมี กำลังการผลิตเท่ากับ 3382.4 กิโลกรัมต่อ วันโดย เพิ่มขึ้น 17.6 เท่าจากกำลังการผลิตเดิมที่ใช้ แรงงานคน และเครื่องคัดขนาดมะเขือเทศเซอร์รี แบบลูกกลิ้งที่สร้างขึ้นมีค่าความผิดพลาดจากการ คัด ขนาดทุกเกรดมีค่าต่ำกว่า 5% ซึ่งผ่านเกณฑ์การ ทดสอบตามมาตรฐาน (อ้างอิงจาก มาตรฐานคู่มือ จัดชั้นคุณภาพผักผลไม้โครงการหลวง) [3] สิทธิชัย วงศ์หน่อ และคณะ ได้สร้างเครื่องคัดผลส้มโดยใช้ น้ำหนักถ่วง พบว่าเครื่องคัดผลส้มมีความเร็วกว่าใช้ คนคัด 1.62 เท่า โดยส้มที่มีน้ำหนักมากจะมีความ แม่นยำสูง รองลงมาเป็นน้ำหนักกลาง และน้ำหนัก น้อยตามลำดับและราคาต่ำ [4] สุรเทพ แบนเกิด และคณะ ได้สร้างเครื่องคัดแยกน้ำหนักและสีมะม่วง อัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเครื่อง

สามารถคัดแยกได้ 2 ส่วน คือน้ำหนักและสีของ ผลไม้ โดยการใช้สายพานในการลำเลียงและ ตรวจจับน้ำหนักด้วยโหลดเซลล์ ต่อมาสายพานจะ ลำเลียงต่อมาเพื่อวัดค่าสีหาความสุก พบว่า คัดแยก มะม่วงโดยวัดเป็นค่าความผิดพลาดโดยใช้ตัวอย่าง มะม่วงพันธุ์เขียวเสวยจำนวน 100 ลูก โดยมีผลการ ทดสอบคัดเกรดมะม่วงมีความผิดพลาด เท่ากับ 0.00% และการคัดแยกความสุก ดิบ มีความ ผิดพลาด เท่ากับ 0.00% ส่วนมะม่วงพันธุ์น้ำตาลไม่ สีทองจำนวน 100 ลูก โดยมีผลการทดสอบคัดเกรด มะม่วงมีความผิดพลาด เท่ากับ 3% และการคัดแยก ความสุก ดิบ มีความผิดพลาด เท่ากับ 3% [5] ธรรม์ชาติ วันแดง ได้ทำการออกแบบและสร้าง เครื่องคัดแยกขนาดละมุดแบบเพลลาหมุนวางคู่ พบว่า อัตราการผลิตของเครื่องมีค่าเท่ากับ 1.02 นาทีต่อละมุด 20 กิโลกรัม หรือประมาณ 1,176 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เครื่องจะมีค่าความผิดพลาดของ ขนาดเท่ากับ 1.33 กิโลกรัมต่อละมุด 20 กิโลกรัม [6] สุทธิดา รอดเกษม และคณะ ได้จัดสร้าง เครื่องคัดแยกสีและขนาดของลูกมะนาว พบว่า ประสิทธิภาพความถูกต้องของการแยกขนาดของลูก มะนาว โดยลูกมะนาว เบอร์ 1 มี ขนาด 39-44 มิลลิเมตร เบอร์ 2 มีขนาด 35-38 มิลลิเมตร และ เบอร์ 3 มีขนาดน้อยกว่า 35 มิลลิเมตร จาก การ ทดสอบทั้งหมด 150 ครั้ง มีประสิทธิภาพความ ถูกต้องจำนวน 119 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 79.33 ความเร็วในการคัดแยกสีและขนาดของลูกมะนาว จากการวัดหาความเร็วในการคัดแยกจำนวนลูก มะนาว ทั้งหมด 5 รอบ ได้ค่าเฉลี่ย 14.80 ลูกต่อ นาที [7] ในการใช้กลไกรางลาดเอียงนี้สามารถลด ความช้าของผลไม้ได้ และสามารถปรับความเร็วของ การคัดได้โดยปรับความเร็วจากมอเตอร์และองศา มุมเอียงของรางคัด

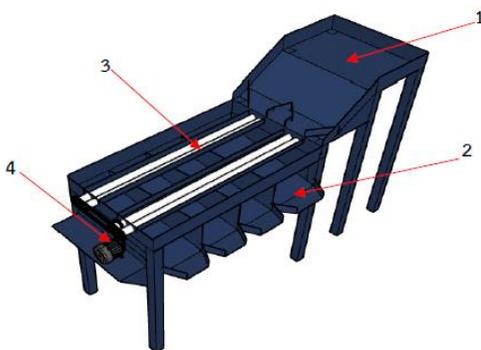
ในปัจจุบันนี้ยังไม่มีเครื่องตัดผลเซอร์รี่ จึงต้อง
ใช้คนในการตัดผลเซอร์รี่ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายมากในการ
จ้าง บางส่วนมีการใช้เครื่องตัดผลลำไย ในการตัด
ผลเซอร์รี่ทำให้ผลเซอร์รี่ความชื้น ผลเสียหาย และ
ไม่ได้คุณภาพตามท้องตลาดต้องการทำให้ถูกกด
ราคา

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เกิดความคิดสร้างเครื่องตัด
ผลเซอร์รี่ ที่เหมาะกับการตัดเซอร์รี่โดยเฉพาะเพื่อ
คุณภาพของเซอร์รี่และลดต้นทุนการลงทุนในการ
ตัดเซอร์รี่ และความรวดเร็วในการตัดแทนคน

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย

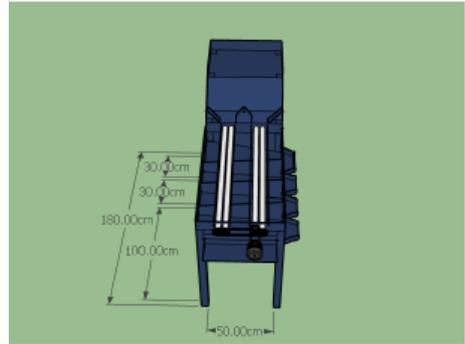
2.1 การออกแบบเครื่องตัดผลเซอร์รี่

เครื่องตัดผลเซอร์รี่จะประกอบไปด้วยเหล็ก
ทั้งหมด ประกอบด้วย เหล็กแผ่นดำ หนา 1
มิลลิเมตร เหล็กเพลาชาว ขนาด 20 มิลลิเมตร ยาว
1 เมตร จำนวน 4 เส้น และเหล็กฉากในส่วนของ
การทำขาตั้งของโครงสร้างขนาด 1 นิ้ว ตลับลูกปืน
แบบเม็ดกลม ขนาด 20 มิลลิเมตร จำนวน 4 ตัว
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 V 250 W แสดงดัง
ภาพที่ 1



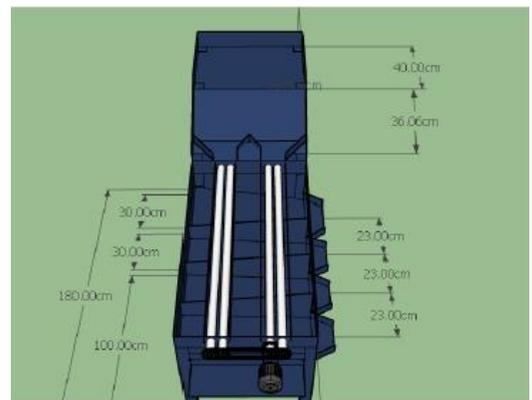
ภาพที่ 1 แบบเครื่องตัดผลเซอร์รี่

ในภาพที่ 1 1.) ภาดเทผลเซอร์รี่ไว้สำหรับการ
ตัด 2.) ช่องรองรับผลเซอร์รี่ในแต่ละขนาด 3.) ราง
ตัดผลเซอร์รี่ และ 4.) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



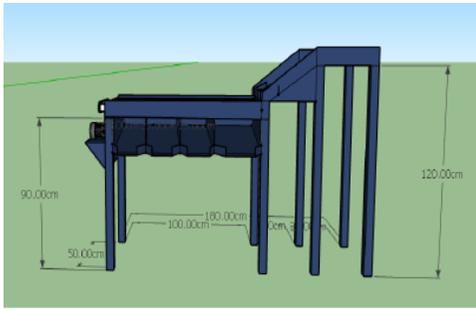
ภาพที่ 2 ขนาดของเครื่องตัดในมุมมองด้านหน้า

ในภาพที่ 2 แสดงขนาดความยาวรวม 180
เซนติเมตร กว้าง 50 เซนติเมตร และรางตัดยาว
100 เซนติเมตร พื้นที่วางมอเตอร์ 10 เซนติเมตร



ภาพที่ 3 ขนาดของเครื่องตัดในมุมมองด้านบน

ในภาพที่ 3 แสดงขนาดของเครื่องเครื่องใน
มุมมองด้านบน โดยช่องเตรียมคัตยาว 40
เซนติเมตร ทางไหลของของผลเซอร์รี่ยาว 30
เซนติเมตร และช่องที่รองรับผลเซอร์รี่ กว้างช่องละ
23 เซนติเมตร



ภาพที่ 4 ขนาดของเครื่องตัดในมุมมองด้านข้าง

ในภาพที่ 4 แสดงขนาดของเครื่องตัดในมุมมองด้านข้าง ทำให้เห็นถึง ความสูงของเครื่องตัด ในส่วนต่าง เช่นความสูงของรางตัด ความสูงของช่องเตรียมตัด และระห่างของของขาโครงสร้างเครื่องตัดผลเซอร์รี โดยขนาดความยาวรวม 180 เซนติเมตร กว้าง 50 เซนติเมตร และรางตัดยาว 100 เซนติเมตร พื้นที่วางมอเตอร์ 10 เซนติเมตร

2.2 การคำนวณมอเตอร์

2.2.1 การหากระแส

$$I = \left(\frac{P}{V \times \text{eff}} \right) \quad (1)$$

$$I = \left(\frac{250 \text{ W}}{24 \text{ V} \times 78\%} \right)$$

$$I = 13.4 \text{ A}$$

โดยที่

I คือ กระแสมอเตอร์ (แอมป์แปร์)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

Pf คือ ตัวประกอบกำลังของมอเตอร์

Eff. คือ ประสิทธิภาพของมอเตอร์

2.2.2 การหาลำโพงมอเตอร์ DC

$$P = V \times I \times \text{eff.} \quad (2)$$

$$P = 24 \text{ V} \times 13.4 \text{ A} \times 78\%$$

$$P = 250.8 \text{ W}$$

โดยที่

I คือ กระแสมอเตอร์ (แอมป์แปร์)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

Pf คือ ตัวประกอบกำลังของมอเตอร์

Eff. คือ ประสิทธิภาพของมอเตอร์

2.2.3 การหาความเร็วรอบต่อนาทีของมอเตอร์

$$\text{RPM} = \left(\frac{A \times 60 \times fz}{360} \right) \quad (3)$$

โดยที่

RPM คือ ความเร็วรอบต่อนาที

A คือ มุมองศาในการหมุนต่อสเต็ป

fz คือ ความถี่พัลส์ (เฮิร์ตซ์)

360 คือ องศาการหมุนของมอเตอร์

2.2.4 การหาแรงบิดของมอเตอร์

$$T = (9.5448 \times P) / \text{RPM} \quad (4)$$

โดยที่

T คือ ทอร์กมอเตอร์

P คือ กำลังไฟฟ้า

RPM คือ ความเร็วรอบต่อนาที [8]

ในการคำนวณมอเตอร์แล้วสามารถเลือกมอเตอร์ที่ขายในท้องตลาดได้ตาม ยี่ห้อ : UNITE รุ่น : MY1016 กำลังวัตต์: 250w แรงดันไฟDC: 24v กระแสสูงสุดFull Load: ≤13.5A ประสิทธิภาพ

≥78% ความเร็วรอบ: ประมาณ 2600-2850 รอบ/นาที่

2.2 การสร้างเครื่องคัดผลเชอร์รี่

การสร้างเครื่องคัดผลเชอร์รี่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน การสร้างโครงสร้าง และการสร้างรางคัดขนาด โดยการสร้างเครื่องคัดผลเชอร์รี่ ผู้วิจัยได้สร้างตามการออกแบบ โดยมีขนาดความกว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 180 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร ในส่วนถาดรองรับผลเชอร์รี่ ช่องคัดแต่ละช่องมีความกว้างที่เท่ากัน คือ 25 เซนติเมตรตาม รวมความยาวทั้งหมด 100 เซนติเมตร



ภาพที่ 7 ตัวอย่างการคัดขนาด



ภาพที่ 5 ตัวเครื่องคัดผลเชอร์รี่



ภาพที่ 6 ตำแหน่งรางและมอเตอร์

ในการทดสอบมุมเอียงและระยะเวลาที่เหมาะสมโดยมีการปรับมุมที่ 15 องศาในการทดสอบครั้งที่ 1 - 3 พบว่าการใช้เวลาครั้งที่ 1 เวลา 56.79 วินาที ครั้งที่ 2 เวลา 56.75 วินาที ครั้งที่ 3 เวลา 57.76 วินาที การปรับมุมที่ 20 องศาในการทดสอบครั้งที่ 4 - 6 พบว่าการใช้เวลาครั้งที่ 4 เวลา 48.83 วินาที ครั้งที่ 5 เวลา 52.47 วินาที ครั้งที่ 6 เวลา 54.19 วินาที การปรับมุมที่ 10 องศา ในการทดสอบครั้งที่ 7 - 10 พบว่าการใช้เวลาครั้งที่ 7 เวลา 58.46 วินาที ครั้งที่ 8 เวลา 59.19 วินาที ครั้งที่ 9 เวลา 60.00 วินาที ครั้งที่ 10 เวลา 59.12 วินาที

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพและความถูกต้องในการทำงานของเครื่องคัดผลเชอร์รี่ โดยนำผลเชอร์รี่จำนวน 100 ลูก ขนาดที่แตกต่างกันมาทดลอง ซึ่งมีการทดลอง 10 ครั้ง โดยจะมีการทดลอง การหาองศาการเอียงของเครื่องที่เหมาะสม

กับการคัด และหาระยะเวลาของการคัดเพื่อนำไปวิเคราะห์แล้วนำมาเปรียบเทียบ และหาค่าความผิดพลาดในการคัดของขนาดของเครื่อง แล้วทำการเก็บบันทึกผลการทดสอบ

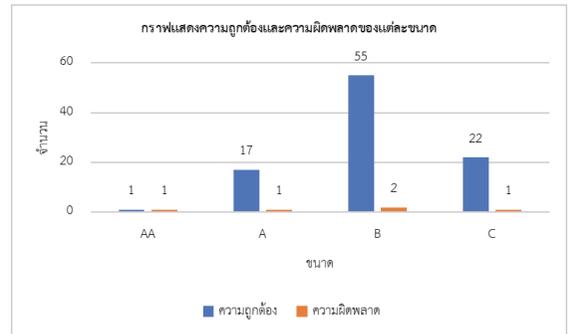
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบของเครื่องคัดผลเซอร์รี คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

ครั้งที่	จำนวนที่คัดถูกต้อง (ลูก)	จำนวนที่คัดผิดพลาด (ลูก)	Error %
1	95	5	0.5
2	96	4	0.4
3	95	5	0.5
4	96	4	0.4
5	94	6	0.6
6	95	5	0.5
7	96	4	0.4
8	95	5	0.5
9	96	4	0.4
10	96	4	0.4
รวม	954	46	4.6 %

จากตารางที่ 1 เป็นผลการทดสอบทั้ง 10 ครั้ง เครื่องคัดผลเซอร์รี สามารถคัดผลเซอร์รีได้ถูกต้อง 954 ลูก ผิดพลาด 46 ลูก คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดรวมทั้งหมดเฉลี่ย 0.46 เปอร์เซ็นต์ โดยแต่ละรอบได้ปรับองศาการเอียงของเครื่องไม่เท่ากัน เพื่อให้ได้องศาการเอียงของเครื่องเหมาะสมและการคัดผิดพลาดน้อยที่สุด

ในการการทดสอบมุมเอียงเหมาะสมโดยมีการปรับมุมที่ 15 องศา มุมที่ 20 องศา และมุมที่ 10 องศา พบว่าการใช้มุมที่ 10 องศา ผลเซอร์รีได้ไหล

ตามรางตกลงตามช่องที่กำหนดไว้ถูกต้องและเหมาะสมที่สุด ดังนั้นเครื่องคัดผลเซอร์รีจึงตั้งค่ามุมเอียงที่ 10 องศา



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความถูกต้องและความผิดพลาดในการคัดขนาดของเครื่องคัดผลเซอร์รี

จากภาพที่ 7 เป็นการเปรียบเทียบของค่าความถูกต้องและค่าความผิดพลาดในการคัดขนาดโดยขนาดที่มีความผิดพลาดจำนวนมากที่สุดคือ ขนาด B เนื่องจากผลเซอร์รีมีไซส์ขนาด B จำนวนมากที่สุดทำให้ผลเซอร์รีขณะไหลลงช่องเกิดความผิดพลาดมากตามไปด้วย

จากการทดสอบพบว่ากระบวนการคัดจะเกิดค่าความผิดพลาดจะเกิดจากรูปทรงของผลไม้และองศาการเอียงของรางคัดเพราะรางคัดรองรับผลไม้ที่มีลักษณะทรงกลมแต่ผลไม้บางลูกมีลักษณะทรงกลมรี และจะเห็นได้ว่า เมื่อปรับองศาให้เหมาะสมค่าความถูกต้องเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาข้อมูลการคำนวณค่าไฟฟ้าและค่าแรงของคนงานต่อเดือนโดยใช้คนงาน 3 คน และค่าแรงขั้นต่ำวันละ 300 บาท สามารถคำนวณหาค่าไฟฟ้าและค่าแรงของคนงาน

(กำลังไฟฟ้า × จำนวนเครื่อง) / 1,000 × ชั่วโมง
= หน่วยต่อวัน

(5)

$$= (250 \text{ วัตต์} \times 1 \text{ เครื่อง} / 1,000) \times 8 \text{ ชั่วโมง}$$

$$= 2 \text{ หน่วย/วัน}$$

คิดหน่วยเป็น บาท หน่วย × ค่าไฟ = บาท/วัน

(6)

$$= 2 \times 3.2484 = 6.4968 \text{ บาท/วัน}$$

ภายใน 1 เดือน เครื่องตัดใช้ไฟไป 54 หน่วย

ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน

ค่าพลังงานไฟฟ้า 161.97 บาท

ค่าบริการ 8.19 บาท

รวมค่าไฟฟ้าฐาน 174.56 บาท

ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)

จำนวนพลังงานไฟฟ้า × ค่า Ft 50.45 บาท

(8)

ส่วนที่ 3 ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %

(ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน + ค่า Ft) × 7/100 = 15.75 บาท

(9)

รวมเงินค่าไฟฟ้า = 240.76 บาท/เดือน

ค่าจ้างคนงาน

ค่าจ้างคนงาน 350 บาท/วัน จ้างคนงาน 3 คน

ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง

ดังนั้น 1 วัน จะเสียค่าจ้าง 350 บาท × 3 คน

= 1,050 บาท/วัน

1 เดือน เสียค่าจ้าง 31 วัน × 1050 บาท =
32,550 บาท/เดือน

จากการทดสอบเครื่องตัดผลเซอร์รีมีอัตราการ
ตัดเฉลี่ยของเครื่องเท่ากับ 480 กิโลกรัมต่อวัน ที่ทำ
การทำงานช่วงเช้า 4 ชั่วโมง และช่วงบ่าย 4 ชั่วโมง
ส่วนแรงงานคนก็จะมีอัตราผลิตที่ 1 วัน จำนวน 8
ชั่วโมง เท่ากับ 200 กิโลกรัมต่อวัน เท่ากับว่าภายใน

1 เดือนจะสามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับค่าแรงของ
คนงานที่ 9,210 บาท และสามารถคืนทุนได้ภายใน
1 เดือน

4. บทสรุป

จากการศึกษาผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่อง
ตัดผลเซอร์รีขนาดพื้นที่กว้าง 50 เซนติเมตร ยาว
180 เซนติเมตร และสูง 120 เซนติเมตร มีมอเตอร์
ไฟฟ้ากระแสตรง 24 V 250 W เป็นตัวขับเคลื่อนให้ผล
เซอร์รีไหลตามรางตัด ในตัวของเครื่องตัดผลเซอร์รี
ได้แบ่งขนาดของการตัดอยู่ 4 ขนาด เรียงจากขนาด
เล็กไปยังขนาดใหญ่แบ่งเป็น C = 2 เซนติเมตร B
= 2.5 เซนติเมตร A = 3 เซนติเมตร AA = 3.5
เซนติเมตร

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตัดผล
เซอร์รีได้ทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง ๆ ละ 100
ลูก ผลการทดสอบพบว่า เครื่องตัดผลเซอร์รี
สามารถตัดผลเซอร์รีได้ถูกต้อง 954 ลูก ผิดพลาด
46 ลูก คิดค่าความผิดพลาดรวมทั้งหมดเฉลี่ย 0.46
เปอร์เซ็นต์ โดยผลการทดสอบเห็นได้ว่าผลเซอร์รีมี
ขนาดไซส์ B เป็นจำนวนมากที่สุด และมีการปรับตั้ง
มุมเอียงของรางตัดผลเซอร์รีที่ 10 องศา ซึ่งมีความ
เหมาะสมมากที่สุด

และผลการทดสอบพบอีกด้วยว่าการใช้เครื่อง
ตัดผลเซอร์รีแทนเครื่องคัดลำไยจะไม่ทำให้ผิวเซอร์รี
ชำรุด และสามารถตัดผลเซอร์รีได้ในปริมาณเฉลี่ย 480
กิโลกรัมต่อวัน โดยการคำนวณค่าไฟฟ้าจะเสียค่า
ไฟฟ้าประมาณ 6.4968 บาทต่อวัน หรือประมาณ
240.76 บาทต่อเดือน

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ในการอำนวยความสะดวกห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือการทำงานวิจัย และขอขอบพระคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชน มีมี โยโย ในการช่วยเหลือการทำงานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] นิดดา หงส์วิวัฒน์, ทวีทอง หงส์วิวัฒน์. คุณค่าอาหารและการกิน. กรุงเทพฯ; 2550.
- [2] ศุภฤกษ์ โคตรทอง, อธิวัฒน์ แซ่เจี๊ย. ศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องคัดผลมะนาวและทดสอบเครื่องคัดมะนาว. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ]. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา; 2553.
- [3] กนต์ธีร์ สุขตากจันทร์, ผศ.ดร.นเรศ อินตะวงศ์, ดอน วิไลศา. การออกแบบพัฒนาเครื่องคัดขนาดมะเขือเทศเชอร์รี่เพื่อใช้ในศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ปางอุ๋ง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. 2560.
- [4] สิทธิชัย วงศ์หน่อ, นฤเบศร์ หนูใสเพ็ชร การออกแบบและสร้างเครื่องคัดผลส้มโดยใช้น้ำหนัก ถ่วง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 2551; 39(3):168-171.
- [5] สุรเทพ แป้นเกิด, นรินทร์ จีระนันตสิน, ปิติวัฒน์ จุลเกษมศักดิ์, และคณะ. เครื่องคัดแยกน้ำหนักและสีมะม่วงอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ. 2565;16(2):99-105.
- [6] ธรรม์ณชาติ วันแดง. การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกขนาดละมุดแบบเพลลาหมุนวางคู่. การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55; วันที่ 31 มกราคม -

3 กุมภาพันธ์ 2560; กรุงเทพฯ. กรุงเทพฯ: 2560; น.426-434.

- [7] สุทธิดา รอดเกษม, สมรัักษ์ วงศ์โปทา, ธนิรัตน์ ยอดดำเนิน. เครื่องคัดแยกสีและขนาดของลูกมะนาว.การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 ด้านนวัตกรรมเพื่อการเรียนรู้ และสิ่งประดิษฐ์; วันที่ 17 ธันวาคม 2563; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี: 2563; น.1-12.
- [8] ธวัชชัย อัดถวิบูลย์มงคล. เครื่องกลไฟฟ้า 1. กรุงเทพฯ; 2547.

บาล์มทำความสะอาดเครื่องสำอางจากสารสกัดเปลือกมะเขือเทศราชินี

Make-up cleansing balm with cherry tomato peel extract

วรรณิสา แก้วบ้านกรุด, รินทร์ลดา มหาสถิตย์, กนิษฐา ส่วนโนลี, วรงค์พร รัตนบุญ
Wannisa Keawbankrud*, Rinrada Mahasathid, Kanittha Souannori,
Warongporn Rattanabun

หลักสูตรวิทยาศาสตร์เพื่อสุขภาพและความงาม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

¹Health Science and Aesthetic Program, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of
Technology Krungthep, Bangkok, Thailand

*Corresponding Author: E-mail: Wannisa.k@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาบาล์มทำความสะอาดเครื่องสำอาง โดยใช้ส่วนเปลือกของมะเขือเทศราชินี (*Solanum lycopersicum L.*) มาทำการสกัดด้วยวิธีการหมักในตัวทำละลายเฮกเซน ได้ร้อยละผลผลิตของสารสกัดเทียบเท่ากับ 11.6 ± 0.328 จากการศึกษ ปริมาณฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ เท่ากับ 348.20 ± 87.70 mg Gallic acid /g extract, 156.80 ± 0.33 mg Quercetin /g extract ตามลำดับ นอกจากนี้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ รายงานผลด้วยค่า IC_{50} พบว่าสารสกัดมีร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ เท่ากับ $0.49 \mu\text{g/ml}$ ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาดเครื่องสำอาง โดยใช้สารสกัดเปลือกมะเขือเทศราชินีที่ความเข้มข้นต่างกัน พบว่า ตำรับที่มีสารสกัด 2% w/w ทำความสะอาดเครื่องสำอางได้ดีกว่าและมีความชุ่มชื้นมากกว่าตำรับผสมสารสกัด 1% w/w

คำสำคัญ : มะเขือเทศราชินี, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, บาล์มทำความสะอาด

ABSTRACT

The purpose of this research is to develop a make-up cleansing balm. Using the peel of the queen tomato (*Solanum lycopersicum L.*) extracted by maceration method in hexane solvent, the yield percentage of crude extract was 11.6 ± 0.328 , and the phenolic and flavonoid contents were equal to 348.20 ± 87.70 mg gallic acid/g extract and 156.80 ± 0.33 mg quercetin/g extract, respectively. In addition, a study on antioxidant activity reported with an IC_{50} found that the extract had a percentage of free radical inhibition of $0.49 \mu\text{g/ml}$. In the development of cleansing balm recipes in different concentrations, it was found that recipes containing 2% w/w

[90]

ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 มกราคม– มิถุนายน 2567

Received 07-09 2023

Revised..... 01 05 2024

Accepted 28-06-2024

extract cleansed make-up better and were more hydrating than recipes containing 1% w/w extract.

Keyword: Cherry tomato Antioxidant activity Cleansing balm

1. บทนำ

บาล์มทำความสะอาดเครื่องสำอางเป็นครีมทำความสะอาดสูตรเข้มข้นที่ช่วยขจัดสิ่งสกปรกและสิ่งตกค้างบนผิวหนังโดยไม่ทำให้ผิวหนังของเราแห้งและไม่ลอกเอาน้ำมันธรรมชาติออกไปด้วย บาล์มทำความสะอาดผิวนั้นไม่เหมือนกับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิวน้ำทั่วไป เพราะเราสามารถทำความสะอาดผิวบริเวณรอบดวงตาได้เนื่องจากมีน้ำมันธรรมชาติผสมอยู่ในผลิตภัณฑ์ด้วย โดยน้ำมันธรรมชาติเหล่านี้จะช่วยทำความสะอาดล้ำลึกเพื่อละลายน้ำมันส่วนเกินบนผิว ซึ่งน้ำมันส่วนเกินนั้นอาจทำให้เกิดสิวและรูขุมขนอุดตันได้นอกจากนี้บาล์มทำความสะอาดถูกนำมาใช้ในสปาเสริมสวยอีกด้วย มีทั้งชนิดขุ่น และชนิดใส ปัจจุบันเป็นที่นิยมเนื่องจากใช้งานง่ายและทำความสะอาดได้ล้ำลึก

ผลมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) มีสารแคโรทีนอยด์อยู่มากซึ่งเป็นรงควัตถุสีส้มแดง 2 ชนิด คือ บีตา-แคโรทีน (Beta-carotene) และไลโคปีน (Lycopene) ที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในน้ำมัน และตัวทำละลายอินทรีย์ ไลโคปีนในผลมะเขือเทศพบมากกว่าร้อยละ 85 ของรงควัตถุทั้งหมด [1] ไลโคปีนเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุล จัดอยู่ในกลุ่มย่อยของแคโรทีนอยด์ที่มีโครงสร้างหลักประกอบด้วย ไอโซพรีน ซึ่งเป็นไดอีน (diene) $[CH_2=C(CH_3)-CH=CH_2]$ มาเรียงต่อกัน 8 หน่วย มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 40 อะตอม มีสูตรเป็น $C_{40}H_{56}$ ไลโคปีนมีสมบัติเป็น

สารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพและป้องกันการก่อตัวของเซลล์มะเร็งในต่อมลูกหมาก ปอด และกระเพาะอาหาร [2] มีรายงานพบว่า มะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ 818 cherry มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในรูปของไลโคปีน แอสคอบิกและฟีนอลสูง [3] ซึ่งมะเขือเทศราชินีหรือมะเขือเทศเชอร์รี่ (*Solanum lycopersicum* L.) มีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ วิตามินเอ ซี และอี สารแคโรทีนอยด์และโพลีฟีนอล เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในกระบวนการต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษาวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าส่วนเปลือกมะเขือเทศ ประกอบด้วยกรดอมิโน กรดไขมัน และสารประกอบฟีนอลิกในปริมาณสูง [4] ดังนั้นทีมผู้วิจัยสนใจนำมะเขือเทศราชินีส่วนเปลือกมาหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาดเครื่องสำอางเพื่อเพิ่มมูลค่าและนำสารสกัดมาใช้ประโยชน์ในด้านที่หลากหลายมากขึ้น มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบบาล์มทำความสะอาดเครื่องสำอาง

2. วิธีดำเนินการวิจัย วัสดุ อุปกรณ์

2.1 วัสดุ และอุปกรณ์ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้ มะเขือเทศราชินี ตลาดรุ่งเจริญ เขตยานนาวา จังหวัดกรุงเทพมหานคร สารเคมีที่ใช้มีดังนี้ Shea butter, Glyceryl Stearate and PEG 100 Stearate, Cetearyl alcohol, Paraffin wax, Beeswax, Polyethylene wax, Petrolatum, Grape seed oil, Sweet almond oil และ Microcare PHC

(Chemical, Thailand) เครื่องมือที่ใช้ ประกอบด้วย เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์, เครื่องระเหยสารแบบ หมุน (Rotavapor R-300), กล้องจุลทรรศน์ (Microtech รุ่น CM2000 LCD), กล้อง Dino lite (AM3113T Dino-Litk Premier), เครื่องลัดไฟรบ

2.2 การสกัดสารสำคัญจากพืช

นำพืชมาสกัดด้วยวิธี Maceration เป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นนำมากรองด้วย กระดาษWhatman เบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไป เข้าเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (Rotary Evaporator) จากนั้นนำมาคำนวณปริมาณสารสกัด หยิบ โดยใช้สูตรการคำนวณหาปริมาณสารสกัด (% yield crude extract) $\% \text{yield} = [A/B] \times 100$ และ เก็บสารสกัดที่อุณหภูมิ 4°C

2.3 วิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิก

การหาปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent assay เตรียม สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก [5] ความเข้มข้น 0.1 mg/ml โดยเตรียมกรดแกลลิก 2.5 mg ปรับ ปริมาตรด้วย DI water 25 ml จากนั้นปิเปตมา ปริมาตร 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 และ 200 ไมโครลิตรในการทดสอบ เติมสารละลาย Folin ciocaltue's reagent เขย่าให้เข้ากันดีและ เติม 7% Sodium carbonate ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโน เมตร สร้างกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกและ นำเสนอในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง (mg GAE/g extract)

2.4 วิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์

การหาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ด้วย วิธี aluminium trichloride [6] โดยใช้เคอร์ซีติน เป็นสารมาตรฐาน เตรียมสารละลายมาตรฐานเคอร์

ซีติน ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 ไมโครลิตร เติม 10% Aluminium chloride เติม 5% Sodium nitrite ปริมาตร และ 4% Sodium hydroxide เขย่าให้เข้ากัน บ่มที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร สร้างกราฟ มาตรฐานเคอร์ซีตินและนำเสนอค่าปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดรวมในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีตินต่อน้ำหนักสารสกัดแห้ง (mg QE/g extract)

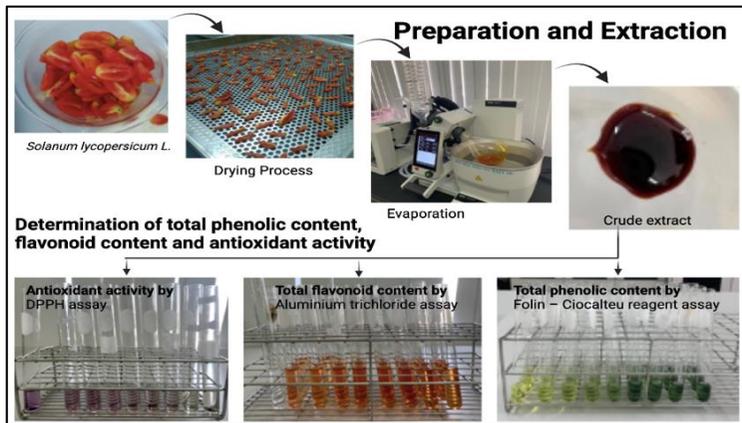
2.5 วิเคราะห์หาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH โดยใช้ ascorbic acid เป็นสารละลาย มาตรฐาน [7] เตรียมสารละลายมาตรฐานวิตามินซี ความเข้มข้น 50, 100, 150, 200, 250, 300, 600 และ 800 µg/mL เติมสาร DPPH ที่ความเข้มข้น 0.24 mg/mL เขย่าให้เข้ากัน นำไปบ่มที่มีดที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืน แสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณค่า ร้อยละ

การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดังภาพที่ 1

2.6 การพัฒนาบาล์มทำความสะอาด

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตำรับพื้น จำนวน 2 ตำรับ เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของเนื้อ ผลิตภัณฑ์, ประสิทธิภาพ และความคงตัวของ ผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงการสกัดสารสำคัญและการทดสอบฤทธิ์ทางเครื่องสำอางจากมะเขือเทศราชินี

ตารางที่ 1 แสดงสูตรตำรับผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาดตาบัพัณ

Phase	Ingredient	F1(%w/w)	F2(%w/w)	Function
A	Shea butter	16	16	Emollient
A	Glyceryl Stearate and PEG100 Stearate	11.2	11.2	Emulsifier
A	Cetearyl Alcohol	4	4	Thickener
A	Paraffin wax	6	6	Thickener
A	Beeswax	8	4	Thickener
A	Polyethylene wax	12	8	Thickener
A	White Petrolatum	8	8	Emollient
A	Grape seed oil	24	32	Emollient
A	Sweet almond oil	8	8	Emollient
B	Vitamin E	2	2	Antioxidant
B	BHT	0.8	0.8	Antioxidant

หมายเหตุ F1 คือ ผลิตภัณฑ์บาล์มตำรับที่ 1 F2 คือ ผลิตภัณฑ์บาล์มตำรับที่ 2

วิธีการพัฒนาผลิตภัณฑ์บาล์ม เริ่มจากผสม Phase A นำไปให้ความร้อน 75 องศาเซลเซียส จากนั้นเติม Phase B ลงไป ผสมให้เข้ากัน เทลงในบรรจุภัณฑ์ รอผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปเป็นบาล์ม

2.7 ทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์

การทดสอบทางกายภาพ ประกอบด้วย การประเมินลักษณะโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ สังกเกตลักษณะทั่วไปของเนื้อผลิตภัณฑ์ การกระจายบนผิว การแยกชั้น ความมัน ความหนืด สี กลิ่น และทดสอบทางเคมีโดยการวัดค่า pH

[93]

2.8 ทดสอบการทำความสะอาด

โดยเริ่มจาก ตักเนื้อผลิตภัณฑ์บาล์มมา ปริมาณเท่าเหรียญบาท นำมาวางบนนิ้วมือ ทำการ รวบรวมให้ตัวเนื้อผลิตภัณฑ์กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ นำมาทาบริเวณที่ต้องการทดสอบการทำความสะอาด โดยวนเป็นวงกลมขนาดนิ้วโป้งไปในทิศทาง เดียวกันเป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นใช้กระดาษขี้ ขี้ขี้เปียกมาเช็ดออก และบันทึกผลการทดสอบ

2.9 ทดสอบความชุ่มชื้น

การทดสอบความชุ่มชื้นใช้เครื่องวัดความ ชุ่มชื้นผิวหนัง (Cortex, ยี่ห้อ Dermalap Combo) ทดสอบความชุ่มชื้น ทำการวัดค่าโดยค่อยๆวาง ปลายโพรบลงบริเวณที่ต้องการวัด เมื่อกดโพรบลง บนผิวหนังจะทำการวัดค่าโดยอัตโนมัติ และบันทึก ผล

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล/ ผลการ วิจัย และอภิปรายผล

3.1 ผลการทดลองการเตรียมสารสกัด

จากการทำสกัดด้วยวิธีการหมัก (Maceration technique) ด้วยตัวทำละลายเฮกเซน (Hexane) พบว่าสารสกัดหยาบของเปลือก มะเขือเทศราชินีที่ใช้ตัวทำละลายของเฮกเซน (Hexane) มีความหนืด มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้ม กลิ่นฉุน มีร้อยละของผลผลิตของสารสกัดหยาบเท่ากับ 11.6 ± 0.328

3.2 ผลการวิเคราะห์หาสารประกอบ

ฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิก ทดสอบด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent assay มี ค่าเท่ากับ 348.20 ± 87.70 mg GAE/g extract ส่วน ผลการวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี

Aluminium chloride colorimetric assay มี ค่า เท่ากับ 156.80 ± 0.33 mg QE/ g extract

3.3 การวิเคราะห์หาฤทธิ์ต้านอนุมูล อิสระ

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Ascorbic acid โดย วิธี DPPH radical scavenging รายงานผลด้วยค่า IC_{50} พบว่า %inhibition ของสารสกัดหยาบ เท่ากับ $0.49 \mu\text{g/ml}$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า IC_{50} พบว่าสาร มาตรฐาน Ascorbic acid มีค่าน้อยกว่าสารสกัด หยาบด้วยตัวทำละลายเอทานอล เท่ากับ $0.04 \mu\text{g/ml}$

3.4 การพัฒนาผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาด ตำรับพื้น

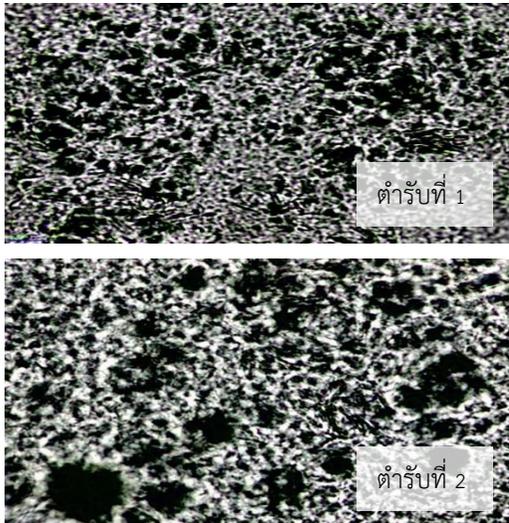
ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาด ตำรับพื้น จำนวน 2 ตำรับ ซึ่งมีความแตกต่างกันตรงสารให้ความหนืด (Thickener) โดยตำรับที่ 1 ประกอบด้วยสาร Polyethylene wax , Bees wax ที่มากกว่าตำรับที่ 2 ปริมาณ 2% w/w ทำให้ ตำรับที่ 1 เนื้อผลิตภัณฑ์มีความหนืด หยิบ เกลี่ย ยากและมีความเงาน้อยกว่าตำรับที่ 2 ดังแสดงใน ภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงผลิตภัณฑ์บาล์มตำรับพื้น

3.5 การประเมินลักษณะโครงสร้างเนื้อ ผลิตภัณฑ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์

จากการนำผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาด
สะอาดตำรับพื้นทั้ง 2 ตำรับ ไปส่องกล้องจุลทรรศน์
(Microtech รุ่น CM2000 LCD) เพื่อดูลักษณะ
โครงสร้างของเนื้อผลิตภัณฑ์ พบว่า ตำรับที่ 2 มี
ความหนาแน่นของเนื้อผลิตภัณฑ์ น้อยกว่าตำรับที่
1 และมีการกระจายตัวอย่างหลวมๆ ดังแสดงใน
ภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงลักษณะโครงสร้างของเนื้อผลิตภัณฑ์
ตำรับพื้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 50X)

3.6 การทดสอบความคงตัว (Stability)

การทดสอบความคงตัว (Stability)
ของผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาดตำรับพื้น ด้วย
การตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์
พบว่าผลิตภัณฑ์ตำรับพื้นทั้งสองตำรับ ไม่มีการแยก
ชั้น สี กลิ่น ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3.7 การทดสอบการทำความสะอาดของ ผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาดตำรับพื้น

จากการนำเครื่องสำอางกลุ่มเมคอัพ
มาทดสอบการทำความสะอาด เป็นผลิตภัณฑ์ลิป

แมท ชนิดเหลวสูตรปราศจากน้ำ (Anhydrous) ซึ่ง
จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์
ประกอบด้วยกลุ่มแว็กซ์ กลุ่มน้ำมันจากธรรมชาติ
เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสารทุกตัวเป็นสารที่ไม่มีขั้ว
เมื่อนำมาทดสอบการทำความสะอาดบริเวณ
ท้องแขนซ้าย โดยการเปรียบเทียบความสะอาดของ
ผลิตภัณฑ์บาล์มตำรับพื้นทั้ง 2 ตำรับ โดยใช้ปริมาณ
เนื้อผลิตภัณฑ์เท่ากัน ซึ่งกลไกการทำความสะอาด
ของผลิตภัณฑ์บาล์มที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง
กลุ่มเมคอัพ อาศัยหลักการ (Like Dissolves Like)
คือตัวถูกละลายที่ไม่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายที่
ไม่มีขั้ว โดยอาศัยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว
เป็นแรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waals Force)
เหมือนกัน [3] ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาด
ที่ไม่มีขั้ว ทำความสะอาดผลิตภัณฑ์กลุ่มเมค
อัพที่ไม่มีขั้วได้ดี ซึ่งตำรับที่ 2 ทำความสะอาดคราบ
เครื่องสำอางได้ดีกว่าตำรับที่ 1 เนื่องจากตำรับที่ 2
มีส่วนผสมของน้ำมันมากกว่า เกลี่ยง่ายกว่า ไม่เป็น
ก้อน จึงทำความสะอาดได้ดีกว่า ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความสะอาดของผลิตภัณฑ์ตำรับพื้น

3.8 การพัฒนาผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาดผสมสารสกัดเปลือกมะเขือเทศราชินี

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาดที่มีส่วนผสมของสารสกัดเปลือกมะเขือเทศราชินี โดยใช้ตำรับพื้นที 2 มาผสมสารสกัดความเข้มข้น 0.5 %w/w และ 1 %w/w พบว่า ตำรับที่ผสมสารสกัด 0.5 %w/w ลักษณะทางกายภาพ เนื้อผลิตภัณฑ์ที่บดแสง มีสีเหลืองปานกลาง มีความเงาวาว กลิ่นสารสกัดหอมอ่อนๆ และเกลี่ยง่าย ส่วนตำรับที่ ผสมสารสกัด 1 %w/w ลักษณะทางกายภาพ เนื้อผลิตภัณฑ์ที่บดแสง มีสีเหลืองเข้ม มีความเงาวาว กลิ่นสารสกัดหอมปานกลาง และเกลี่ยง่าย ซึ่งจากการหาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับรงควัตถุในเปลือกมะเขือเทศ พบว่า สีของผลมะเขือเทศมีส่วนประกอบของไลโคปีน (สีแดง) และเบต้าแคโรทีน (สีเหลือง) รงควัตถุทั้ง 2 ชนิด ละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ซึ่งเฮกเซนที่นำมาใช้ในการสกัดสารสำคัญในเปลือกมะเขือเทศเป็นตัวทำละลายที่ไม่

มีขั้ว จึงสกัดสารเบต้าแคโรทีนกับสารไลโคปีนออกมาได้มาก ทำให้สีของสารสกัดที่ได้ เป็นสีเหลืองอมส้ม เมื่อนำสารสกัดนำมาใส่ลงในผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นทำให้สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเข้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารสกัด จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ตำรับที่เข้มข้น 1% w/w มีสีเข้มมากกว่า



ตำรับที่เข้มข้น 0.5% w/w ดังแสดงในภาพที่ 5

ภาพที่ 5 แสดงลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาดผสมสารสกัดเปลือกมะเขือเทศราชินี

3.9 การทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาดผสมสารสกัดเปลือกมะเขือเทศราชินี

จากการทดสอบความคงตัวของตำรับผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาด ที่มีส่วนผสมของสารจากการทดสอบความคงตัวของตำรับผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาด ที่มีส่วนผสมของสารสกัดความเข้มข้น 0.5% และ 1% โดยการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าหลังเตรียมผลิตภัณฑ์เสร็จใหม่และเมื่อทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ลักษณะทางกายภาพประกอบด้วย ความหนืด สี กลิ่น การแยกชั้น ทั้งสองตำรับไม่มีการเปลี่ยนแปลง

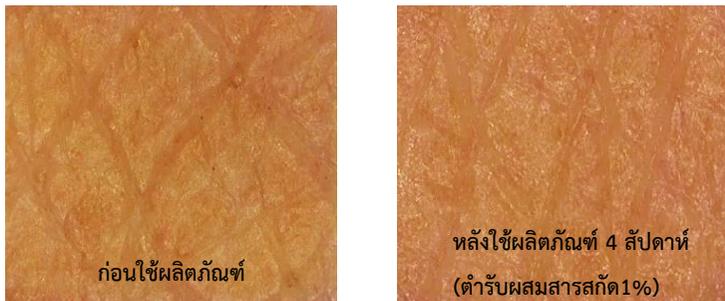
3.10 การทดสอบความชุ่มชื้นของบาล์มทำความสะอาดผสมสารสกัดเปลือกมะเขือเทศราชินี

จากการทดสอบความชุ่มชื้นของผิวหนัง (Hydration) บริเวณท้องแขน โดยใช้เครื่องวัดความ

ชุ่มชื้นผิว (Cortex, ยี่ห้อ Dermalap Combo) มาทำการทดสอบประสิทธิภาพความชุ่มชื้น ประกอบด้วยตำรับพื้น, ตำรับที่มีส่วนผสมสารสกัด 0.5% และตำรับที่มีส่วนผสมสารสกัด 1% โดยเปรียบเทียบความชุ่มชื้น ก่อนใช้ผลิตภัณฑ์และหลังใช้ผลิตภัณฑ์ 4 สัปดาห์ จากผลการทดสอบพบว่า ก่อนใช้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มชื้นผิวอยู่ระหว่าง 194-200 ไมโครซีเมนส์ (uS) หลังใช้ผลิตภัณฑ์ 4 สัปดาห์ พบว่าสูตรผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นของสารสกัดที่ 1 % ให้ความชุ่มชื้นบริเวณผิวหนังมากกว่าสูตรที่มีความเข้มข้นของสารสกัด 0.5 % ดังแสดงตารางที่ 2

3.11 การประเมินลักษณะทางกายภาพของผิวหนังด้วยกล้อง Digital microscope

จากการประเมินสภาพผิวหนังโดยใช้กล้อง Digital microscope (Dino-Lite Premier, AM3113T) บริเวณท้องแขนซ้าย โดยเปรียบเทียบลักษณะผิวหนังก่อนใช้ผลิตภัณฑ์และหลังใช้ผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาดเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ประกอบด้วยตำรับพื้น, ตำรับส่วนผสม 0.5% และตำรับส่วนผสม 1% พบว่าหลังใช้ผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาดตำรับส่วนผสม 1% เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ให้ความชุ่มชื้นผิวมากที่สุด ผิวมีลักษณะเงาวาว มากกว่าก่อนใช้ผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงลักษณะความชุ่มชื้นบนผิวหนังชั้นStratum corneum ด้วยกล้อง Digital microscope (50X)

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบการวัดความชุ่มชื้นของผิวหนัง (hydration) (mean \pm SD) (n = 3)

ระยะเวลาที่ทดสอบ	ความชุ่มชื้นของผิว (uS)		
	ตำรับพื้น	ตำรับผสมสารสกัด 0.5%w/w	ตำรับผสมสารสกัด 1%w/w
ก่อนใช้ผลิตภัณฑ์	193.33 \pm 1.53	196.00 \pm 2.65	201.00 \pm 3.61
หลังใช้ผลิตภัณฑ์ทันที	225.00 \pm 2.00	256.67 \pm 2.52	274.67 \pm 5.51
หลังใช้ผลิตภัณฑ์ 4 สัปดาห์	367.33 \pm 1.53	376.67 \pm 3.21	392.00 \pm 3.06

4. สรุปผลการทดลอง

จากการนำเปลือกมะเขือเทศราชินีมาสกัดด้วยวิธีการหมักด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ได้ร้อยละผลผลิตของสารสกัดหยาบ เท่ากับ 11.6 ± 0.328 มีปริมาณฟีนอลิก 348.20 ± 87.70 mg GAE/g extract มีปริมาณฟลาโวนอยด์ 156.80 ± 0.33 mg QE/ g extract มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ รายงานผลด้วยค่า IC_{50} $0.49 \mu\text{g/ml}$ ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาดตาบัพพื้นที่พบว่าที่ตำรับที่ 2 มีปริมาณสารให้ความหนืดน้อยกว่า มีลักษณะโครงสร้างกระจายตัวกันแบบหลวมๆ เคลื่อนย้ายเงาวาว ทำความสะอาดได้ดี เมื่อนำตำรับพื้นมาผสมสารสกัดเปลือกมะเขือเทศราชินี ที่เข้มข้นของสารสกัด 1% w/w มีสีเหลืองเข้ม เนื่องจากมีรงควัตถุไลโคปีน(สีแดง) และเบต้าแคโรทีน(สีเหลือง) รงควัตถุทั้ง 2 ชนิดนี้ ละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ซึ่งเฮกเซนที่นำมาใช้ในการสกัดสารสำคัญในเปลือกมะเขือเทศเป็นตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว จึงสกัดสารเบต้าแคโรทีนกับสารไลโคปีนออกมาได้มาก ทำให้สีของสารสกัดที่ได้มีสีเหลืองอมส้ม ผลการทดสอบความชุ่มชื้นก่อนและหลังใช้ผลิตภัณฑ์ 4 สัปดาห์ เปรียบเทียบกันพบว่าตำรับที่ผสมสารสกัด 1% w/w ให้ความชุ่มชื้นบริเวณผิวหนังมากกว่าสูตรที่ผสมสารสกัด 0.5% w/w และผลการประเมินลักษณะทางกายภาพของผิวหนังด้วยกล้อง Digital microscope พบว่าหลังใช้ผลิตภัณฑ์บาล์มทำความสะอาดตาบัพพื้นที่ผสมสารสกัด 1% เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ให้ความชุ่มชื้นผิวหนังมากที่สุด ผิวมีลักษณะเงาวาว มากกว่าก่อนใช้ผลิตภัณฑ์

5. กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณ อ.วรรณิสา แก้วบ้านกรูด อาจารย์ที่ปรึกษาวิจัย เป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำใน

การเขียนงานวิจัยให้ครบถ้วนสมบูรณ์ และขอบคุณหลักสูตรวิทยาศาสตร์เพื่อสุขภาพและความงาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ในการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. อ้างอิง

- [1] Riadh, L., Chafik, H., Marcello, S. et al. Antioxidant activity and bioactive compound changes during Fruit ripening of high lycopene tomato cultivars J. Food Compos. Anal. 2011; 24 588–595.
- [2] Stahl, W., Sies, H. Perspective in Biochemistry and Biophysics., Lycopene: a Biologically Important Carotenoid for Humans. J. Biochem. Biophys. 1996; 336 1–9.
- [3] Binoy, G., Charanjit, K., Khurdiya, D.S. Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. J. Food Chem. 2004; 84 45–51.
- [4] Elsayed, E. & Amany S. Evaluation of nutritional value and antioxidant activity of tomato peel extracts. Arab. J. Chem. 2016; 9 1010–1018.
- [5] Tsai. Tzung-Hsun, Tsai. Po-Jung, Ho. Su-Chen. Antioxidant and Anti-inflammatory Activities of Several Commonly Used Spices. J. Food Sci. 2005; 70 93–97.
- [6] Prommuak C. , De-Eknamkul W. , Shotipruk A. Extraction of flavonoids and

carotenoids from Thai silk waste and antioxidant activity of extracts. Sep Purif Technol. 2008; 62 444–448.

- [7] รัตนา อินทรานุปกรณ์. การตรวจสอบและการสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ รับบทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ต้องเป็นต้นฉบับ ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ใดมาก่อน มีจุดประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ และผลงานวิชาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างเคร่งครัด

1. หลักเกณฑ์การส่งบทความ

1.1 บทความเปิดรับทั้งจากบุคคลภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

1.2 บทความมีรูปแบบการเขียนตามที่กำหนดไว้

1.3 บทความวิชาการต้องมีความยาวประมาณ 12-20 หน้า ในรูปแบบ 1 คอลัมน์

บทความวิจัย ต้องมีความยาวประมาณ 10-15 หน้า ในรูปแบบ 1 คอลัมน์

1.4 การส่งบทความ เพื่อผ่านการพิจารณากลับกรองและประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ
ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องผ่าน รูปแบบ Online

โดยจัดส่งไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ผ่าน <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk> เริ่มจากการกรอกข้อมูลตามแบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณาให้สมบูรณ์ บทความจะได้รับการพิจารณากลับกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ และเมื่อบทความได้รับการแก้ไข (หากมี) อย่างเหมาะสม ผู้เขียนจะต้องส่งบทความเข้ามายัง <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk> เพื่อดำเนินการในส่วนอื่นต่อไป

2. ประเภทของบทความที่ตีพิมพ์

บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารมี 2 ประเภท คือ

2.1 บทความวิจัย (Research Paper) เป็นบทความที่มีลักษณะและรูปแบบการวิจัยตามหลักวิชาการ เช่น ตั้งสมมติฐาน โดยระบุวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน ได้ค้นคว้าทดลองอย่างมีระบบ และสรุปผลการวิจัยที่นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2.2 บทความวิชาการ (Academic Paper) เป็นบทความที่มีลักษณะเชิงวิเคราะห์หรือวิจารณ์ จากการทบทวนเอกสาร จากประสบการณ์หรือความชำนาญของผู้เขียน และเสนอแนวคิดใหม่บนพื้นฐานวิชาการ อันก่อให้เกิดองค์ความรู้หรือสามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์

3. รูปแบบการพิมพ์บทความ

3.1 ระยะขอบ

ขอบบน (Top Margin) 0.7 นิ้ว หรือ 2 ซม.

ขอบล่าง (Bottom Margin) 0.7 นิ้ว หรือ 2 ซม.

ขอบขวา (Right Margin) 0.7 นิ้ว หรือ 2 ซม.

ขอบซ้าย (Left Margin) 0.7 นิ้ว หรือ 2 ซม.

3.2 กระดาษ

ขนาด B5 (JIS) 18.2 x 25.7 ซม.

3.3 รูปแบบตัวอักษร

บทความภาษาไทย ใช้ TH SarabunPSK

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ TH SarabunPSK

3.4 ชื่อเรื่อง

บทความภาษาไทย ใช้ชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาด 16 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษควรเป็นชื่อที่สั้น กระทัดรัด ได้ใจความตรงกับวัตถุประสงค์และเนื้อเรื่อง)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ชื่อเรื่อง ขนาด 16 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

3.5 ชื่อผู้เขียนและชื่อผู้ร่วมงาน

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 12 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

3.6 สถานที่ทำงาน เบอร์โทรศัพท์ และ E-mail

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 12 ตัวปกติ (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 11 ตัวปกติ (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

3.7 คำว่า บทคัดย่อ/Abstract

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 16 ตัวหนา

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 16 ตัวหนา

3.8 เนื้อความใน บทคัดย่อ/Abstract

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวปกติ (พิมพ์แบบเต็มขอบ)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 14 ตัวปกติ (พิมพ์แบบเต็มขอบ)

3.9 เนื้อความทั้งหมด (แบ่งเป็น 2 คอลัมน์ ระยะห่างระหว่างคอลัมน์ 0.3 นิ้ว หรือ 0.7 ซม.)

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวปกติ

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 14 ตัวปกติ

3.10 ชื่อหัวเรื่องใหญ่

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 16 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 16 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

3.11 ชื่อหัวเรื่องย่อย

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 14 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

3.12 คำว่า กิตติกรรมประกาศ/Acknowledgement และคำว่า เอกสารอ้างอิง/Reference (ใส่หมายเลขลำดับหัวเรื่องด้วย)

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 16 ตัวหนา

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 16 ตัวหนา

3.13 สมการหรือพจน์ทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน

ควรเขียนโดยใช้ Equation Editor โดยจัดแยกบรรทัด และมีเลขกำกับอยู่ในวงเล็บเล็กจัดพิมพ์ด้วย Microsoft Word

4. ส่วนประกอบของบทความแต่ละประเภท

4.1 บทความวิจัย

A. ส่วนปก

1. **ชื่อบทความ (Title)** ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกะทัดรัด ไม่ยาวเกินไป ชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
2. **ชื่อผู้เขียน (Authors)** ชื่อเต็ม นามสกุลเต็ม ของผู้เขียนทุกคน สำหรับผู้เขียนประสานงานให้ใส่ที่อยู่ให้ละเอียด พร้อมทั้งหมายเลขโทรศัพท์/โทรสาร และ E-mail address ที่สามารถติดต่อได้
3. **ตัวলেখก** ให้เขียนไว้บนนามสกุล เพื่อระบุที่อยู่ของผู้เขียน
4. **บทคัดย่อ (ABSTRACT)** ควรจัดทำเป็นร้อยแก้วย่อหน้าเดียว สั้น ตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา ได้แก่ วัตถุประสงค์ วิธีการ ผลการวิจัยและการอภิปรายผล เป็นต้น ถ้าบทความเป็นภาษาไทยจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยให้ภาษาไทยขึ้นก่อน มีความยาวไม่เกิน 1,000 คำ
5. **คำสำคัญ (keywords)** ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เป็นคำสำคัญที่สามารถใช้ในการสืบค้น ในระบบฐานข้อมูล

หมายเหตุ : เนื้อหาส่วนปกจะต้องเขียนให้อยู่ในกระดาษ จำนวน 1 หน้า เท่านั้น

B. ส่วนเนื้อหา

1. **บทนำ (INTRODUCTION)** เพื่ออธิบายถึงความสำคัญของปัญหา และวัตถุประสงค์ของการวิจัย รวมถึงการทบทวนวรรณกรรม และเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. **วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ (MATERIALS AND METHODS)/วิธีดำเนินการวิจัย (RESEARCH METHODOLOGY)** อธิบายเครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัยให้ชัดเจน
 - บทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ ควรอธิบายเกี่ยวกับเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการที่ใช้ในการวิจัย
3. **ผลการวิจัยและอภิปรายผล/ ผลการทดลองและอภิปรายผล (RESULT AND DISCUSSION)** เสนอผลการทดลอง อย่างชัดเจน และตรงประเด็น ควรมีรูปภาพ/หรือตารางประกอบ การอธิบายผลในตารางและรูปภาพ ต้องไม่ซ้ำซ้อนกัน รูปภาพและตารางของบทความที่เป็นภาษาไทย ให้บรรยายเป็นภาษาไทย รูปภาพและตารางของบทความที่เป็นภาษาอังกฤษ ให้บรรยายเป็นภาษาอังกฤษ
 - เป็นการอภิปรายผลการวิจัยว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างอิงทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบ เพื่อให้ผู้อ่าน

เห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำผลไปใช้ประโยชน์ และการให้ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

- รูปภาพ/กราฟ ให้อยู่ในเนื้อเรื่องของบทความ ขนาดตัวอักษรสามารถอ่านได้ชัดเจน เหมาะสมกับขนาดของรูปภาพ/กราฟ โดยบันทึกเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล JPG มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 300 dpi เท่านั้น ถ้าเป็นภาพถ่ายกรุณาส่งภาพต้นฉบับ และในกรณีที่เป็นรูปถ่ายเส้นให้วาดโดยใช้หมึกสีดำที่มีความคมชัด หมายเลขรูปภาพ/กราฟให้เป็นเลขอารบิก และอยู่ด้านล่างของรูปภาพ/กราฟ
- ตาราง ให้อยู่ในเนื้อเรื่องของบทความ หมายเลขตารางให้เป็นเลขอารบิก และอยู่ด้านบนของตาราง

4. บทสรุป (CONCLUSION) สรุปประเด็น และสาระสำคัญที่ได้จากการวิจัย
 5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ความช่วยเหลือให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพียงสั้นๆ (อาจมีหรือไม่มีก็ได้)
 6. เอกสารอ้างอิง (REFERENCES) เป็นรายการเอกสารอ้างอิงที่ใช้เป็นหลักในการค้นคว้าวิจัยที่ได้รับการตรวจสอบเพื่อนำมาเตรียมรายงาน และมีการอ้างอิงถึงเฉพาะเอกสารที่ปรากฏในบทความเท่านั้น การอ้างอิงให้จัดเรียงตามลำดับที่อ้างอิงเป็นตัวเลขในเครื่องหมาย [x] และให้เริ่มต้นเรียงลำดับเอกสารจากที่พบในเนื้อหาออกเป็น [1] หากผู้เขียนมีมากกว่า 3 คน ให้ใส่ชื่อ 3 คนแรก แล้วตามด้วย และคณะหรือ et al.
- การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่องของบทความ (In-text Citations) การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่อง ให้ใช้ระบบแวนคูเวอร์ (Vancouver style) สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่

<http://library.md.chula.ac.th/guide/vancouver2011.pdf>

ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง

หนังสือหรือตำรา

รูปแบบพื้นฐาน ชื่อผู้แต่ง(Author)./ชื่อหนังสือ(Title of the book)./ครั้งที่พิมพ์(Edition)./เมืองที่พิมพ์(Place of Publication):สำนักพิมพ์(Publisher);ปี(Year).

- Janeway CA, Travers P, Walport M, Shlomchik M. Immunobiology. 5th ed. New York: Garland Publishing; 2001.
- รังสรรค์ ปัญญาธิญญะ. โรคติดเชื้อของระบบประสาทกลางในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์; 2536.

บทความจากวารสาร (Articles in Journals)

รูปแบบพื้นฐาน ชื่อผู้แต่ง(Author)./ชื่อบทความ(Title of the article)./ชื่อวารสาร(Title of the Journal)./ปีที่พิมพ์(Year);เล่มที่ของวารสาร(Volume):หน้า(Pages).

- ชนิดรา ดำรงกิจ, ใหม่ น้อยพิทักษ์, วิบูลย์ ตั้งวิโรตมณฑล และคณะ. การศึกษาสมบัติทางกลและส่วนผสมทาง เคมีของรอยเชื่อมเหล็กแรงรถไฟ. วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพฯ. 2561;12(1):119-31.
- White AR, Treenate D, Kiatgungwalgrai A, et al. The effects of accent familiarity on English as a foreign language students' word recognition and comprehension of the English language. UTK Res J. 2559;10(2):21-30.

เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Material)

รูปแบบพื้นฐาน ชื่อผู้แต่ง (Author)./ชื่อบทความ (Title of the article) [ประเภทของสื่อ/วัสดุ]./สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์ (Year) [เข้าถึงเมื่อ/cited ปี เดือน วันที่]./จาก (Available from): <http://.....>

- Foley KM, Gelband H, editors. Improving palliative care for cancer [Internet]. Washington: National Academy Press; 2001 [cited 2002 Jul 9]. Available from: <https://www.nap.edu/catalog/10149/improving-palliative-care-for-cancer>.
- “กำเนิด” ระบบหลักประกันสุขภาพถ้วนหน้า มิติใหม่แห่งการบริการด้านสาธารณสุขเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของคนไทย [อินเทอร์เน็ต]. นนทบุรี: สปสช.; 2552. [เข้าถึงเมื่อ 25 มีนาคม 2554]. จาก: www.localfund.in.th/files/NHSO-intro1-6.pdf

การอ้างอิงบทความที่นำเสนอในการประชุม หรือสรุปผลการประชุม (Conference paper)

รูปแบบพื้นฐาน ชื่อผู้เขียน./ชื่อเรื่อง./ใน(In):/ชื่อบรรณาธิการ./บรรณาธิการ./ชื่อหนังสือ./ชื่อการประชุม;/วัน เดือน ปีที่ประชุม;/สถานที่จัดประชุม./สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์;/ปีที่พิมพ์./เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้ายของบทที่อ้าง.

- ชีระ ฤชตระกูล. Coagulopathy in liver diseases. ใน: ปิยะวัฒน์ โกมลมิตร, ทวีศักดิ์ แทนวันดี, อนุชิต จุฑาพุทธิ, บรรณาธิการ. Vascular diseases of the liver. การประชุมวิชาการประจำปี ครั้งที่ 4 Vascular diseases of the liver; วันที่ 12-14 มีนาคม 2552; เพชรบุรี. กรุงเทพฯ: สมาคมโรคตับ (ประเทศไทย); 2552. น.1-13.

4.2 บทความวิชาการ

A. ส่วนปก

มีส่วนประกอบเหมือนบทความวิจัย

B. ส่วนเนื้อหา

1. บทนำ (INTRODUCTION) เป็นส่วนของที่มาของมูลเหตุของการเขียนบทความ
2. วิธีการศึกษา/วิธีดำเนินการ (METHOD) (ถ้ามี) เป็นการอธิบายวิธีการศึกษา หรือการดำเนินการตามประเภทของบทความวิชาการ
3. ผลการศึกษา/ผลการดำเนินการ (RESULT AND DISCUSSION) เป็นการเสนอผลอย่างชัดเจน ตามประเด็นโดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษาหรือดำเนินการ
4. สรุป (CONCLUSION) สรุปประเด็น และสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา
5. เอกสารอ้างอิง (REFERENCES) ใช้ตามที่วารสารกำหนด

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ (Peer Review)

ประจำปี 18 ฉบับที่ 1 มกราคม – กรกฎาคม 2567

รองศาสตราจารย์.ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิศา แก้วหาวงษ์
รองศาสตราจารย์.ดร.ไชยยันต์ ไชยยะ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.พิทักษ์ สุพรรณโณภาพ
รองศาสตราจารย์.ดร.วิชาญ ช่วยพันธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. ปราโมทย์ ฉลองรัตนสกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สุธรรม ศิวาวุธ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.กมลพงศ์ แจ่มกมล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.พลเทพ เวงสูงเนิน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สุชาดา สิทธิจงสถาพร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สุชาดา สิทธิจงสถาพร	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรินทร์ นวมทิม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ประเสริฐ เผาชู	ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ภัทรพงศ์ เกิดลาภี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.อนันต์ชัย แปะเจริญ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ภัทรพงศ์ เกิดลาภี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สายชล ชุตเจื้อจิ้น	ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.พลเทพ เวงสูงเนิน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วุฒิชัย สงางาม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. รัตนาภร ยวงสวัสดิ์	ดร.ธรรมวิชัย ประเสริฐ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.วลัยพร ผอนผัน	ดร.อดิศักดิ์ นาวเหนียว
ดร.กิตติยา สุขหม	ดร.นวพงษ์ ชำหา
ดร.สายฝน โพธิสุวรรณ	ดร.ไฉน นอยแสง
	ดร.กวีวัชร ทัตติวงษ์

แบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว)..... นามสกุล.....

ขอส่ง บทความวิจัย บทความวิชาการ

เรื่อง (ภาษาไทย).....

เรื่อง (ภาษาอังกฤษ).....

ชื่อผู้เขียนรวม (ภาษาไทย)

1.
2.
3.

ชื่อผู้เขียนรวม (ภาษาอังกฤษ)

1.
2.
3.

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก..... หมู่ที่..... ซอย..... ถนน

..... ตำบล/แขวง..... อำเภอ/เขต..... จังหวัด..... รหัส

ไปรษณีย์..... E-mail..... โทรศัพท์..... โทรสาร

..... โทรศัพท์ (มือถือ).....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ เป็นผลงานของข้าพเจ้าแต่เพียงผู้เดียว

เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุในบทความจริง

โดยขอรับรองว่ารูปภาพและข้อความทั้งหมดในบทความนี้ ไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ใด ๆ และบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำบทความนี้ส่งไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นอีกเป็นการซ้ำซ้อนการละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนบทความโดยตรง ทั้งนี้ผู้เขียนเข้าใจในนโยบายการรับบทความของวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพแล้ว และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มทร. กรุงเทพ ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ลงชื่อ.....

(.....)



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง

โดย

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน จาก 3 มหาวิทยาลัย
และตีพิมพ์ในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ
ปีที่..... ฉบับที่ (..... - พ.ศ.)

(.....)

บรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ขั้นตอนการจัดทำวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

