



วารสารวิจัย

มทร.กรุงเทพ

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
Rajamangala University of Technology Krungthep Research Journal
ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2561 Vol 12 No.2 July – December 2018

เจ้าของ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

ดร.สุกิจ นิตินัย	อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม	กรรมการสภาวิชาการมหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ สมชาย วงศ์วิเศษ	กรรมการสภามหาวิทยาลัย
ดร.สิริเบญญา กอวัฒนา	กรรมการสภามหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อารมณ์ บางเจริญพรพงศ์	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายชล ชุตติ์เจื้อจัน	ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพรัตน์ ภัยวิมุตติ	รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทศนีย์ ชาเจียมเจน	รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

บรรณาธิการ

ดร.ฤทธิชัย เกาเนียม	รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
---------------------	-----------------------------------

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ จ้าวสุวรรณ	ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
ดร.กฤษณ์ สงวนพวง	ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จ่านงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.อัครา จันทรฉาย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.นรเศรษฐ พัฒนเดช	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ ศรีวงศ์คล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ขนิษฐา เจริญลาภ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชัย จันทรมณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประยูร สุรินทร์	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุราษฎร์ พรหมจันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล จิรเสรีอมรกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมกริช ละวรรณวงษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิรจรีต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรนาถ ไธภู
ดร.ประกอบ ชาติภูเกต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เจ้าหน้าที่ประจำกองบรรณาธิการ

นางสาวเกตุวดี อุเทน
นางนภานภา จรรย์
นางสาวขวัญใจ ยุติรัตน์
นางสาวศิริพร ช้างอยู่
นายวิระวัฒน์ ราษฎร์สภา
นายวันนิวัติ วันทนา

นางวิไรรัตน์ ราษฎร์สภา
นางจันทนา สังข์อู่
นางสาวกนกวรรณ วอนเพียร
นางสาววราพร ชาญชัยฤทธิ์
นางสาวอัจฉรา จินดาจำนง
นางสาววันทนา ประณิธานธรรม

บทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

ความเป็นมา

วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ ISSN 1906 - 0874 เป็นวารสารวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ โดยสถาบันวิจัยและพัฒนา ได้มีการจัดทำวารสารอย่างต่อเนื่องตั้งแต่พ.ศ. 2550 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งเป็นวารสารที่อยู่ในฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารไทย (TCI) กลุ่มที่ 1 ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเผยแพร่เป็นราย 6 เดือน ซึ่งตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ (ฉบับละ 15-20 บทความ) และมีการดำเนินงาน จัดพิมพ์บทความประเภทต่าง ๆ ได้แก่ บทความวิจัย (Research paper) และ บทความวิชาการ (Academic paper)

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ เป็นบทความที่สร้างองค์ความรู้และมีคุณภาพในทางวิชาการสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการอ้างอิงได้ เพราะผ่านการพิจารณาถ่วงดุลและประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง อย่างน้อย 2 ท่าน ซึ่งเป็นการประเมินแบบไม่แสดงชื่อผู้แต่งและผู้ประเมิน (Double blinded) ก่อนที่จะเผยแพร่สู่สาธารณชน จึงทำให้วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ เป็นวารสารวิชาการที่มีคุณภาพ

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

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research paper) และบทความวิชาการ (Academic paper) ที่มีคุณภาพของอาจารย์นักวิจัย นักวิชาการทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และสาขาต่าง ๆ ที่มีการบูรณาการข้ามศาสตร์ที่เกี่ยวข้องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย
2. เพื่อส่งเสริมและเป็นกลไกการขับเคลื่อนงานวิจัย ทำให้เกิดผลงานวิจัยที่เข้าไปสู่การพัฒนาต่อภาคสังคม ชุมชน และนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนเพื่อต่อยอด และเกิดความเชื่อมโยงระหว่างงานวิจัยงานวิชาการ ซึ่งนำมาสู่การเกิดประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และตอบสนองต่อการพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศไทย

นโยบายการรับบทความ

กองบรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ มีความยินดีที่จะรับบทความจากอาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงสาขาต่าง ๆ ที่มีการบูรณาการข้ามศาสตร์ที่เกี่ยวข้องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่เขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ซึ่งผลงานวิชาการที่ส่งมาขอตีพิมพ์ต้องไม่เคยเผยแพร่ในสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารอื่น

การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านการพิจารณาถ่วงดุลคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ และได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ

ข้อความที่ปรากฏอยู่ในแต่ละบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเล่มนี้ เป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียนแต่ละท่าน ไม่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพแต่อย่างใด ความรับผิดชอบด้านเนื้อหา และการตรวจร่างบทความแต่ละบทความของผู้เขียนแต่ละท่าน หากมีความผิดพลาดใด ๆ ผู้เขียนแต่ละท่านจะต้องรับผิดชอบต่อบทความของตนเองแต่ผู้เดียว

กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์มิให้นำเนื้อหา หรือข้อคิดเห็นใด ๆ ของบทความในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ ไปเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาตจากกองบรรณาธิการ อย่างเป็นลายลักษณ์อักษร ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสาร

ผู้ประสงค์จะส่งบทความกรุณาอ่านรายละเอียดการส่งบทความที่คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความ ซึ่งได้ระบุไว้ในเล่มวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ หรือ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk> และสามารถส่ง Online ได้โดยกรอกรายละเอียดให้ครบถ้วนในระบบการส่งบทความ Online หากต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมติดต่อได้ที่

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
โทร. 0 2286 9600 ต่อ 1177 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 มอบให้สถาบันการศึกษาต่าง ๆ ทั่วประเทศไทย
และ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk>

สถานที่ออกแบบและจัดพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัดศรีบูรณคอมพิวเตอร์การพิมพ์
95/84 ถนนสุขสวัสดิ์ ตำบลในคลองบางปลากด อำเภอพระสมุทรเจดีย์
จังหวัดสมุทรปราการ 10290
โทร. 02 816 2221, 089 519 2093
E-mail : sbpprinting@gmail.com

บล็อกปูถนนด้วยวัสดุทดแทนมวลละเอียด	
Renewable by Fine Aggregate in Block Cement.....	1
ณรงค์ เฉลิมวิวัฒน์ชัย และ วรพันธ์ แก้วพิทยาภรณ์	
การพัฒนาเตาประหยัดพลังงานสำหรับชุมชน	
Development of Energy Saving Stove for Community	8
สุปราณี วุ่นศรี, พวงทิพย์ แก้วทับทิม, นุชลี ทิพย์มณฑา	
การศึกษาวิธีการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เลื่อยไม้ยางพารากับมูลสัตว์	
Study of Energy Fuel Briquettes production from Sawdust of Rubber Wood	
and Animal Dung	17
สุปราณี วุ่นศรี, วราวุฒิ ดวงศิริ, นุชลี ทิพย์มณฑา	
องค์ประกอบของฝุ่นละอองในอากาศบนถนนทะเลหลวง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา	
Composition of Aerosol Particles in the Air on Thala Laung Road Muang District,	
Songkhla Provice	26
วราวุฒิ ดวงศิริ, สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์, นิชา ประสงค์จันทร์	
การพัฒนาวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างบนไมโครสตริปโดยใช้ระนาบกราวด์มีรอยและสตัป	
Development of Wideband Microstrip Bandpass Filters Using DGS and Stub	40
ณัฐพงศ์ บุตรธนู, นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์, ศราวุธ ชัยมูล	
การเพิ่มประสิทธิภาพเตาถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้แบบคิวโพลาดด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ	
Efficiency Improvement of Cupola Namphi Iron Ore Furnace by Using Automatic	
Control System	49
พิทักษ์ คล้ายชม, อภิศักดิ์ พรหมฝ่าย, ไพโรจน์ นะเที่ยง	
การพัฒนาเครื่องตัดใบข้าวเพื่อลดการสั่นสะเทือน	
Development of Rice Leaf Cutter for Reduction of Vibration.....	60
สุวิพงษ์ เหมะธูลิน, ณัฐดนัย พรพรรณเจริญวงษ์	
Antioxidant and Anticancer Activities of the Extract from Tiliacora triandra Diels. in	
Nakhonsawan Province.....	73
Duangsuree Sanseera, Boonsom Liawruangrath, Saisunee Liawruangrath	

ประสิทธิภาพของแบคทีเรียสายพันธุ์ Streptococcus thermophilus ในการผลิตสารคล้ายแบคทีริโอซิน เพื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรค

Efficiency of bacteria strain Streptococcus thermophilus for producing bacteriocin-like substance to inhibit the pathogenic bacteria growth..... 79

ณัฐวุฒิ มีศิลป์, ณัฐวุฒิ สร้อยพิมาย, วรพงษ์ ครูสอนดี, รัตน์ชัย เทศสันเทียะ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนอบแห้งจากแป้งข้าวสังข์หยด

Product Development of Dried Gluten-Free Pasta from Sangyod Rice Flour..... 91

ชนิษฐา หมวดเอียด

The effect of the Kinesio taping at the leg on compensatory movement during walking in individuals with stroke 103

Anecha Horasart, Sunee Bovonsunthonchai, Wanalee Klomjai

The results from applying statistical technology software into classroom in comparison against the lecturer's traditional calculation by hand 111

Komm Pechinthorn

การสร้างฐานข้อมูลด้วยไมโครซอฟท์เอ็กเซลสำหรับการคำนวณแรงดันตกตามมาตรฐาน การติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ด้วยซีพลัสพลัสบิวเดอร์

Database Building with Microsoft Excel for Voltage Drop Calculation according to Thai Electrical Code 2013 with C++ Builder 119

ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย, ประเสริฐ เผ่าชู, เอกพล อนุสุเรนทร์,

ชูศักดิ์ กมลขันติธร, วินัย เมธาวิทิต, วิริยะ ศิริขานนท์

การพัฒนาระบบและฐานข้อมูลสำหรับการวางแผนกำลังการผลิตในอุตสาหกรรมแผงวงจรรวม

Development of system and database for Capacity Planning in Integrated Circuit Manufacturing..... 136

ภัทร ลีลาพฤทธิ์, นภาพรณ เชื้อชาติ

ระบบบริหารงานโรงงานน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงงานเพชรน้ำทิพย์

Management System of Drinking Water Factory Case Study of Diamond Drinking Water Factory..... 148

ทวีศักดิ์ คงตุก, อนุทิตา เล็กเพชร

บล็อกปูถนนด้วยวัสดุทดแทนมวลละเอียด Renewable by Fine Aggregate in Block Cement

ณรงค์ เฉลิมวัฒนชัย^{1*}, วรพันธ์ แก้วพิทยาภรณ์¹
Narong Chalermwattanachai^{1*}, Worapan Kaewpitthayaporn¹

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ ทุ่งมหาเมฆ สาทร์ กรุงเทพมหานคร 10120

Surveying Engineering , The Faculty of Engineering at Rajamangala University of Technology Krungthep

2, Nang Linchi Rd., Thung Maha Mek, Sathon, Bangkok, Thailand, 10120

*Corresponding author. Tel.: +66 2287 9637, E-mail: ji_doreamon@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตบล็อกปูถนนที่มีความแข็งแรง สามารถรับแรงกดได้และเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ โดยการหล่อแบบมอร์ต้า (Morta) ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ที่ใช้วัสดุทดแทนมวลละเอียดจำนวน 2 ชนิด คือ คอนกรีตมวลเบาบดละเอียดและผงแกรนิต นำมาผสมตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ โดยใช้ปริมาณวัสดุทดแทนมวลละเอียดร้อยละ ± 10 จำนวน 9 อัตราส่วน ใช้ระยะเวลาการบ่มคอนกรีต 7, 14 และ 28 วัน ระยะเวลาละ 30 ก่อน จากการเปรียบเทียบการใช้วัสดุทดแทนมวลละเอียดที่แตกต่างกัน ได้แก่ หวาย คอนกรีตมวลเบาบดละเอียดและผงแกรนิต ที่ขนาดและสภาวะการเตรียมเหมือนกัน พบว่าการใช้ปูนซีเมนต์ ต่อ ส่วนผสมระหว่างคอนกรีตมวลเบาบดละเอียดกับผงแกรนิต ต่อ น้ำที่ส่วนผสมระหว่างคอนกรีตมวลเบาบดละเอียดกับผงแกรนิต เท่ากับ 50 ต่อ 50 ใช้ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน รับกำลังอัดได้ 122.52 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้เป็นบล็อกปูถนน

คำสำคัญ: บล็อกปูถนน วัสดุทดแทนมวลละเอียด มอร์ต้า คอนกรีตมวลเบา

ABSTRACT

The purpose of this research is to produce a high strength street-paving block. It enables to Compression Strength and to take the waste material from laboratory to recycle being a new one by Mortar Mold (size 5x5x5 cm.). It is used to compensate the Replacement Material for Fine Aggregate for two type that are Powdered Lightweight Concrete and Granite Dust to mixed by the designed ratio (increase/decrease for 10 percentages of Replacement Material for Fine Aggregate) for nine ratio. The duration of curing concrete for all of the periods of time are 7, 14 and 28 days. That is each period in 30 block to compare each category of

Received 17-09-2018

Revised 06-12-2018

Accepted 06-12-2018

Replacement Material for Fine Aggregate which is Powdered Lightweight Concrete and Granite Dust (only) for 3 samples by Mortar Mold and period of time at the same time. This is found that the ratio between cement : Powdered Lightweight Concrete mixed with the Granite Dust : water with a ratio percentage of Powdered Lightweight Concrete against the Granite Dust to be 50 : 50. It can be Compression strength to be 122.52 ksc. At 28 days curing time is most suitable for street-paving.

Keywords: Street-paving block, Replacement Material for Fine Aggregate, Mortar,

1. บทนำ

ปัจจุบันการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย อาคารพาณิชย์ และอื่น ๆ จะเรียกว่า อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งจะประกอบด้วยคอนกรีตและเหล็กเป็นองค์ประกอบหลัก เพื่อความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบและตอบสนองต่อการใช้ประโยชน์ของอาคารนั้น ๆ ซึ่งภายในอาคารจะถูกแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ตามพื้นที่ใช้สอยตามความต้องการของเจ้าของพื้นที่ โดยการนำวัสดุชนิดนี้มาขึ้นเป็นสัดส่วน เรียกว่าผนังกันห้องหรือกำแพง ซึ่งวัสดุชนิดนั้น คือ อิฐมวลเบา หรืออิฐมวลเบา (คอนกรีตมวลเบา) และในอุตสาหกรรมก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก นิยมใช้คอนกรีตมวลเบาในการก่อสร้าง เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ได้ถูกคิดค้นขึ้นถึงความก้าวหน้าของวัสดุก่อสร้าง ส่วนใหญ่จะใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างต่าง ๆ ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันเสียง เหมาะสำหรับงานประเภทหอพัก งานประเภทที่พักอาคารชุดงานอาคารบ้านเรือนทั่วไป สำนักงาน เป็นต้น คอนกรีตมวลเบาสามารถป้องกันความร้อน หนไฟได้ดีกว่าอิฐมวลแดง สามารถติดตั้งขึ้นรูปทรงได้ง่ายกว่า นอกจากนี้คอนกรีตมวลเบามีน้ำหนักเบา สามารถก่อได้อย่างรวดเร็วประหยัดเวลาและลดต้นทุนในการก่อสร้าง



ภาพที่ 1 อาคารพาณิชย์ที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตมวลเบา

เมื่อมีการปรับปรุงหรือซ่อมแซมอาคารใหม่ โดยการขยายหรือลดพื้นที่ใช้สอยหรือจัดรูปแบบแผนผังใหม่ จำเป็นต้องการรื้อถอนหรือทุบผนังห้องออก (คอนกรีตมวลเบา) ทำให้กลายเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ไร้ประโยชน์ การรับแรงอัด (แรงกด) ลดลง ทั้งนี้พบว่าจะมีปัญหาเรื่องการหาสถานที่ในการทิ้งอย่างมาก จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำวัสดุเหลือทิ้งจากการใช้ประโยชน์ (คอนกรีตมวลเบา ที่ถูกรื้อถอนแล้ว) นำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยจะศึกษาเกี่ยวกับค่าแรงอัด (แรงกด) โดยการเพิ่มวัสดุบางชนิด (วัสดุมวลละเอียด) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการรับแรงอัด (แรงกด) และจัดทำเป็นบล็อกปูถนนขนาด 5x5 เซนติเมตร ที่มีความแข็งแรงสามารถรับแรงกดได้และเหมาะสมต่อการนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยเกิดความสนใจ และมีแนวความคิดที่จะนำวัสดุเหลือทิ้งนำมาใช้ใหม่ (คอนกรีตมวลเบา) โดยการนำวัสดุเหลือทิ้งมาบดละเอียดและผสมกับวัสดุบางชนิด เพื่อเพิ่มกำลังความแข็งแรงและลดมวลละเอียด (ทราย) หรืออาจจะทดแทนมวลละเอียดก็ได้ และเพื่อเป็นการผลิตบล็อกปูถนนที่มีความแข็งแรงสามารถรับแรงกดได้ และเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มของคอนกรีตมวลเบาจากเศษวัสดุเหลือทิ้ง

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาความแข็งแรงของมอร์ต้า (กำลังอัดของมอร์ต้า) ต้องสามารถรับแรงกดได้มากที่สุดตามระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งการที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงและสามารถรับแรงอัดได้มากจะต้องมีการเตรียมการก่อนล่วงหน้า ดังนี้

2.1.1 การออกแบบหาค่า w/c [1] (ปริมาณน้ำต่อปริมาณคอนกรีต) เพื่อทดสอบหาความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้า คือ วัดการกระจายตัวของมอร์ต้าบนโต๊ะควบคุมการไหล (Flow Table) สำหรับการวิจัยครั้งนี้จะต้องออกแบบค่าต่าง ๆ ให้สอดคล้องกัน กล่าวคือ การทดสอบกำลังอัดของปูนซีเมนต์ (Compressive Strength of Mortar) ตามมาตรฐาน ASTM C-109 ผสมมอร์ต้า ซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์ 1 ส่วน โดยน้ำหนักกับทราย มาตรฐานออตตาวา (Ottawa Sand) 2.75 ส่วนค่า Water Cement Ration (w/c) เท่ากับ 0.485 สำหรับค่า w/c ที่ใช้ในงานวิจัย คือ 0.485 แต่เนื่องจากการทดสอบต้องมีการวัดการกระจายของปูนซีเมนต์มอร์ต้าบนโต๊ะควบคุมการไหล [2] อยู่ในขอบเขตที่กำหนดคือประมาณ 110%-115% ของเส้นผ่านศูนย์กลางเดิม จึงได้ออกแบบค่า w/c ให้ครอบคลุมจากที่กำหนดเป็น 0.45 0.485 และ 0.550 (ดังตารางที่ 3.1) จากการ

ที่ผู้วิจัยกำหนดค่า w/c เท่ากับ 0.485 นั้นเพราะต้องการทดสอบดูว่าการกระจายตัวอยู่ในช่วง 110%-115% หรือไม่ (เฉพาะทราย) ส่วนคอนกรีตมวลเบา ใช้ค่า W/C เท่ากับ 1.81 และผงหินแกรนิต ใช้ค่า W/C เท่ากับ 1.04

ตารางที่ 1 ค่า w/c และ ปริมาณวัสดุทดสอบ (ทราย) ที่ออกแบบ

ที่	ค่า w/c	ปริมาณวัสดุ (กรัม)		
		ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ
1	0.450	740	2,035	333.00
2	0.485	740	2,035	358.90
3	0.550	740	2,035	407.00

ตารางที่ 2 ค่า w/c และ ปริมาณวัสดุทดสอบ (คอนกรีตมวลเบา) ที่ออกแบบ

ที่	ค่า w/c	ปริมาณวัสดุ (กรัม)		
		ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ
1	1.46	740	2,035	1265.70
2	1.95	740	2,035	1410.00

ตารางที่ 3 ค่า w/c และ ปริมาณวัสดุทดสอบ (ผงแกรนิต) ที่ออกแบบ

ที่	ค่า w/c	ปริมาณวัสดุ (กรัม)		
		ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ
1	0.890	740	2,035	666.00
2	0.970	740	2,035	720.10
3	1.200	740	2,035	888.30

2.1.2 การออกแบบส่วนผสม คือ วัสดุส่วนผสม เช่น ปูนซีเมนต์ ทราย เศษผงแกรนิตน้ำ และคอนกรีตมวลเบา ผู้วิจัยจะทำการทดสอบกำลังอัดของปูนซีเมนต์ (Compressive Strength of Mortar) ตามมาตรฐาน ASTM C-09 ผสมมอร์ต้าซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์ 1 ส่วนโดยน้ำหนักกับทรายมาตรฐานออตตาวา (Ottawa Sand) 2.75

ส่วนค่า Water Cement Ration (W/C) เท่ากับ 0.485 โดยกำหนด กลุ่มตัวอย่าง ดังนี้

กลุ่มที่ 1 แบบส่วนผสม คือ ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ

กลุ่มที่ 2 แบบส่วนผสม คือ ปูนซีเมนต์ : คอนกรีตมวลเบา : น้ำ

กลุ่มที่ 3 แบบส่วนผสม คือ ปูนซีเมนต์ : อัตราส่วนผสม : น้ำ

วัสดุผสม คือ คอนกรีตมวลเบา : เศษผงแกรนิต ที่คิดเป็นสัดส่วนตามเปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถแบ่งตัวอย่างออกได้ตามตารางที่ 4

2.2 การเตรียมวัสดุการทดสอบ

ในการเตรียมวัสดุเพื่อทดสอบสมบัติต่าง ๆ มีขั้นตอนดังนี้

2.2.1 นำคอนกรีตมวลเบาที่เหลือทิ้ง จากการใช้ประโยชน์ มาทำความสะอาดให้เรียบร้อยตาม น้ำหนักที่ออกแบบไว้

2.2.2 หลังจากทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว ให้นำคอนกรีตมวลเบามาทุบให้ละเอียด เก็บไว้ในที่ อุณหภูมิห้องปกติ

ตารางที่ 4 การออกแบบส่วนผสม

แบบ ส่วนผสม	อัตราส่วนผสม		
	ปูนซีเมนต์	คอนกรีตมวลเบา : น้ำ ผงแกรนิต	
3.1	ปูนซีเมนต์	90 : 10	น้ำ
3.2	ปูนซีเมนต์	80 : 20	น้ำ
3.3	ปูนซีเมนต์	70 : 30	น้ำ
3.4	ปูนซีเมนต์	60 : 40	น้ำ
3.5	ปูนซีเมนต์	50 : 50	น้ำ
3.6	ปูนซีเมนต์	40 : 60	น้ำ
3.7	ปูนซีเมนต์	30 : 70	น้ำ
3.8	ปูนซีเมนต์	20 : 80	น้ำ
3.9	ปูนซีเมนต์	10 : 90	น้ำ

2.2.3 นำทรายแม่น้ำมาผ่านตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 16 เบอร์ 30 เบอร์ 50 และเบอร์ 100 [3]

2.2.4 นำผงหินแกรนิต มาคัดแยกเศษหิน เศษไม้ ที่ปะปนรวมกันมาก

2.2.5 น้ำที่ใช้สำหรับผสม ควรทิ้งไว้ก่อนผสม ประมาณ 2-3 วัน เพื่อลดปริมาณคลอรีนในน้ำ

2.2.6 ตรวจสอบแบบหล่อมอร์ต้า ให้อยู่ใน สภาพพร้อมใช้งาน

2.2.7 ตรวจสอบอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

2.3 การผสมวัสดุ

การผสมวัสดุตามที่ได้ออกแบบไว้ดำเนินการ หลายขั้นตอน ดังต่อไปนี้

2.3.1 การทดสอบหาความชื้นเหลวของซีเมนต์ มอร์ต้า (Test for Consistency of Cement Mortar) ตามมาตรฐาน ASTM : C 230-61T โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมกับความชื้นเหลวของ ซีเมนต์มอร์ต้า รวมถึงการทดสอบการไหลแผ่ที่ 110% พบว่า การไหลแผ่ของมอร์ต้า (ทราย) เท่ากับ 0.480 การไหลแผ่ของมอร์ต้า (คอนกรีตมวลเบา) เท่ากับ 1.81 และการไหลแผ่ของมอร์ต้า (ผงแกรนิต) เท่ากับ 1.04 ตามลำดับ เพื่อนำไปเป็นค่า w/c จำนวน 90 ก่อนต่อ กลุ่มตัวอย่าง

2.3.2 การผสมวัสดุตามที่ได้ออกแบบ และ เป็นไปตามความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้า

หลังจากหาความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้า แล้วให้ดำเนินการหาค่า w/c ใหม่ เพื่อความเหมาะสม คือ ค่า w/c ของทราย คอนกรีตมวลเบา และผง แกรนิต เป็น 0.485 1.81 และ 1.04 ตามลำดับ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณน้ำใหม่ ที่ใช้สำหรับกลุ่ม ตัวอย่างที่ 1 กลุ่มตัวอย่างที่ 2 และกลุ่มตัวอย่างที่ 3 จำนวนตัวอย่างละ 90 ก้อน คือ 3.64 13.58 และ 7.80 กิโลกรัม (ตามลำดับ)

สำหรับกลุ่มตัวอย่างทั้ง 9 ตัวอย่าง (ตารางที่ 4) ทางผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบตามสัดส่วนเช่นเดิม คือ 1:2.75 กล่าวคือ ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน โดยน้ำหนัก กับทราย มาตรฐานออตตาวา (Ottawa Sand) 2.75 ส่วน [4] ซึ่งได้กำหนดค่า w/c เท่ากับ 1.27 ให้กับทุกกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้เป็นตัวแปรหลักในการเปรียบเทียบการทดสอบหาค่ากำลังอัดของมอร์ต้าทั้ง 9 กลุ่มตัวอย่าง สำหรับค่า w/c ที่กำหนดใช้ได้มาจากการเทียบค่า w/c ของคอนกรีตมวลเบาเป็นหลักของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 (w/c เท่ากับ 1.81) กับปริมาณน้ำหนักรวสตุที่ใช้ (คอนกรีตมวลเบา) เพราะฉะนั้นกลุ่มตัวอย่างที่ 3.1–3.9 จะมีค่า w/c ปริมาณปูนซีเมนต์ และปริมาณน้ำที่ใช้ผสมเท่ากัน สำหรับรวสตุที่ใช้ทดแทนวัสดุมวลละเอียดในงานวิจัยครั้งนี้ คือ คอนกรีตมวลเบากับผงแกรนิต ซึ่งจะมีอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4) เพื่อหาผลการทดสอบกำลังอัดสูงสุด

2.4 ผสมคอนกรีตตามที่ได้ออกแบบไว้

(ตัวอย่างละ 90 ก้อน ค่า w/c เท่ากับ 1.27 ปริมาณปูนซีเมนต์ เท่ากับ 7.50 กิโลกรัมและปริมาณน้ำ 9.52 กิโลกรัม)

ตารางที่ 5 ปริมาณรวสตุที่ใช้

กลุ่มที่	อัตราส่วน	ปริมาณรวสตุที่ใช้	
		คอนกรีตมวลเบา	ผงแกรนิต
3.1	90 : 10	18.56	2.06
3.2	80 : 20	16.50	4.12
3.3	70 : 30	14.44	6.18
3.4	60 : 40	12.37	8.25
3.5	50 : 50	10.31	10.31
3.6	40 : 60	8.25	12.37
3.7	30 : 70	6.18	14.44
3.8	20 : 80	4.12	16.50
3.9	10 : 90	2.06	18.56

2.5 บ่มคอนกรีตตามระยะเวลาที่กำหนด

หลังจากหล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้เก็บตัวอย่าง ซึ่งอยู่ในแบบหล่อไว้ในห้องบ่มขึ้นโดยผิวหน้าให้สัมผัสกับความชื้น แต่ไม่ให้ถูกหยดน้ำเป็นเวลา 20–24 ชั่วโมง ถ้าต้องถอดแบบก่อน 24 ชั่วโมง ให้เก็บก้อนตัวอย่างในตู้ขึ้นหรือห้องขึ้น จนครบ 24 ชั่วโมง [5] แล้วจึงแช่น้ำสะอาด (ยกเว้นก่อนทดสอบที่จะทดสอบ เมื่อครบเกณฑ์ 24 ชั่วโมง) โดยคอยเปลี่ยนน้ำที่ใช้ให้สะอาดอยู่เสมอ เมื่อบ่มจนอายุตามต้องการแล้ว ก็นำไปทดสอบกำลังอัดของก้อนทดสอบ โดยอายุที่กำหนดไว้ต้องให้มีความคลาดเคลื่อนได้

ตารางที่ 6 ความคลาดเคลื่อนได้ [2]

อายุการทดสอบ	ความคลาดเคลื่อนได้
24 ชั่วโมง	$\pm \frac{1}{2}$ เซนติเมตร
3 วัน	± 1 เซนติเมตร
7 วัน	± 3 เซนติเมตร
28 วัน	± 12 เซนติเมตร

2.6 ทดสอบการรับแรงกดของคอนกรีต

2.6.1 ให้ทดสอบกำลังอัดทันทีนำตัวอย่างออกจากห้องบ่ม ก่อนการทดสอบให้เช็ดผิวตัวอย่างให้แห้ง ปิดเอาเม็ดทรายหรือสะเก็ดที่ติดผิวหน้าออกให้สะอาด [6]

2.6.2 วัดขนาดของหน้าตัด ความสูง และชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละก้อนไว้ เวลา นำก้อนตัวอย่างไปกดทดสอบ ห้ามใช้ด้านข้างที่มีผิวหน้าทั้งสองหน้ารับแรง ถ้าด้านบนและด้านล่างของก้อนตัวอย่างไม่เรียบ ให้ฝนให้เรียบ และขนานกัน

2.6.3 นำก้อนทดสอบเข้าเครื่องทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของเส้นทดสอบ และผิวก้อนตัวอย่างสัมผัสกับแป้นกด เดินเครื่องทดสอบในอัตราที่

เหมาะสมสม่ำเสมอ จนกระทั่งก่อนทดสอบแตก โดยใช้เวลาทดสอบประมาณ 5–30 วินาทีต่อตัวอย่าง

2.7 บันทึกผลการรับแรงกดและสรุปผล

การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด จะดำเนินการตามระยะเวลาการบ่มคอนกรีต คือ ที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน โดยสรุปดังตารางที่ 7 และตารางที่ 8

ตารางที่ 7 กำลังอัดเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3

ที่	อายุ การบ่ม (วัน)	ค่ากำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม ²)		
		ทราย	คอนกรีต มวลเบา	ผง แกรนิต
1	7	109.522	40.888	98.875
2	14	113.469	47.705	100.103
3	28	117.278	61.064	112.175

ตารางที่ 8 กำลังอัดเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ 3.1 ถึง กลุ่มตัวอย่างที่ 3.9

ตัวอย่างที่	ค่ากำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม ²)		
	อายุการบ่ม		
	7 วัน	14 วัน	28 วัน
3.1	50.236	64.539	95.850
3.2	29.391	38.550	59.360
3.3	53.984	74.404	95.942
3.4	71.250	98.825	104.687
3.5	89.988	109.986	122.520
3.6	46.613	81.085	95.297
3.7	78.972	94.768	122.770
3.8	37.357	56.281	73.335
3.9	64.447	88.242	110.824

3. สรุปผลการวิจัย

3.1 ด้านกำลังอัด (ชนิดเดียว) จากการวิจัยทดลองพบว่า การรับกำลังอัดของบล็อกปูถนนด้วยวัสดุทดแทนมวลละเอียด (ชนิดเดียว) คือ ทราย (กลุ่มตัวอย่างที่ 1) คอนกรีตมวลเบา (กลุ่มตัวอย่างที่ 2) และผงแกรนิต (กลุ่มตัวอย่างที่ 3) โดยทางผู้วิจัยได้ทดสอบค่า w/c ในกลุ่มทดสอบจำนวน 9 ก่อนเพื่อนำค่า w/c ที่ได้มาใช้ในกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 เท่ากับ 0.485 1.810 และ 1.040 ตามลำดับ เพื่อทำการทดสอบหาค่ากำลังอัดในช่วงระยะเวลาทั้ง 3 ช่วง คือ ที่ 7 วัน ที่ 14 วัน และที่ 28 วัน จำนวนตัวอย่างช่วงระยะเวลา 30 ตัวอย่าง รวม 90 ตัวอย่าง เมื่อรวมทั้ง 3 ตัวอย่าง เท่ากับ 270 ตัวอย่าง (ตารางที่ 4) พบว่า ค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่ดีที่สุดของการทดสอบครั้งนี้ คือ ตัวอย่างที่ 1 ทั้ง 3 ช่วงระยะเวลาในการบ่มเท่ากับ 109.522 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 113.469 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 117.278 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ สรุปผลการทดสอบถือว่า ตัวอย่างที่ 1 คือ ทราย ที่เป็นวัสดุมวลละเอียดที่สามารถรับกำลังอัดได้ดี ที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน ซึ่งเป็นไปตามการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตทั่ว ๆ ไป คือ ระยะเวลาการบ่มมากขึ้น การรับกำลังอัดก็มากขึ้นตาม

3.2 ด้านกำลังอัด (สองชนิด) จากการวิจัยทดลองพบว่า การรับกำลังอัดของบล็อกปูถนนด้วยวัสดุทดแทนมวลละเอียด (สองชนิด) คือ คอนกรีตมวลเบาบดละเอียดกับผงแกรนิต นำมาผสมตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้โดยผู้วิจัยเพื่อที่จะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ให้กำลังอัดที่เหมาะสม (ตารางที่ 5) และกำหนดค่า w/c เท่ากับ 1.270 เป็นค่าคงที่ (ใช้สัดส่วนของคอนกรีตมวลเบาเป็นหลัก)

เพื่อทำการทดสอบหาค่ากำลังอัดจำนวน 9 กลุ่มตัวอย่าง ในช่วงระยะเวลาทั้ง 3 ช่วง คือ ที่ 7 วัน ที่ 14 วัน และที่ 28 วัน ช่วงระยะเวลาตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง รวม 90 ตัวอย่าง เมื่อรวมทั้ง 9 ตัวอย่าง เท่ากับ 810 ตัวอย่าง (ตารางที่ 8) พบว่า ค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่เหมาะสมของการทดสอบครั้งนี้ คือ กลุ่มตัวอย่างที่ 3.5 (คอนกรีตมวลเบาบดละเอียด ต่อผงแกรนิต คือ 50 : 50) สามารถรับกำลังอัด เท่ากับ 89.988, 109.986 และ 122.520 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุการบ่มที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ

4. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปิติ สุคนธ์สุขกุล. คอนกรีต. ปทุมธานี: วรณกวี; 2556.
- [2] อุดมวิทย์ กาญจนวงศ์. ปฏิบัติการทดสอบ คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์; 2543.
- [3] พิภพ สุนทรสมัย. วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 8 กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2543.
- [4] ประสิทธิ์ แก้วพิชัย, สมบูรณ์ เจริญไทย และ อนันต์ นนทศิริ. การศึกษาเพื่อใช้ทรายแม่น้ำ ทดแทนออกตาวาในการทดสอบกำลังอัดของ มอร์ต้า. กลุ่มทดสอบและวิเคราะห์คุณภาพ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน; 2549.
- [5] วินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ ครั้งที่ 7. 2559.
- [6] ประณต กุลประสูติ. เทคนิคงานปูน-คอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 7 กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย; 2548.
- [7] _____. ปฏิบัติการและควบคุมงาน คอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2536.

การพัฒนาเตาประหยัดพลังงานสำหรับชุมชน
Development of Energy Saving Stove for Community

สุปราณี วุ่นศรี^{1*}, พวงทิพย์ แก้วทับทิม², นุชลี ทิพย์มณฑา¹
Supranee Wunsri^{1*}, Pungtip Kaewtubtim², Nuchalee Thipmonta¹

^{1*} หลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อทราย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

² ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

¹ Science Program, Department of General Education, Faculty of Liberal Arts, Rajamangala

University of Technology Srivijaya, Songkhla, Thailand

² Department of Physics, Prince of Songkla University, Pattani Campus

*Corresponding author. Tel.: +668 1539 0193, E-mail: kongsuwan9153575@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตเตาประหยัดพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิงจากธรรมชาติ เพื่อให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนเชื้อเพลิงและเพื่อนำเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย การออกแบบและสร้างเตาประหยัดพลังงานจากการศึกษาเตาชีวมวลในชุมชน คือเตาทำขนมจีน ทดสอบสมรรถนะของเชื้อเพลิง คือ แกลบข้าว ขี้เถ้าจากไม้ยางพารา โดยเตาประหยัดพลังงานเป็นเตาแบบอากาศไหลขึ้น ตัวเตาเป็นแบบปูนหล่อมีอัตราส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ทรายหยาบ : หิน จำนวน 5 สูตรคือ สูตร A (3 : 1 : 3), สูตร B (2 : 2 : 3), สูตร C (2 : 3 : 2), สูตร D (3 : 2 : 2), และ สูตร E (3 : 3 : 1) และขึ้นรูปวัสดุภายในเตา มีอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินเหนียว : ขี้เถ้าแกลบ จำนวน 3 สูตร คือ สูตร F (1 : 1) สูตร G (2 : 1) และสูตร H (1 : 2) นำมาทดสอบการทนความร้อน พบว่าการขึ้นรูปตัวเตา สูตร B สามารถทนความร้อนสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และสำหรับการขึ้นรูปวัสดุภายในห้องเผาไหม้สามารถทนความร้อน ทั้ง 3 สูตร ที่ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และจากการผลิตเตาประหยัดพลังงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.20 เมตร สูง 0.70 เมตร ปริมาตรของห้องเผาไหม้ 0.10 ลูกบาศก์เมตร มีค่าประสิทธิภาพเตาเฉลี่ย คิดเป็น 39.82% ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเตาชีวมวลชุมชนที่มีค่าเป็น 40.82%

คำสำคัญ: ชีวมวล เตาชีวมวล เตาประหยัดพลังงาน

Received 27-08-2018

Revised 01-11-2018

Accepted 06-11-2018

Abstract

The objective of this research was to develop biomass stove using agricultural residue to reduce fuel cost for farmers and to recycle waste from agriculture to fuel. The research consisted of the design of the biomass stove which modified based on the model used in the villages e.g. Khanoom Jeen making stove. The agricultural residues including husk and saw dust were tested as fuel source. The designed biomass stove was up draft flow type. The stove body was made from the mixtures of cement : sand : stone with 5 different ratios; A (3 : 1 : 3), B (2 : 2 : 3), C (2 : 3 : 2), D (3 : 2 : 2) and E (3 : 3 : 1). Plastering material was prepared from clay: husk ash at three ratios; F (1 : 1), G (2 : 1) and H (1 : 2). The thermal tolerant property was tested and found that the stove body with ratio B gave the best thermal tolerant at 800 °C for 1 hour. The three plastering ratios gave similar thermal tolerant property at 800 °C for 1 hour. This optimum mixture was used for making the stove with the size of 0.20 m diameter and 0.70 m height. The volume of the stove was 0.10 m³ and the average efficiency of the stove was 39.82% and this was similar to community biomass stove 40.82%.

Keywords: Biomass, Biomass stove, Energy Saving Stove

1. บทนำ

เชื้อเพลิงจากชีวมวลเป็นแหล่งให้ความร้อนและแสงสว่างที่มีความสำคัญ ซึ่งในปัจจุบันเชื้อเพลิงจากชีวมวล จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานสำคัญของประเทศเกษตรกรรม และประเทศกำลังพัฒนา ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่กักเก็บพลังงานจากดวงอาทิตย์มาสังเคราะห์แสง และเกิดการหมุนเวียนในธรรมชาติ สามารถนำมาเป็นพลังงานทางเลือกแทนพลังงานจากฟอสซิล เช่น น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน เป็นต้น ที่มีอยู่อย่างจำกัดหรือใช้แล้วหมดไปได้ เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิต ของเสียจากสัตว์ เช่น มูลสัตว์และเศษวัสดุเหลือทิ้งการผลิตทางการเกษตร เช่น แกลบ กากอ้อย ฟางข้าว ขี้เลื่อย กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด กากปาล์ม เป็นต้น และด้วยข้อจำกัดของกากชีวมวลในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง ทั้งในด้านความหนาแน่นต่ำ ปริมาณมาก ค่าความร้อน น้อยกว่าไม้ ความชื้นสูง

และขนย้ายได้ยาก ดังนั้น การพัฒนาเตาชีวมวลจึงมีความจำเป็นในการลดขยะจากกากชีวมวลที่มีอยู่ในชุมชนและลดรายจ่ายด้านเชื้อเพลิงได้

เตาชีวมวล เป็นเตาสำหรับการหุงต้มในครัวเรือน เชื้อเพลิงที่ใช้ คือ ไม้ฟืน ถ่าน เป็นต้น โดยเตาชีวมวลที่ใช้ในชุมชนต่าง ๆ เช่น เตาทำขนมจีนที่ใช้ในชุมชนตำบลพระเฉลิมพระเกียรติ อำเภอยะใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นเตาที่มีห้องเผาไหม้ทรงกระบอก มีเปิดหน้าเตา มีช่องด้านหน้าเตาสำหรับการเติมเชื้อเพลิงชีวมวลผง ได้แก่ แกลบขี้เลื่อย หรือเศษกะลามะพร้าว และมีท่อดูดควัน ตามภาพที่ 1 จัดว่าเป็นเตาชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น (Up-draft Gasifier) ซึ่งเป็นเตาที่ผลิตใช้เริ่มแรก เป็นแบบที่ง่ายที่สุดติดตั้งง่ายและสะดวก เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของเตา และอากาศจะถูกส่งผ่านตะแกรงเข้ามาทางด้านล่าง บริเวณเหนือตะแกรงจะเป็นบริเวณการเผาไหม้

เตาชีวมวลลักษณะนี้อาจจะมีการผลิตห้องเผาไหม้หลายหัวเตาก็ได้ สำหรับเตาชีวมวลรูปแบบนี้ในขณะที่เกิดแก๊สชีวมวลจะลอยขึ้นสู่เชื้อเพลิงชีวมวลด้านบนซึ่งทำให้ความร้อนไปสัมผัสกับเชื้อเพลิงชีวมวลทำให้ต้องไล่ความชื้นออกก่อนการเผาไหม้ทำให้มีการสูญเสียพลังงานน้อย ซึ่งจากการศึกษาเตาชีวมวลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เตาชีวมวลกลบพลังงานเพื่อเกษตรกรไทยเป็นเตาชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้นสามารถบรรจุเชื้อเพลิงกลบได้สูงสุด 1.659 กิโลกรัม มีประสิทธิภาพทางความร้อน 10.36% [1] เตาชีวมวลสำหรับครัวเรือนเป็นเตาชีวมวลที่มีอากาศไหลเข้าแบบตัวแอล มีเส้นผ่านศูนย์กลางช่องอากาศเข้าขนาด 0.05 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางปล่องไฟ ขนาด 0.10 เมตร มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 14.60% [2] เตาชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้นโดยใช้ถ่านกลบผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 เป็นฉนวนภายในเตา ใช้เชื้อเพลิงกลบ พัฒนาฉนวนให้หนา 2.5 เซนติเมตร ส่งผลเตามีอุณหภูมิสูงในช่วงเวลาสั้น ๆ [3] เป็นต้น

สำหรับการศึกษาวิจัย และพัฒนารูปแบบของเตาชีวมวลที่สามารถนำมาใช้งานง่าย สะดวก ประหยัดพลังงาน ใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในชุมชนเป็นเชื้อเพลิง สามารถลดปัญหาขยะชุมชนลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง และสามารถสร้างอาชีพในการผลิตเตาชีวมวลเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 ศึกษาลักษณะของเตาชีวมวลในชุมชน

ทำการศึกษเตาชีวมวลของชุมชนตำบลเฉลิมพระเกียรติ อ.เขียร์ใหญ่ จ.นครศรีธรรมราช แสดงดังภาพที่ 1 โดยศึกษาเกี่ยวกับ รูปแบบ ลักษณะของการใช้งาน ชนิดของเชื้อเพลิงเวลาที่ใช้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพของเตาชีวมวล



(a) ด้านหน้าเตา

(b) ด้านข้างเตา

ภาพที่ 1 เตาชีวมวลสำหรับทำขนมจีน

2.2 สูตรการคำนวณ

2.2.1 การคำนวณหาประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน ด้วยวิธี Water Boiling Test (WBT) [2]

ค่าประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน (η)

$$= \left(\frac{\text{ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับทั้งหมด}}{\text{ปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงที่ให้}} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{m_i C_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f} \right) \times 100\%$$

เมื่อ η คือ ค่าประสิทธิภาพของเตา

m_i คือ มวลน้ำเริ่มต้น (กิโลกรัม)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 4.190 กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส

m_e คือ มวลน้ำที่กลายเป็นไอน้ำ (กิโลกรัม)

T_b คือ อุณหภูมิน้ำเดือด (องศาเซลเซียส)

T_i คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)

m_e คือ มวลน้ำที่ระเหย (กิโลกรัม)

L คือ ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำให้กลายเป็นไอน้ำเท่ากับ 2,260 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

m_f คือ มวลของชีวมวลที่ถูกเผาไหม้ (กิโลกรัม)

C_f คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

2.2.2 การหาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิง

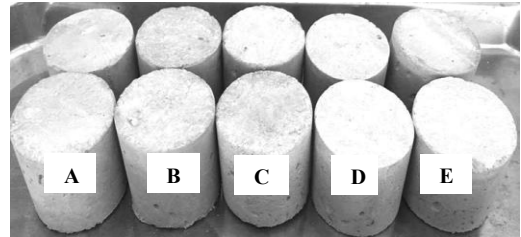
การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM คือ ความชื้น ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D2867-95 [4] ปริมาณเถ้าตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2867-95 [5] สารระเหยตามวิธีมาตรฐาน ASTM D5832-95 [6] คาร์บอนคงตัว ความหนาแน่น และความร้อนด้วยเครื่องวัด Adiabatic Bomb Calorimeter [7]

2.3 ศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุในการขึ้นรูปเตาประหยัดพลังงาน

ในส่วนของการหล่อเตาประหยัดพลังงานจะประกอบด้วย 2 ส่วน ประกอบด้วย วัสดุสำหรับขึ้นรูปตัวเตาและวัสดุฉนวนภายในเตา แล้วนำทดสอบความทนความร้อน สำหรับวัสดุในการขึ้นรูปตัวเตามีอัตราส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ทรายหยาบ : หิน ซึ่งพัฒนาอัตราส่วนผสมในการขึ้นรูปตัวเตาจากสูตรเตาของกระทรวงพลังงาน (1 : 2 : 4) มีจำนวน 5 สูตร ได้แก่ สูตร A (3 : 1 : 3) สูตร B (2 : 2 : 3) สูตร C (2 : 3 : 2) สูตร D (3 : 2 : 2) และสูตร E (3 : 3 : 1) และสำหรับวัสดุฉนวนภายในห้องเผาไหม้ ซึ่งมีอัตราส่วนผสมระหว่างดินเหนียว : ซีเมนต์ : ทรายหยาบ : หิน ซึ่งพัฒนาจากเตาสำหรับทำขนมจีน จำนวน 3 สูตร ได้แก่ สูตร F (1 : 1) สูตร G (2 : 1) และสูตร H (1 : 2)

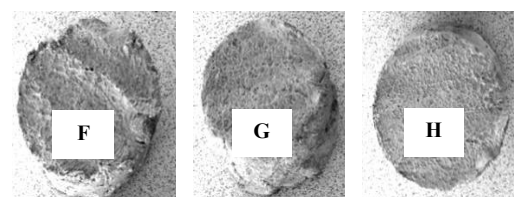
สำหรับการขึ้นรูปตัวอย่างตัวเตาของอัตราส่วนผสมต่าง ๆ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05 เมตร หนา 0.03 เมตร ซึ่งเท่ากับความหนาของตัวเตาประหยัดพลังงาน ตามภาพที่ 3 หลังจากเอาตัวอย่างออกจากแบบแล้วจะตากพักตัวอย่างตัวเตา เป็นเวลา 28 วัน เพื่อให้ตัวปูนแข็งตัว [8] จากนั้นนำตัวอย่างไปอบแห้งไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง [4] แล้วนำตัวอย่างไปทดสอบความทนความร้อน ด้วยวิธีการเผากับเตาเผาที่

อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส, 400 องศาเซลเซียส, 600 องศาเซลเซียส, และ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง [9]



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการขึ้นรูปตัวเตา

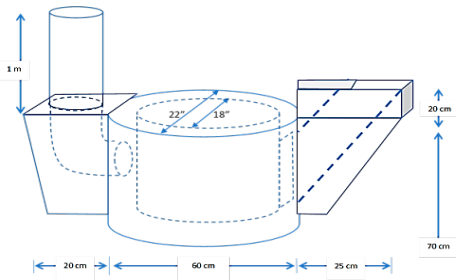
สำหรับการหาอัตราส่วนผสมของวัสดุสำหรับฉนวนภายในห้องเผาไหม้ของเตา ทำการทดลองหาอัตราส่วนผสมระหว่างดินเหนียว : ซีเมนต์ : ทรายหยาบ ด้วยการขึ้นรูปด้วยท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05 เมตร หนา 0.03 เมตร ตามภาพที่ 3 จากนั้นนำตัวอย่างออกจากแม่แบบ แล้วพักตัวอย่างไว้ 1 สัปดาห์ เพื่อให้ดินเหนียวคงตัวหลังจากนั้นนำตัวอย่างไปอบแห้งไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง [4] แล้วนำตัวอย่างมาทดสอบหาความทนความร้อนอุณหภูมิ 200, 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส [9]



ภาพที่ 3 ตัวอย่างของการขึ้นรูปวัสดุฉนวนภายในเตา

2.4 ออกแบบเข้าหล่อเตา

จากการศึกษารูปแบบของเตาทำขนมจีนที่มีในชุมชนแล้วนำมาออกแบบ สร้างแม่แบบแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5 เป็นแบบเตาหล่อด้วยปูนซีเมนต์ ประกอบด้วย แม่แบบหล่อ โครงเหล็กยึด โครงสร้างตัวเตา ท่อโยหินสำหรับดูดควัน เหล็กหน้าเตา



ภาพที่ 4 รูปแบบเตาประหยัดพลังงาน



(a) โครงสร้างด้านนอก (b) แกนกลางเตา



(c) โครงหลักยึดปูนหล่อตัวเตา

ภาพที่ 5 แม่แบบสำหรับหล่อเตาประหยัดพลังงาน

2.5 เชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับนำมาใช้กับเตาประหยัดพลังงาน

เชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับนำมาใช้กับเตาประหยัดพลังงานเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีใช้ในชุมชน คือ แกลบ ขี้เลื่อยของไม้ยางพารา นำมาวิเคราะห์หาสมรรถนะของเชื้อเพลิงในด้านสมบัติทางกายภาพ คือ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณสารระเหย และค่าความร้อน ลักษณะของเชื้อเพลิงตามภาพที่ 6



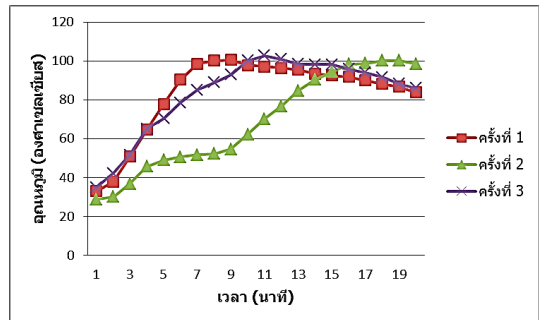
(a) แกลบ (b) ขี้เลื่อยไม้ยางพารา

ภาพที่ 6 เชื้อเพลิงชีวมวลใช้กับเตาประหยัดพลังงาน

3. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

3.1 ศึกษาลักษณะรูปแบบของเตาชีวมวลในชุมชน และทดสอบประสิทธิภาพของเตา

เตาทำขนมจีน เป็นเตาชีวมวลที่ใช้ในอำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครศรีธรรมราช ใช้แกลบข้าวเป็นเชื้อเพลิง เตาขนมจีนเป็นเตาชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น มีขนาดห้องเผาไหม้เป็นรูปครึ่งวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.83 เมตร ตัวเตาสูง 0.65 เมตร ปริมาตรของห้องเผาไหม้ 0.15 ลูกบาศก์เมตร และมีท่อดูดควันเป็นท่อใยหินขนาด 6 นิ้ว ยาว 6 เมตร นำมาทดสอบหาประสิทธิภาพด้วยวิธี WBT แสดงผลตามภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเตาชีวมวลของชุมชน

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเตาทำขนมจีน แสดงอุณหภูมิของน้ำและเวลาต่าง ๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเตาขนมจีนด้วยวิธี WBT สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของเตา (η) ได้ผล ประสิทธิภาพของเตาทำขนมจีนเฉลี่ย (η_{av}) คิดเป็น 40.82%

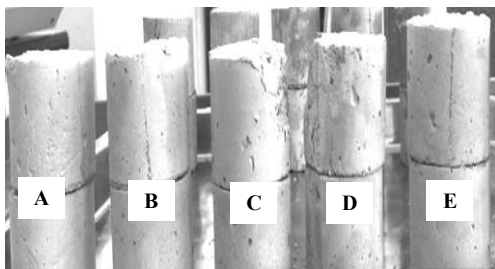
จากการศึกษารูปแบบเตาทำขนมจีนซึ่งเป็นเตาแบบขึ้นรูปด้วยอิฐแดงไม่มีโครงเหล็กยึด เมื่อนำเตามาใช้งานจะเกิดปัญหาการแตกร้าวของตัวเตา และถ้าความสูงของตัวเตามีความคลาดเคลื่อนจะส่งผลให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการไหลเวียนของอากาศ จะไม่สะดวกทำให้การให้งานมีประสิทธิภาพต่ำ

3.2 ผลการวิเคราะห์ความทนต่อความร้อนของวัสดุสำหรับตัวเตาประหยัดพลังงาน

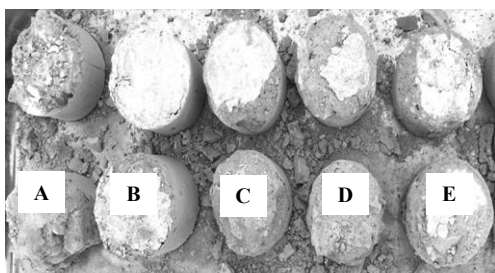
ในการทดสอบความทนต่อความร้อนของวัสดุที่ใช้ในการทำตัวเตาประหยัดพลังงาน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ วัสดุสำหรับขึ้นรูปตัวเตา มี 5 สูตร (สูตร A, B, C, D และ E) และวัสดุสำหรับฉาบภายในเตา มี 3 สูตร (F, G และ H)

3.2.1 ผลการทดสอบความทนต่อความร้อนของวัสดุสำหรับการขึ้นรูปตัวเตา

จากการศึกษาความทนความร้อนเพื่อหาสูตรในการขึ้นรูปตัวเตาประหยัดพลังงาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05 เมตร หนา 0.03 เมตร มีอัตราส่วนส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ทรายหยาบ : หิน จำนวน 5 สูตร คือ สูตร A (3 : 1 : 3) สูตร B (2 : 2 : 3) สูตร C (2 : 3 : 2) สูตร D (3 : 2 : 2) และ สูตร E (3 : 3 : 1) แสดงลักษณะตัวอย่างของตัวเตาก่อนและหลังการทดสอบ การทนความร้อนในภาพที่ 8



(a) วัสดุสำหรับตัวเตาก่อนการทดสอบ



(b) วัสดุสำหรับตัวเตาหลังการทดสอบ

ภาพที่ 8 ลักษณะของการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตา

ผลการวิเคราะห์ความทนต่อความร้อนของตัวเตาพบว่า ทุกสูตรสามารถทนความร้อนได้ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส แต่เวลาไม่เท่ากัน โดยสูตร B สามารถทนความร้อนได้นานที่สุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในขณะที่ สูตร E สูตร D สูตร C และ สูตร A ทนความร้อนได้เป็นเวลา 40 นาที 30 นาที 30 นาที และ 20 นาที ตามลำดับ ซึ่งจากการพิจารณาสูตร B ที่มีความสามารถในการทน ความร้อนได้นานที่สุดเนื่องจากอัตราส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ทรายหยาบ : หิน มีความเหมาะสม ส่งผลให้การยึดเกาะของชิ้นงานดีส่งผลให้เวลานำไปเผาด้วยความร้อนสูง ทำให้มีการขยายตัวน้อย ทำให้แตกร้าวช้ากว่าสูตรอื่น ๆ

3.2.2 ผลการทดสอบความทนต่อความร้อนของวัสดุสำหรับฉาบภายในเตา

การทดสอบความทนความร้อนของวัสดุขึ้นรูปสำหรับฉาบภายในเตาประหยัดพลังงาน ขนาดความหนาของตัวอย่างวัสดุฉาบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05 เมตร หนา 0.03 เมตร มีอัตราส่วนส่วนผสมระหว่าง ดินเหนียว : ซีเมนต์กลบ จำนวน 3 สูตร คือ สูตร F (1 : 1) สูตร G (2 : 1) และ สูตร H (1 : 2)

ผลการวิเคราะห์ความทนต่อความร้อนของวัสดุฉาบภายในเตา พบว่า อัตราส่วนผสมทั้ง 3 สูตร คือ สูตร F สูตร G และสูตร H สามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งในการขึ้นเตาประหยัดพลังงานได้เลือกสูตร F เนื่องจากใช้วัตถุดิบน้อยแต่มีความทนต่อความร้อนสูง

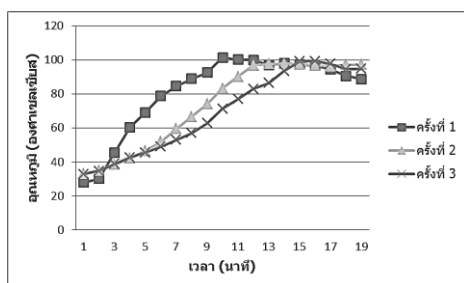
3.3 ผลของการออกแบบของเตาประหยัดพลังงาน

จากการออกแบบเตาประหยัดพลังงาน พัฒนาแบบมาจากเป็นเตาแบบหล่อปูน จากแม่แบบมีห้องเผาไหม้เป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.20 เมตร สูง 0.70 เมตร ปริมาตรของห้องเผาไหม้ 0.10 ลูกบาศก์เมตร เป็นขนาดที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในครัวเรือน แสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 เตาประหยัดพลังงาน

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน ด้วยวิธีการด้วยวิธี WBT ใช้น้ำจำนวน 5 ลิตร วัดอุณหภูมิบันทึกทุก ๆ 1 นาที เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นแกลบ มีความชื้น $2.85 \pm 0.05\%$ จำนวน 3 กิโลกรัม ตามภาพที่ 10



ภาพที่10 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของเชื้อเพลิงสำหรับเตาประหยัดพลังงาน

ชนิดเชื้อเพลิง	ความชื้น (%w/w)	เถ้า (%w/w)	สารระเหย (%w/w)	คาร์บอนคงตัว (%w/w)	ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)
แกลบ	11.26 ± 0.40	19.05 ± 0.27	8.84 ± 4.22	66.18 ± 3.84	$3,492 \pm 12.32$
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	5.38 ± 0.96	2.27 ± 0.34	3.87 ± 1.02	90.32 ± 2.02	$4,134 \pm 24.47$

* นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน พบว่าค่าประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงานเฉลี่ย (η_{av}) มีค่า 39.82% ในขณะที่เตาสำหรับทำขนมจีนซึ่งมีค่าประสิทธิภาพ (η_{av}) เป็น 40.82% ซึ่งจากการทดสอบการใช้เตาประหยัดพลังงานด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีในชุมชน คือ แกลบ พบว่า แกลบ จำนวน 3 กิโลกรัม สามารถใช้ปรุงอาหารเป็นเวลา 30 นาที

3.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงที่นำมาใช้กับเตาประหยัดพลังงาน

จากการนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาใช้กับเตาประหยัดพลังงานเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีในชุมชน คือ แกลบและขี้เลื่อยไม้ยางพารา เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลแบบผง นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพในด้านความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอน คงตัว และค่าความร้อน แสดงในตารางที่ 1

ผลการวิเคราะห์ พบว่า สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น ปริมาณเถ้า คาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน อยู่ในช่วง 2.50-2.85%, 0.06-0.60%, 1.07-18.59%, 77.95-96.37% และ 3,492-4,134 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับสำหรับเชื้อเพลิงแกลบ และซีลี้อยไม้ ยางพารา มีค่ามีความแตกต่างกันซึ่งเชื้อเพลิงที่ดีจะมี ค่าความร้อนและปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าสูง จะทำให้เชื้อเพลิงสามารถติดไฟได้เป็นเวลานาน ให้ความร้อนสูง และประหยัดเชื้อเพลิง ในขณะที่ปริมาณสารระเหย ความชื้น และปริมาณเถ้าควรมีค่าต่ำ

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเตาชีวมวลสำหรับชุมชน คือ เตาสำหรับทำขนมจีน เพื่อนำมาพัฒนาเป็นเตา ประหยัดพลังงาน ลดความยุ่งยากในการสร้างเตา ด้วยการสร้างเตาตามแม่แบบ เป็นเตาที่สามารถผลิต ได้จำนวนมากที่มีลักษณะเหมือนกัน สามารถทนต่อ ความร้อนสูง ใช้งานง่าย สะดวก และใช้เชื้อเพลิง ชีวมวลเหลือใช้ที่มีอยู่ในชุมชน คือ แกลบ ซีลี้อยไม้ ยางพารา และเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่น ๆ ที่มีในชุมชน ซึ่งในการสร้างเตาประหยัดพลังงานจะ เป็นเตาแบบหล่อจากแม่แบบ ในการหล่อจะ ประกอบด้วย การหล่อขึ้นรูปตัวเตา มีอัตราส่วนผสม ระหว่าง ปูนซีเมนต์ : หินทราย : หิน ด้วยสูตร B เพราะสามารถทนความร้อนได้ดีที่สุด และวัสดุฉนวน ภายในเตา มีอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินเหนียว : ซีเมนต์ : แกลบ ด้วยสูตร F สามารถทนความร้อนได้สูงสุด และจากการคำนวณหาประสิทธิภาพของเตา ประหยัดพลังงาน มีค่า 39.82% ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพ ใกล้เคียงกับเตาทำขนมจีนของชุมชนเป็น 40.82%

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะศิลปศาสตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ที่ได้ ให้การสนับสนุนมอบทุนอุดหนุนงานวิจัยงบประมาณ แผ่นดินประจำปี 2559 ขอขอบคุณอาจารย์ประจำ หลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ที่มี ส่วนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิรัตน์ เจริญบุญ. เตาชีวมวลแกลบพลังงาน เพื่อเกษตรกรไทย. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2560; 45(1):163-74.
- [2] ธนากร หอมจำปา, คมสันต์ ทองปัญญา, ณัฐพร กรรมพระอินทร์, และคณะ. การศึกษา ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของเตาชีวมวลสำหรับครัวเรือน. วารสาร วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 2557; 7(2):103-10.
- [3] สมศักดิ์ ถึงปัดชา. การพัฒนาเตาชีวมวลโดยใช้เถ้าแกลบปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์ ศึกษา, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี; 2558.
- [4] Annual Book of ASTM Standard. Standard Test Method for Moisture in Activated Carbon D2867-95. 15.01. 709-711. United State of America; 1998.
- [5] Annual Book of ASTM Standard. Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon D2866-94. 15.01. 707-708. United State of America; 1998.

- [6] Annual Book of ASTM Standard. Standard Test Method for Total Volatile Matter Content of Activated Carbon Sample D5832-95. 15.01. 782. United State of America; 1998.
- [7] McGill KC., Yasechko, ML., Nkari WK. Determination of Calories in Food Via Adiabatic Bomb Calorimeter. The Corinthian, Vol. 6, Article 9; 2004.
- [8] พงศ์พน วรสุนทรโรสถ และวรพงศ์ วรสุนทรโรสถ. วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น; 2554.
- [9] สาโจจน์ ขาวดี. การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพของอิฐทนไฟโดยใช้ทรายซัยนาทเป็นวัตถุดิบหลัก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2554.

การศึกษาวิธีการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา กับ มูลสัตว์
Study of Energy Fuel Briquettes production from Sawdust of Rubber Wood
and Animal Dung

สุปราณี วุ่นศรี^{1*}, วรารุณิ ดวงศิริ¹, นุชลี ทิพย์มณฑา¹
Supranee Wunsri^{1*}, Woorawood Duawsiri¹, Nuchlee Thipmonta¹

^{1*} หลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

1 ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

^{1*} Science Program, Department of General Education, Faculty of Liberal Arts, Rajamangala
University of Technology Srivijaya, Songkhla, Thailand

*Corresponding author. Tel.: +668 1539 0193, E-mail: kongsuwan9153575@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เลื่อยของไม้ยางพารา กับ มูลสัตว์ เป็นการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและของเสียปศุสัตว์ของชุมชน เพื่อเป็นการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของขี้เลื่อยไม้ยางพาราผสมกับมูลสัตว์ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของมูลสัตว์ 3 ชนิด คือ มูลวัว มูลกระบือ และมูลแพะ นำมาวัดคุณสมบัติมาอัดขึ้นรูป โดยมีแ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ในอัตราส่วนผสมระหว่าง ขี้เลื่อยไม้ยางพารา : มูลสัตว์ : แ่งมันสำปะหลัง จำนวน 10 สูตร พบว่าสมบัติทางกายภาพในด้านความชื้น ปริมาณเถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว ความหนาแน่นและค่าความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 2.81-4.89%, 1.94-22.00%, 55.42-93.60%, 11.15-71.48%, 1.15-1.51 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และ 3,294.29-3,884.48 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับระยะเวลาในการติดไฟของเชื้อเพลิง อยู่ในช่วง 6.28-11.70 นาที เวลาเผาไหม้อยู่ในช่วง 40.90-82.89 นาที และมีอัตราการเผาไหม้อยู่ในช่วง 1.17-1.80 กรัมต่อนาที และผลของการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 109 วัน โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบแทนของโครงการที่สำคัญ คือ ราคาเครื่องจักรจำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ และจำนวนวันที่ผลิต

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงอัดแท่ง มูลสัตว์ ชีวมวล

ABSTRACT

The study of energy fuel briquettes production from rubber wood saw dust and animal dung aims to investigate the optimum ratio of agricultural waste and livestock waste to produce energy fuel briquettes for the community. Physical and fuel properties of 3 animal dungs were also tested e.g. cow, buffalo and goat dung. The dungs were extruded with tapioca starch as a binder. The ratio of rubber wood sawdust: dung : tapioca starch was investigated for 10 ratios. The results showed that the humidity, ash content, volatile compounds, fixed carbon, density and calorific value were in the range of 2.81-4.89%, 1.94-22.00%, 55.42-93.60%, 11.15-71.48%, 1.15-1.51 g/cm³ and 3,294.29-3,884.48 cal/g, respectively. The ignition time of the fuel was in the range of 6.28-11.70 min. The combustion time was 40.90-82.89 min and the combustion rate was in the range of 1.17-1.80 g / min. Economic cost analysis results showed that the payback period was 109 days. The major factor affecting the return of the project was the price of machinery, amount of fuel produced and the production time.

Keywords: energy fuel briquettes, animal dung, biomass

1. บทนำ

ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่กักเก็บพลังงานจากดวงอาทิตย์ซึ่งมาจากการสังเคราะห์แสงและเกิดขึ้นหมุนเวียนซ้ำแล้วซ้ำอีกได้ในธรรมชาติสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานทดแทนเป็นพลังงานที่นำมาใช้ทดแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิล เช่น ถ่านหิน ปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเป็นสาเหตุของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มหาศาล ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในปี 2555 ประเทศไทยใช้พลังงานทดแทนเพียง 18.2% ของพลังงานทั้งหมดและตามแผนพัฒนาและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน 15 ปี ระหว่าง 2555-2564 มีแผนที่จะให้มีการใช้พลังงานทดแทนเป็นสัดส่วน 20% ของพลังงานทั้งหมดซึ่งพลังงานทดแทนจัดเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในชุมชน เช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ ชีวมวล และอื่น ๆ

เชื้อเพลิงจากชีวมวลเป็นแหล่งให้ความร้อนและแสงสว่างที่สำคัญแหล่งแรกที่มีมนุษยชาติได้ใช้ ปัจจุบันก็เป็นแหล่งพลังงานสำคัญในลำดับต้น ๆ ของประเทศเกษตรกรรม และประเทศกำลังพัฒนา พลังงานชีวมวลจัดว่าเป็นพลังงานที่ได้จากชีวมวลชนิดต่าง ๆ เช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรขยะเศษไม้ ขี้เลื่อย มูลสัตว์ เป็นต้น มาผ่านกระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่าง ๆ ยกตัวอย่าง แก๊สชีวภาพจากการนำมูลสัตว์หรือเศษวัสดุอินทรีย์มาหมักในถังหมัก ทำให้แก๊สชีวมวลซึ่งสามารถนำไปใช้ในการหุงต้มในครัวเรือน [1] เชื้อเพลิงอัดแท่งและถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุจากการเกษตร เช่น ถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าว ถ่านอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอกมีรูกลวงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ความยาว 12 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูงกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม [2] ถ่านอัดแท่ง

จากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้้า มันสำปะหลัง มีลักษณะรูปทรงกระบอกกลมกลวง เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร มีค่าความร้อนเท่ากับ 6,580 แคลอรีต่อกรัม [3] เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด มีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,235-3,389 แคลอรีต่อกรัม [4] เชื้อเพลิงอัดแท่งเศษฟางข้าวผสมเศษลำไย โดยใช้แบ่งเปียกเป็นตัวประสานค่าความร้อนของก้อนเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 3,698 แคลอรีต่อกรัม [5] เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเศษวัสดุเหลือใช้ในชุมชน ซึ่งเกิดจากการแปรรูปไม้ยางพาราและของเสียจากปศุสัตว์นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านเป็นพลังงาน โดยการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งเป็นการจัดการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและมูลสัตว์เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อชุมชนในด้านพลังงานเสริมลดรายจ่ายด้านพลังงาน สามารถนำมาใช้แทนแก๊ส LPG ลดปริมาณมูลสัตว์จากการนำมาแปรรูป ทำให้สภาพแวดล้อมชุมชนน่าอยู่ลดแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค เช่น แมลงหวี่ แมลงวัน เป็นต้น

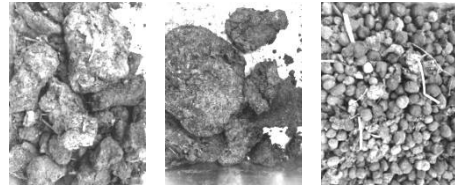
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งมูลสัตว์

ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบ คือ ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และมูลสัตว์ 3 ชนิด คือ มูลวัว มูลกระบือ และมูลแพะ นำมาขึ้นรูปอัดแท่ง โดยมีแบ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน และอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงด้วยเครื่องอัดแท่งถ่าน ของโรงอัดถ่านชุมชนตำบลคลองรี อำเภอสังขละบุรี จังหวัดสงขลา

2.1.1 วัตถุดิบ

- 1) ขี้เลื่อยไม้ยางพาราในชุมชนตำบลเกาะสุกร อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง
- 2) มูลสัตว์ จำนวน 3 ชนิด คือ มูลวัว มูลกระบือ และมูลแพะ ในชุมชนตำบลเกาะสุกร อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง ตามภาพที่ 1



(a) มูลวัว (b) มูลกระบือ (c) มูลแพะ

ภาพที่ 1 ลักษณะมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ

2.1.2 อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งมูลสัตว์

วิธีการเตรียมขี้เลื่อยไม้ยางพารา และมูลสัตว์ เพื่อผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และมูลสัตว์ 3 ชนิด คือ มูลวัว มูลกระบือ และมูลแพะ มีแบ่งมันสำปะหลัง 10% เป็นตัวประสาน [6] ในการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง จำนวน 10 สูตร

- สูตร A (ขี้เลื่อยไม้ยางพารา : ตัวประสาน = 1 : 1)
- สูตร B (มูลวัว : ตัวประสาน = 1 : 1),
- สูตร C (มูลกระบือ : ตัวประสาน = 1 : 1),
- สูตร D (มูลแพะ : ตัวประสาน = 1 : 1),
- สูตร E (มูลวัว : ขี้เลื่อยไม้ยางพารา : ตัวประสาน = 1 : 1 : 1),
- สูตร F (มูลกระบือ : ขี้เลื่อยไม้ยางพารา : ตัวประสาน = 1 : 1 : 1),
- สูตร G (มูลแพะ : ขี้เลื่อยไม้ยางพารา : ตัวประสาน = 1 : 1 : 1),
- สูตร H (มูลวัว : ขี้เลื่อยไม้ยางพารา : ตัวประสาน = 2 : 1 : 1),
- สูตร I (มูลกระบือ : ขี้เลื่อยไม้ยางพารา : ตัวประสาน = 2 : 1 : 1),
- สูตร J (มูลแพะ : ขี้เลื่อยไม้ยางพารา : ตัวประสาน = 2 : 1 : 1)

2.1.3 การเตรียมวัตถุดิบ

เริ่มจากการนำมูลสัตว์สดมาตากแดดจนแห้ง จากนั้นนำตัวอย่างมูลสัตว์ดังกล่าวไปอบแห้งเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

12 ชั่วโมง (ASTM D2867-95) [7] เพื่อให้น้ำที่ถูกดูดซับและน้ำระหว่างชั้นจะหายไป ทำให้ตัวอย่างที่ขึ้นรูปอยู่ในสภาวะแห้ง จากนั้นนำมาสับเป็นชิ้นเล็ก ๆ ด้วยเครื่องสับย่อย แล้วนำมาอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งจำนวน 10 สูตร ด้วยเครื่องอัดของโรงอัดถ่านชุมชนตำบลคลองรี อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โรงอัดถ่านชุมชน ตำบลคลองรี
อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา

2.1.4 รูปแบบของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

4.5 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3



(a) สูตร A

(b) สูตร B



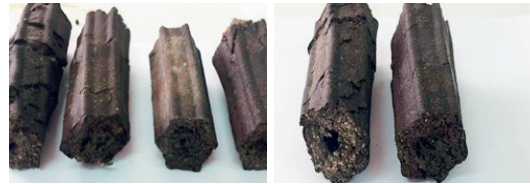
(c) สูตร C

(d) สูตร D



(e) สูตร E

(f) สูตร F



(g) สูตร G

(h) สูตร H



(i) สูตร I

(j) สูตร J

ภาพที่ 3 เชื้อเพลิงมูลสัตว์อัดแท่ง จำนวน 10 สูตร

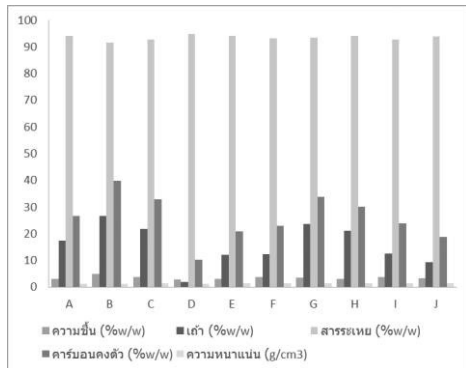
2.2 การวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเชื้อเพลิง

ศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยทำการวิเคราะห์ความชื้นตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2867-95 [7] ปริมาณเถ้าตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2867-95 [8] สารระเหยตามวิธีมาตรฐาน ASTM D5832-95 [9] คาร์บอนคงตัว ความหนาแน่น และค่าความร้อนด้วยเครื่องวัด Adiabatic Bomb Calorimeter [10]

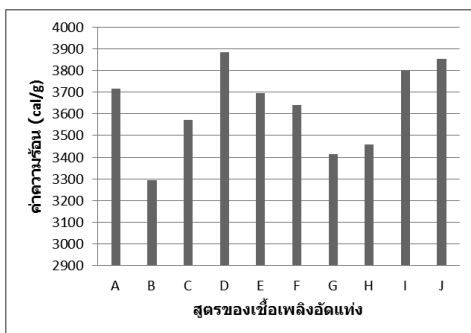
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราและมูลสัตว์

จากการทดลองอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา มูลสัตว์ และขี้เลื่อย ไม้ยางพารา ผสมมูลสัตว์ มีแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานในอัตราส่วนผสม ขี้เลื่อย : มูลสัตว์ : แป้งมันสำปะหลัง อัตราส่วนผสม จำนวน 10 สูตร สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง ลักษณะการจัดตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นเนื้อเดียวกันมีความแน่นคงรูป และไม่แตกร่อน นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตามภาพที่ 4



(a) ค่าความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว และความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง



(b) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ภาพที่ 4 สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง สูตร A, สูตร B, สูตร C และสูตร D พบว่า ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าแตกต่างกัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.94–22.00% และเมื่อนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปเผาไหม้ในเตาเผา พบว่าปริมาณเถ้าไม่มีความแตกต่างกัน ปริมาณเถ้าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.77–19.80% ซึ่งมีค่าไม่เกิน 8% ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านไม้หุงต้ม (มผช. 657/2547)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดแท่ง สูตร A มีค่าเป็น 93.60% ซึ่งสูงกว่า สูตร B, C และ D และเมื่อนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปเผาไหม้ในเตาเผา พบว่าปริมาณสารระเหยไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดของวัสดุที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 57.62–79.59% ซึ่งมีค่าสูงกว่า 25% ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านไม้หุงต้ม (มผช.657/2547)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง สูตร A, B, C และ D โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 52.05–71.48% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านไม้ ที่มีค่า 84.6% [11] เมื่อพิจารณาปริมาณสารระเหยต่ำที่สุดและปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงที่สุด คือ สูตร D เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพดี เมื่อเทียบกับ สูตร B และ C และเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เผาไหม้ในเตาเผาพบว่ามีปริมาณคาร์บอนคงตัวแตกต่างกัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 32.35–41.88% ในขณะที่เชื้อเพลิงอัดแท่งจากมูลกระบือ มีปริมาณคาร์บอนไม่แตกต่างกัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 59.92–65.60%

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นเพื่อทดสอบคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร นำมาชั่งน้ำหนักในหน่วยกรัม และหาปริมาตรในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อคำนวณหาปริมาตรจะได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งอัดแท่ง สูตร A, B, C และ D มีค่าแตกต่างกัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.94–22.00% และเมื่อนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปเผาไหม้ในเตาเผา พบว่าปริมาณเถ้าไม่มีความแตกต่างกัน ปริมาณเถ้าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.77–19.80% ซึ่งมีค่าไม่เกิน 8% ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านไม้หุงต้ม (มผช. 657/2547)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดแท่ง สูตร A มีค่าเป็น 93.60% ซึ่งสูงกว่า สูตร B, C และ D และเมื่อนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปเผาไหม้ในเตาเผา พบว่าปริมาณสารระเหยไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดของวัสดุที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 57.62–79.59% ซึ่งมีค่าสูงกว่า 25% ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านไม้หุงต้ม (มผช.657/2547)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง สูตร A, B, C และ D โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 52.05–71.48% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านไม้ ที่มีค่า 84.6% [11] เมื่อพิจารณาปริมาณสารระเหยต่ำที่สุดและปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงที่สุด คือ สูตร D เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพดี เมื่อเทียบกับ สูตร B และ C และเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เผาไหม้ในเตาเผาพบว่ามีปริมาณคาร์บอนคงตัวแตกต่างกัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 32.35–41.88% ในขณะที่เชื้อเพลิงอัดแท่งจากมูลกระบือ มีปริมาณคาร์บอนไม่แตกต่างกัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 59.92–65.60%

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นเพื่อทดสอบคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร นำมาชั่งน้ำหนักในหน่วยกรัม และหาปริมาตรในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อคำนวณหาปริมาตรจะได้

หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งทุกสูตรมีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกัน มีค่าอยู่ในช่วง 1.15–1.44 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านไม้อัดแท่ง คือ 0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (มผช. 657/2547) ซึ่งมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าเปลือกทุเรียนอัดแท่ง ที่มีค่าเป็น 0.57 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความหนาแน่นของเปลือกมังคุดอัดแท่งที่มีค่าเป็น 0.74 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [12]

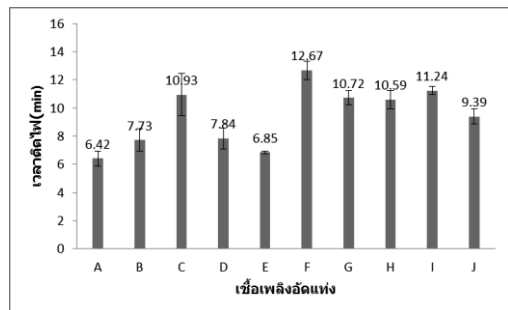
ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนที่ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง สูตร A, B, C และ D มีค่าความร้อนแตกต่างกัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3294.29–3884.48 แคลอรีต่อกรัม และเชื้อเพลิงอัดแท่งของชีเลื่อยผสมกับมูลสัตว์พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากมูลแพะมีค่าความร้อนสูงที่สุดสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากมูลวัว และมูลกระบือ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3,797–3,853 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) ซึ่งจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม แต่มีค่าความร้อนใกล้เคียงกับชีวมวลอัดแท่งอื่นๆ เช่น ทางมะพร้าวอัดแท่ง 4,141 แคลอรีต่อกรัม [13] เปลือกทุเรียนอัดแท่ง มีค่าความร้อน 3,901 แคลอรีต่อกรัม [12] เป็นต้น ซึ่งมีค่าความร้อนตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงมูลสัตว์อัดแท่ง จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความร้อนแปรผันตามปริมาณมูลสัตว์ คือ มูลสัตว์เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น, ปริมาณคาร์บอนคงตัวของมูลวัวอัดแท่งมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่มูลกระบืออัดแท่งและมูลแพะอัดแท่งมีค่าลดลง ปริมาณเถ้าของมูลวัวอัดแท่งมีค่าคงที่ ในขณะที่มูลกระบืออัดแท่งและ

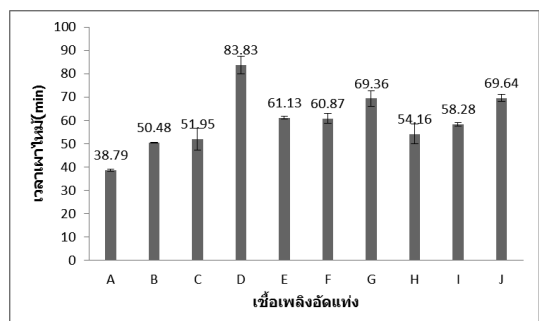
มูลแพะมีค่าลดลงเนื่องจากในมูลกระบือและมูลแพะมีองค์ประกอบ ที่สามารถเผาไหม้ได้ดีจึงเหลือเป็นเถ้า น้อย ปริมาณสารระเหยของมูลวัวอัดแท่งมีค่าสูงกว่ามูลกระบืออัดแท่ง และมูลแพะอัดแท่ง ซึ่งปรีสารระเหยต่ำจะทำให้เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มซึ่งคุณภาพเชื้อเพลิงที่ดี ควรมีค่าความร้อนและปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง ปริมาณเถ้าและสารระเหยต่ำ

3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากการทดสอบสมบัติด้านการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีเลื่อย ไม้ยางพารา และมูลสัตว์จำนวน 10 สูตร แท่งเชื้อเพลิงมีความยาว 4 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนัก บันทึกเวลาติดไฟ เวลาเผาไหม้ และคำนวณหาอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง แสดงตามภาพที่ 5

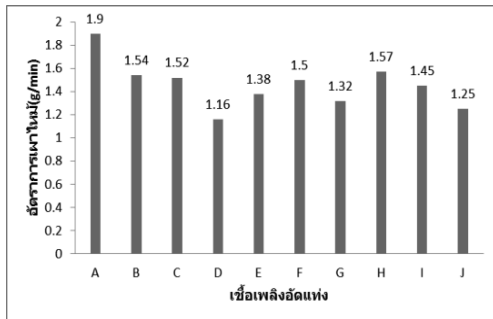


(a) เวลาติดไฟ



(b) เวลาเผาไหม้

ภาพที่ 5 สมบัติการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง



(c) อัตราการเผาไหม้

ภาพที่ 5 (ต่อ) สมบัติการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแห้ง

จากการวิเคราะห์สมบัติการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแห้ง ทั้ง 10 สูตร มีเวลาในการติดไฟ และเวลาเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแห้งมีความแตกต่างกัน มีค่าอยู่ในช่วง 6.28–11.70 นาที และ 40.90–82.89 นาที ตามลำดับ และมีอัตราการเผาไหม้อยู่ในช่วง 1.17–1.80 กรัมต่อนาที

3.3 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

สำหรับผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแห้ง ในที่นี้หมายถึงอัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit–Cost Ratio = BCR) และจุดคุ้มทุน (Break Even Point = BEP) โดยใช้สูตรการผลิตเชื้อเพลิงอัดแห้งเป็นวัตถุดิบ (ขี้เลื่อยไม้ยางพาราหรือมูลสัตว์) : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำสะอาดเป็น 1 กิโลกรัม : 0.1 กิโลกรัม : 1 ลิตร

ในการวิเคราะห์ BEP ของเชื้อเพลิงอัดแห้ง แยกเป็นสองส่วนคือ รายรับ และรายจ่าย สำหรับรายรับ ได้แก่ อัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแห้งเปียกเป็น 200 กิโลกรัม/วัน, อัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแห้งแห้งเป็น 100 กิโลกรัม/วัน (200×0.5) และราคาขายเชื้อเพลิงอัดแห้งเป็น 10 บาท/กิโลกรัม และสำหรับรายจ่ายคิดจากต้นทุนคงที่ ได้แก่ เครื่องอัดผงถ่านแบบกึ่งอัตโนมัติ ราคา 55,000 บาท กับค่าจ้างแรงงานรายวัน วันละ 1,000 บาท และต้นทุนแปรผัน ได้แก่

ค่าวัตถุดิบ ค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งพบว่าสามารถคืนทุนในเวลา 109 วัน

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาเชื้อเพลิงอัดแห้งจากขี้เลื่อยของไม้ยางพารา กับมูลสัตว์ เป็นการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและของเสียจากปศุสัตว์ในชุมชนมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแห้งจำนวน 10 สูตร เพื่อเป็นพลังงานทางเลือก ลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้ม ทดแทนการใช้ไม้ฟืน ถ่าน และแก๊ส LPG ในครัวเรือนพบว่า สูตร J เป็นเชื้อเพลิงอัดแห้งที่ดีที่สุดเนื่องจากมีค่าความร้อนสูงที่สุดเป็น $3,853.48 \pm 10.61$ แคลอรีต่อกรัม ซึ่งต่ำกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ดังนั้นในการนำเชื้อเพลิงมูลสัตว์อัดแห้งควรจะเป็นงานที่ไม่ต้องการให้ความร้อนสูงมาก ยกตัวอย่างเช่น การนำมาใช้กับเตาชีวมวลที่มีฉนวนเพื่อเก็บความร้อนในห้องเผาไหม้ให้สูง ซึ่งจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และจากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จะเห็นว่าระยะคืนทุนเท่ากับ 109 วัน โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบแทนของโครงการที่สำคัญ คือ ราคาเครื่องจักร ค่าแรงงานจำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ และจำนวนวันที่ผลิต

การแปรรูปขี้เลื่อยไม้ยางพาราและมูลสัตว์มาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแห้งจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการที่จะลดเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและของเสียจากปศุสัตว์ เป็นแนวทางในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในชุมชนให้เกิดประโยชน์อย่างยั่งยืน สามารถใช้เป็นพลังงานทางเลือกทดแทน ฟืน ถ่าน และแก๊ส LPG ในครัวเรือนทำให้ชุมชนสามารถลดรายจ่ายด้านพลังงานและเพิ่มรายได้ และช่วยลดขยะชีวมวลที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชน

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ที่ได้ให้การสนับสนุนมอบทุนอุดหนุนงานวิจัยงบประมาณ รายได้ ประจำปี 2560 ขอขอบคุณอาจารย์ประจำ หลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ที่มี ส่วนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุปรานี วุ่นศรี, นพดล โพชกำเหนิด, พวงทิพย์ แก้วทับทิม. โครงการการถ่ายทอด เทคโนโลยีการผลิตแก๊สชีวภาพระดับ ครึ่งเรือนจากถุงพลาสติก LDPE ในพื้นที่ ชุมชนคลองลู อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง. คลินิกเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย; 2560.
- [2] ศิริชัย ต่อสกุล, กุณฑล ทองศรี, จงกล สุภารัตน์. การพัฒนาถ่านอัดแท่ง จากกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทน, การ ประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ.2555; 17-19 ตุลาคม 2555; ชะอำ; เพชรบุรี; 2555 หน้า. 1381-6.
- [3] รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล, อุบัติย์ สุวคันธกุล, อัมพร กุญชรรัตน์. การผลิตถ่านอัดแท่ง จากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้งจ้ำมัน สำปะหลัง. วารสารวิชาการอุตสาหกรรม ศึกษา 2553; 4(2):18-28.
- [4] ธนาพล ตันติสัตยกุล, กะขามาศ สายดำ, สุจิตรา ภูสงสี, และคณะ. การศึกษาความ เหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

จากเปลือกสับปะรด. วารสารวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี 2558; 23(5):754-73.

- [5] ลดาวัลย์ วัฒนะจิระ, ณรงค์ศักดิ์ ลาป็น, วิภาวดี ชัชวาลย์ และคณะ. การพัฒนาก้อน เชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษ ลำไยเหลือใช้. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2559; 39(2):239-55.
- [6] ลักขมี สุทธิวิไลรัตน์, ประภัสสร ภาคอรธ, ขวัญพิ ลีทธีรสอาด. การผลิตเชื้อเพลิง อัดแท่งจากเศษวัสดุชีวมวล. สำนักวิจัยและ พัฒนาการป่าไม้. กรมป่าไม้.
- [7] Annual Book of ASTM Standard. Standard Test Method for Moisture in Activated Carbon D2867-95. 15.01. 709-711. United State of America; 1998.
- [8] Annual Book of ASTM Standard. Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon D2866-94. 15.01. 707-708. United State of America; 1998.
- [9] Annual Book of ASTM Standard. Standard Test Method for Total Volatile Matter Content of Activated Carbon Sample D5832-95. 15.01. 782. United State of America; 1998.
- [10] McGill KC., Yasechko ML., Nkari WK. Determination of Calories in Food Via Adiabatic Bomb Calorimeter. The Corinthian; 2004; 6(1):92-101
- [11] กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ สิ่งแวดล้อม; 2551.

- [12] อัจฉรา อัครจุฑิกลชัย, ชลันดา เสมสายันท์, นัฐพร ประภักดี, และคณะ. การนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49; 1-4 กุมภาพันธ์ 2554; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน, กรุงเทพฯ; 2554. หน้า 162-8.
- [13] ธนาพล ดันดีสัตยกุล, สุริฉาย พงษ์เกษม, ปรีดิ์ปวีณ ภูหญา, และคณะ. พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิง ชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2558; 23(3):418-31.

องค์ประกอบของฝุ่นละอองในอากาศบนถนนทะเลหลวง
อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา
Composition of Aerosol Particles in the Air on Thala Laung Road
Muang District, Songkhla Province

วราวุฒิ ดวงศิริ^{1*}, สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์¹, นิชา ประสงค์จันทร์¹
Warawood Duangsiri^{1*}, Somboon Prasongchan¹, Nicha Prasongchan¹

¹หลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

1 ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

¹Science Program, Department of General Education, Faculty of Liberal
Arts, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla, Thailand

*Corresponding author. Tel.: +668 9654 3050, E-mail: warawood.d@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาองค์ประกอบของฝุ่นละอองที่ลอยอยู่ในอากาศบนถนนทะเลหลวง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศด้วยการกรองอากาศไหลผ่านกระดาดชกรอง และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของฝุ่นละอองด้วยเทคนิคการทำแผนภาพการกระจายตัวของธาตุ (Elemental Mapping Analysis) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) และวิเคราะห์องค์ประกอบของฝุ่นละอองด้วยเทคนิค Electron Microanalysis–Qualitative Analysis พบว่าขนาดของฝุ่นละอองที่ตรวจจับได้มีขนาดน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร PM10 และองค์ประกอบของฝุ่นละอองประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) โซเดียม (Na) แมกนีเซียม (Mg) อะลูมิเนียม (Al) ซิลิกอน (Si) ซัลเฟอร์ (S) คลอไรด์ (Cl) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) ทิตาเนียม (Ti) และเหล็ก (Fe) โดยปริมาณของฝุ่นละอองที่ตรวจจับได้ มีค่าอยู่ระหว่าง 7.72-108.02 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ระดับ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และไม่มีผลต่อสุขภาพ จากองค์ประกอบของฝุ่นละอองที่ตรวจพบนั้นส่วนหนึ่งมาจากฝุ่นละอองจากไอ้น้ำทะเล การขนส่ง และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ตลอดจนการเบรครถซึ่งทำให้เกิดฝุ่นเหล็กและแมงกานีสที่ปะปนอยู่ในอากาศได้ ดังนั้นการวิเคราะห์องค์ประกอบของฝุ่นละอองด้วยเทคนิคนี้สามารถระบุชนิดของธาตุได้

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองในอากาศ PM10 องค์ประกอบธาตุ

Abstract

This study was investigated the composition of aerosol dust particles on Thala Laung Road, Muang District, Songkhla province by collecting dust samples in the air by filtering air through the filter paper and analyzing dust particles by using the Elemental Mapping Analysis with Electron Microscope (SEM) and Electron Particle Analysis Microanalysis-Qualitative Analysis. The results revealed that the size of the particulate matter detected was PM10 and the elements of particle composition were consisted of Carbon (C), Oxygen (O), Sodium (Na), Magnesium (Mg), Aluminum (Al), Silicon Sulfur (S), Chloride (Cl), Potassium (K), Calcium (Ca), Titration (Ti) and Iron (Fe). The amount of collected dust was at 7.72-108.02 microgram per cubic meter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). It was lower than the standard level of 120 micrograms per cubic meter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), and it did not affect the health. From the constituent particulate matter, the particulate matter is derived from the seawater dust, transport and combustion including the vehicles' brakes directly caused the aerosol dust with iron and magnesium. Therefore, the analysis of dust particles with this technique can be determined the type of elements.

Keywords: Aerosol dust particles, PM10, Elements of particle

1. บทนำ

สภาวะสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากอดีตเป็นอย่างมาก เนื่องจากการพัฒนาประเทศให้ก้าวสู่โลกของเศรษฐกิจเสรีนิยมที่มุ่งเน้นอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีซึ่งส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศประเภทฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ปะปนอยู่ในอากาศซึ่งมีผลต่อสุขภาพโดยตรง สำหรับประเทศที่พัฒนาแล้วผลกระทบของมลพิษทางอากาศต่อสุขภาพได้รับการศึกษาอย่างต่อเนื่อง และยาวนานตลอดจนมีข้อเสนอแนะอย่างเป็นรูปธรรม และสามารถปฏิบัติได้เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM10) ที่มีผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์ในประเทศไทยนั้น พบว่าเมืองใหญ่ที่กำลังเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและสังคมนั้นจะมีปัญหาเรื่องมลพิษของอากาศ และสภาพแวดล้อมซึ่งมีผลกระทบทั้งด้านของสุขภาพจิตและสุขภาพกาย

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผลกระทบจากฝุ่นละอองที่ล่องลอยปะปนอยู่กับอากาศทั้งส่วนที่มองเห็นและมองไม่เห็น ซึ่งอาจสูดดมเข้าไปในร่างกายโดยไม่รู้ตัว และหากมีการหายใจเข้าไปเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ปัญหาเหล่านี้เกิดจากมลพิษในอากาศโดยฝุ่นละอองเป็นอนุภาคแขวนลอยที่เป็นมลพิษทางอากาศที่มีผลต่อสุขภาพของคน [1,2] โดยเฉพาะชุมชนเมืองที่มีจะมีมลพิษทางอากาศในปริมาณที่สูง [3] และฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดจากหมอกควันในเมืองจะทำให้ความเข้มข้นของอนุภาค หรือฝุ่นละอองมีปริมาณเพิ่มขึ้นในสภาพอากาศที่มีทัศนวิสัยที่ไม่ดี สำหรับประเทศไทยได้มีรายงานเกี่ยวกับสมรรถภาพปอดของตำรวจจราจรร้อยละ 29.29 มีความผิดปกติของปอด [4] ซึ่งเป็นผลมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง [5] ฝุ่นหยาบที่อาจเกิดจากยานพาหนะ [6] โดยเฉพาะการจราจรที่คับคั่งหนาแน่นซึ่งอาจเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง

เนื่องจากการสัณฐาน [7,8,9,10] และปริมาณฝุ่นผงจากโลหะที่ปะปนอยู่ในอากาศปริมาณสูงนั้น มีผลกระทบต่อสุขภาพ [7,11] โดยเฉพาะโลหะที่เป็นพิษที่เกิดจากฝุ่นบนผิวถนน [12] เช่น สารหนู (As) นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) งานวิจัยครั้งนี้มีความสนใจต่อปริมาณของฝุ่นละอองในอากาศบนถนนทะเลหลวง ตำบลบ่อทราย อำเภอเมืองจังหวัดสงขลา เนื่องจากเป็นถนนที่หนาแน่นด้วยการจราจรและผู้คนใช้ภายในตลาดตอนเย็นโดยคาดว่าจะมีฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีผลต่อสุขภาพของคนที่ใช้ชีวิตประจำวันแต่ละวัน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 เครื่องดักจับฝุ่นละออง

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบเครื่องดักจับฝุ่นละอองให้มียุทธศาสตร์การทำงานที่ไม่สลับซับซ้อน และสามารถที่จะนำไปใช้ในการดักจับฝุ่นละอองในอากาศ โดยใช้หลักการการไหลผ่านของอากาศผ่านท่อ และกระดาดกรองซึ่งมีส่วนสำคัญสามส่วนด้วยกัน (ภาพที่ 1) ส่วนแรก คือส่วนดักจับฝุ่นละอองในอากาศโดยใช้หลักการการไหลผ่านของอากาศโดยมีส่วนสำคัญได้แก่ ชุดเก็บตัวอย่างอากาศมีลักษณะทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.50 ± 0.05 เซนติเมตร สูง 15.00 ± 0.05 เซนติเมตร รอบทรงกระบอกเจาะช่องเพื่อให้อากาศไหลผ่านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 ± 0.05 เซนติเมตร ภายในมีฐานรองสำหรับกระดาดกรองใยแก้วเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.40 ± 0.05 เซนติเมตร เจาะช่องอากาศไหลผ่านตามแนวรัศมี

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 ± 0.05 เซนติเมตร ทำหน้าที่สำหรับวางแผ่นกระดาดกรอง เพื่อกรองฝุ่นละอองที่ไหลผ่านมาพร้อมกับอากาศ ส่วนที่สอง ระบบดูดอากาศประกอบด้วย เครื่องดูดอากาศและท่อดูดอากาศ ส่วนนี้ทำหน้าที่ดูดอากาศเข้าสู่ส่วนแรกเพื่อดักจับฝุ่นละอองที่ปะปนมากับอากาศ ส่วนที่สามคือส่วนควบคุมการทำงานของเครื่อง ประกอบด้วยระบบควบคุมการทำงานและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องทั้งหมด

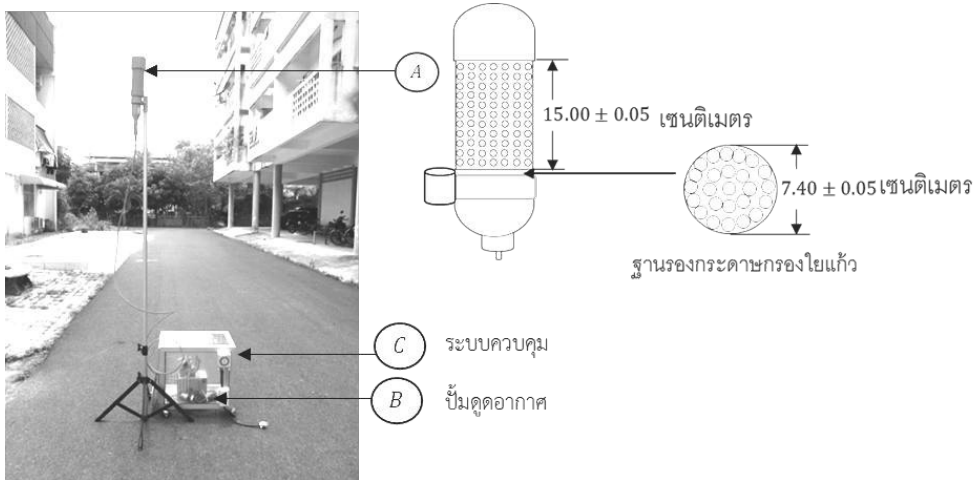
2.2 การเตรียมและการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศ

2.2.1 การเตรียมกระดาดกรองใยแก้ว

การเก็บฝุ่นละอองในอากาศโดยใช้หลักการการไหลผ่านของอากาศผ่านกระดาดกรองใยแก้ว วงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.40 ± 0.05 เซนติเมตร ก่อนนำไปใช้ในการเก็บตัวอย่างจะนำกระดาดกรองมาไล่ความชื้นในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำกระดาดที่ผ่านการอบไล่ความชื้นมาเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส [13] และก่อนนำกระดาดกรองใยแก้วไปใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศให้ชั่งน้ำหนักของกระดาดกรองเพื่อหาค่าน้ำหนักของกระดาดกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (pre-weight, W_p)

2.2.2 การเก็บตัวอย่าง

การดำเนินเก็บตัวอย่างเครื่องเก็บตัวอย่างที่สร้างประดิษฐ์ขึ้นซึ่งมีส่วนประกอบสามส่วน ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองอย่างง่าย ประกอบด้วย 3 ส่วน A ส่วนดักจับฝุ่นละอองในอากาศ B ระบบดูดอากาศ และ C ระบบควบคุม

โดยทำการติดตั้งตามจุดเก็บตัวอย่างถนนทะเลหลวง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา บริเวณตลาดวชิรา ตั้งแต่เวลา 16.00 น. ถึงเวลา 16.00 น. ของวันถัดไป ซึ่งบริเวณถนนทะเลหลวงมีการจราจรหนาแน่นคับคั่ง โดยเฉพาะเวลาหลัง 16.00 น. เป็นต้นไป เนื่องจากถนนสายนี้เป็นตลาดตอนเย็น และคาดว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพของคนที่ใช้ถนนเส้นนี้ในการสัญจรหรือจับจ่ายสินค้า โดยทำการติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง ดังภาพที่ 2 โดยวางให้ส่วนเก็บตัวอย่างอยู่ในที่โล่งอยู่สูงจากระดับพื้น 150 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับที่เราหายใจเอาอากาศเข้าสู่ร่างกายเมื่อเทียบกับระดับความสูงโดยของคนทั่วไปมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 160 เซนติเมตร และส่วนเก็บตัวอย่างจะวางกระดาดทรงกรวยแก้วบนตะแกรง สำหรับวางกระดาดทรงกรวย โดยจัดวางกระดาดทรงกรวยให้อยู่ในระนาบที่ขนานกับพื้น และอยู่ในสภาพสมดุล ตรวจสอบจุดเชื่อมต่อ เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศระหว่างรอยต่อของท่อดูดอากาศและดูดอากาศด้วยอัตราการไหลของอากาศ 1.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

สำหรับการเก็บตัวอย่างในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่าง 5 จุด (Station, ST) บนถนนทะเลหลวง โดยเลือกจุดการเก็บตัวอย่างที่ไม่มีสิ่งกีดขวางและไม่ขวางการใช้พื้นที่ของคนในชุมชนและการสัญจรของยานพาหนะ



ภาพที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องเก็บฝุ่นละออง ณ ถนนทะเลหลวง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

2.2.3 การหาปริมาณฝุ่นละอองบนกระดาศกรอง

การหาปริมาณฝุ่นละอองที่เก็บได้จากจุดเก็บตัวอย่างที่ติดจับได้บนกระดาศกรอง นำมาไล่ความชื้นในโถดูดความชื้นในสภาวะควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง [13] จากนั้นนำกระดาศกรองไปชั่งน้ำหนัก (post-weight, W_f) จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาตรอากาศและปริมาณฝุ่นละอองจากสมการ (1) [13]

$$\text{ปริมาณฝุ่นละออง} = \frac{W_f - W_i}{V} \quad (1)$$

เมื่อ

W_i คือ น้ำหนักของกระดาศกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (กรัม)

W_f คือ น้ำหนักของกระดาศกรองหลังเก็บตัวอย่างหลังผ่านการอบแห้ง (กรัม)

V คือ ปริมาตรอากาศ (ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2)

$$V = Qt \quad (2)$$

โดยที่

Q คือ อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)

t คือ เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (ชั่วโมง)

2.2.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างฝุ่นละอองที่เก็บได้จากกระดาศกรองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราด (SEM; Scanning Electron Microscope, JSM-5800LV, JEOL, Japan attached with Energy Dispersive X-ray Spectrometer, ISIS300, Oxford, England) ด้วยเทคนิคการทำแผนที่แสดงการกระจายตัวขององค์ประกอบของธาตุ (Electron Microanalysis-Elemental Mapping Analysis, EMA) ด้วยวิธีการทดสอบ อ้างอิงตามวิธีการปฏิบัติงาน

เลขที่ WI-RES-SEM-5800-001, WI-RES-SEM-001 และ WI-RES-EDX-001 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3. ผลและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศ

งานวิจัยครั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศบนถนนทะเลหลวง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ในระหว่างเดือน กรกฎาคม-พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 โดยทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 5 จุด โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างคือ ST-1 ST-2 ST-3 ST-4 และ ST-5 ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง บนถนนทะเลหลวง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา (ST-1 – ST-5)

จากภาพที่ 4 ก ภาพถ่ายของกระดาศกรองก่อนเก็บตัวอย่างมีลักษณะเรียบและเมื่อถ่ายภาพด้วย SEM ที่กำลังขยาย 2000 เท่าจะเห็นเป็นเส้นใยแก้วพันซ้อนทับกันไปมาและมีรูพรุนขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (ภาพที่ 4 ข) และจากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศทั้ง 5 จุดเก็บและนำไปตรวจวัดขนาดของฝุ่นละอองด้วย SEM ที่กำลังขยาย 2000 เท่า และ 15000 เท่าพบว่าขนาดของฝุ่นละอองในอากาศ ที่เก็บได้บนกระดาศกรองมีขนาดเล็ก (ภาพที่ 4 ค และ ง) โดยขนาด

ของฝุ่นละอองที่เก็บได้มีขนาดน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร ซึ่งฝุ่นละอองขนาดเล็กนี้ จะลอยอยู่ในอากาศจะเห็นได้ว่า ความเร็วลมเฉลี่ยระหว่างเดือนกรกฎาคม-พฤศจิกายน 2555 อยู่ระหว่าง 17.03-21.11 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ตารางที่ 1) ซึ่งเป็นความเร็วลมที่ต่ำและมีอิทธิพลต่อฝุ่นละออง ให้สามารถลอยตัวอยู่ในอากาศได้นอกจากลมธรรมชาติ แล้วลมจากการวิ่งของรถยนต์มีผลเช่นกัน นอกจากนี้แล้ว ปริมาณฝนในช่วงเดือนกรกฎาคม-พฤศจิกายน 2555 ปริมาณฝนมีปริมาณน้อย คืออยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 10.0 มิลลิเมตร (ตารางที่ 1) ซึ่งไม่สามารถซักล้างฝุ่น ละอองขนาดเล็กตกสู่ผิวถนนหรือพื้นได้จึงทำให้ฝุ่น ละอองขนาดเล็กลอยปนอยู่ในอากาศ และตรวจพบ ฝุ่นละอองขนาดเล็กดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าจุดที่หนึ่ง (ST-1) มีปริมาณฝุ่นละอองต่ำสุดในเดือนพฤศจิกายน มีปริมาณ 12.86 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมี ปริมาณสูงสุด 41.15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรใน เดือนตุลาคมในจุดที่สอง (ST-2) พบว่าปริมาณฝุ่นละออง

ต่ำสุดในเดือนตุลาคม และสูงสุดในเดือนพฤศจิกายนมี ปริมาณฝุ่นละออง 18.0 และ 41.15 ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับในขณะที่จุดเก็บที่สาม (ST-3) มี ค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 36.01 และ 105.45 ไมโครกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร ในเดือนพฤศจิกายนและเดือน สิงหาคมตามลำดับ สำหรับจุดเก็บที่สี่ (ST-4) มี ปริมาณฝุ่นสูงสุดเท่ากับ 108.02 ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตรในเดือนพฤศจิกายน และต่ำสุดในเดือน ตุลาคมมีค่าเท่ากับ 7.72 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และจุดเก็บตัวอย่างจุดสุดท้ายจุดเก็บที่ห้า (ST-5) พบว่าปริมาณฝุ่นละอองที่เก็บได้มีปริมาณสูงสุด เท่ากับ 100.31 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรใน เดือนกรกฎาคม และต่ำสุดในเดือนตุลาคมเท่ากับ 82.30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะเห็นได้ว่า ปริมาณฝุ่นละอองที่เก็บได้มีค่าไม่เกิน 120 ไมโครกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร ภายใน 24 ชั่วโมง ซึ่งต่ำกว่า ค่ามาตรฐานที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัย

ตารางที่ 1 สภาวะสิ่งแวดล้อมประกอบด้วยอุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนและความเร็วลม ระหว่างเดือน กรกฎาคม – พฤศจิกายน 2555 (ข้อมูลจาก กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)

เดือน (พ.ศ.2555)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
กรกฎาคม	28.30	0.88	21.11
สิงหาคม	28.84	0	19.63
กันยายน	27.66	0.18	21.11
ตุลาคม	27.84	2.22	19.63
พฤศจิกายน	27.5	7.64	17.03

3.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของฝุ่นละอองในอากาศ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างฝุ่นละอองที่เก็บได้จากกระกรองด้วย SEM และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยการทำแผนภาพการกระจายตัวของธาตุด้วยการวัดพลังงาน การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่างฝุ่นละอองบนกระดาศกรองใยแก้วที่ดักจับได้ทั้ง 5 จุด จำนวน 25 ตัวอย่างระหว่างเดือนกรกฎาคม-พฤศจิกายน 2555 ดังตารางที่ 2

เมื่อนำตัวอย่างฝุ่นละอองที่มาวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิค EMA จะระบุการกระจายตัวของธาตุในฝุ่นละอองด้วยแถบสี (color bar) บ่งบอกถึงประมาณความเข้มข้นของธาตุที่กระจายตัวไล่ระดับตั้งแต่ความเข้มข้นน้อยร้อยละ 0 (สีดำ) ไปจนถึงความเข้มข้นมากร้อยละ 100 (สีขาว) ในแต่ละจุดของการเก็บตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างฝุ่นละอองที่เก็บได้มีธาตุกระจายตัวแตกต่างกันออกไปซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของธาตุที่สามารถดักจับได้ในแต่ละตัวอย่างซึ่งในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EMA จะทำการวิเคราะห์ในขอบเขตที่จำกัดซึ่งเป็นขอบเขตที่สนใจโดยเฉพาะบริเวณที่มีกลุ่มของฝุ่นละอองที่เก็บได้บนกระดาศกรองซึ่งแผนภาพการกระจายของธาตุสามารถบอกถึงธาตุที่พบในฝุ่นละออง จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุในตัวอย่างด้วยการวัดพลังงานกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ โดยพบธาตุที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่นดังตารางที่ 3 และแผนภาพการกระจายตัวของธาตุในฝุ่นละอองแสดงดังภาพที่ 5-9

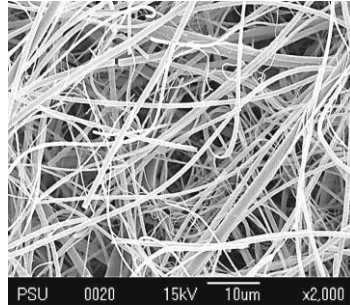
ในจุดเก็บตัวอย่าง ST-1 สเปกตรัมของธาตุที่พบดังแสดงในภาพที่ 5 ก และการกระจายตัวของ

ธาตุต่างๆ (ภาพที่ 5 ข) ประกอบด้วยธาตุดังต่อไปนี้ ออกซิเจน (ภาพที่ 5 ข a) มีความเข้มข้น และมีเพียงบางจุดมีความเข้มข้นสูง (มากกว่าร้อยละ 70) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าออกซิเจนเป็นธาตุที่พบในฝุ่นละอองที่เก็บได้ โซเดียม (ภาพที่ 5 ข b) เป็นธาตุที่พบถัดมาจากออกซิเจนและมีความเข้มข้นสูงเป็นบางจุดเช่นกัน

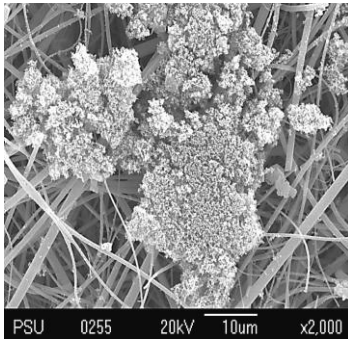
ซึ่งบ่งบอกว่ามีโซเดียมเป็นองค์ประกอบในทำนองเดียวกัน แมกนีเซียม (ภาพที่ 5 ข c) อะลูมิเนียม (ภาพที่ 5 ข d) ซัลเฟอร์ (ภาพที่ 5 ข f) คลอรีน (ภาพที่ 5 ข g) โพแทสเซียม (ภาพที่ 5 ข h) แคลเซียม (ภาพที่ 5 ข i) และเหล็ก (ภาพที่ 5 ข j) โดยเฉพาะแคลเซียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม จะเห็นได้ชัดว่า ฝุ่นละอองที่เก็บได้จากจุดนี้เป็นองค์ประกอบหลักและธาตุอื่น ๆ รองลงมามากวน ซิลิกอน (ภาพที่ 5 ข e) ซึ่งบริเวณกลุ่มของฝุ่นละอองที่วิเคราะห์จะมีปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับบริเวณอื่น ซึ่งเป็นพื้นผิวกระดาศกรองจุดเก็บตัวอย่าง ST-2 องค์ประกอบของฝุ่นละอองที่เก็บได้ดังแสดงในภาพที่ 6 ก และ ข พบว่าธาตุ คาร์บอน ออกซิเจน โซเดียม แมกนีเซียม อะลูมิเนียม ซิลิกอน โพแทสเซียม และแคลเซียม เป็นองค์ประกอบหลักที่พบ โดยเฉพาะอะลูมิเนียม และโพแทสเซียมจะมีความเข้มข้นสูงเมื่อเทียบกับธาตุอื่นที่พบ จึงแสดงให้เห็นว่าธาตุทั้งสองเป็นองค์ประกอบหลักส่วนธาตุอื่น ๆ ก็ยังคงพบในฝุ่นละอองแต่อาจพบในปริมาณที่น้อยกว่า และสำหรับจุดเก็บตัวอย่าง ST-3 ฝุ่นละออง ประกอบด้วย คาร์บอน ออกซิเจน อะลูมิเนียม ซิลิกอน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ คลอรีน โพแทสเซียม แคลเซียม และเหล็ก (ภาพที่ 7)



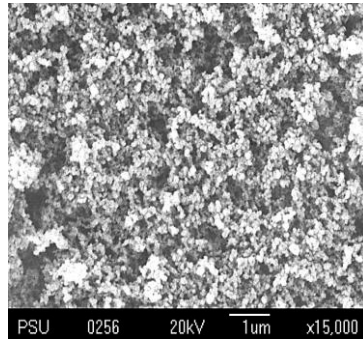
ก



ข



ค



ง

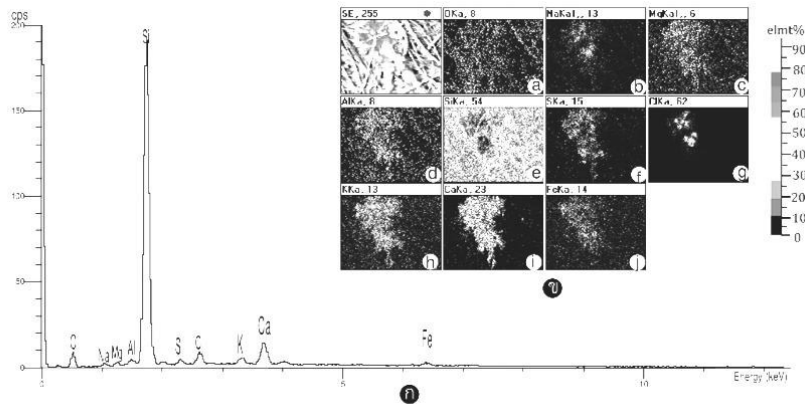
ภาพที่ 4 ก) ลักษณะพื้นผิวของกระต่ายกรวยแก้ว ข) ภาพถ่ายของพื้นผิวของกระต่ายกรวยแก้วด้วย SEM ที่กำลังขยาย 2000 เท่า ค) และ ง) ภาพถ่ายฝุ่นละอองบนกระต่ายกรวยที่เก็บได้ด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 2,000 เท่า และ 15,000 เท่า ตามลำดับ

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบของธาตุในฝุ่นละอองที่จัดเก็บได้จากจุดเก็บตัวอย่าง

จุดเก็บ ตัวอย่าง	วัน เดือน ปี (2555)	ปริมาณฝุ่น ละออง (ไมโครกรัม ต่อลูกบาศก์ เมตร)	องค์ประกอบของธาตุในฝุ่นละอองที่เก็บได้												
			C	O	Na	Al	Si	Ca	Mg	S	Cl	P	K	Fe	Ti
ST-1	2 กรกฎาคม	33.44	•	•	•	•	•	•							
	6 สิงหาคม	38.58	•	•	•	•	•	•		•	•				
	3 กันยายน	25.72	•	•		•	•	•		•					
	1 ตุลาคม	41.15		•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	
	1 พฤศจิกายน	12.86	•	•	•	•	•	•					•		
ST-2	4 กรกฎาคม	30.86	•	•		•	•	•		•	•		•		

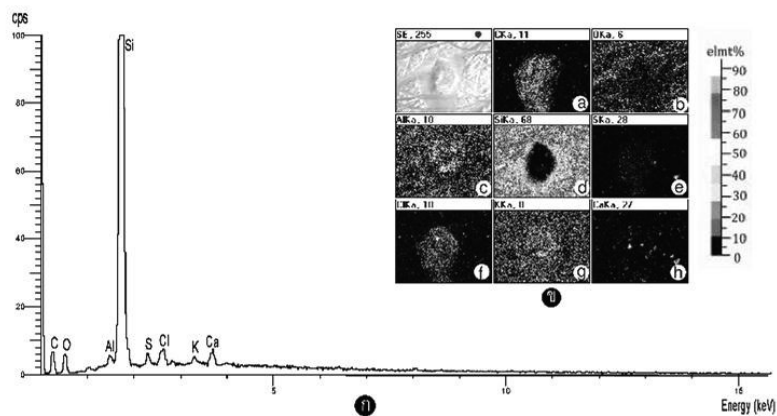
จุดเก็บ ตัวอย่าง	วัน เดือน ปี (2555)	ปริมาณฝุ่น ละออง (ไมโครกรัม ต่อลูกบาศก์ เมตร)	องค์ประกอบของธาตุในฝุ่นละอองที่เก็บได้												
			C	O	Na	Al	Si	Ca	Mg	S	Cl	P	K	Fe	Ti
	8 สิงหาคม	36.01	●	●	●	●	●	●	●		●				
	5 กันยายน	18.00	●	●		●	●	●	●	●	●	●			
	3 ตุลาคม	28.29	●	●	●	●	●	●	●				●		
	6 พฤศจิกายน	41.15	●	●		●	●	●		●	●				
ST-3	7 กรกฎาคม	74.59		●			●	●			●				
	11 สิงหาคม	105.45	●	●	●	●	●	●	●	●					
	8 กันยายน	30.86	●	●	●	●	●	●	●	●					
	13 ตุลาคม	41.15	●	●		●	●	●		●	●	●	●	●	
	10 พฤศจิกายน	36.01	●	●		●	●	●	●	●	●				
ST-4	24 กรกฎาคม	90.02	●	●	●	●	●	●							
	21 สิงหาคม	102.88	●	●	●	●	●	●	●	●	●				
	26 กันยายน	69.44	●	●	●	●	●	●	●	●	●				
	25 ตุลาคม	7.72	●	●	●	●	●		●						
	21 พฤศจิกายน	108.02	●	●	●	●	●			●	●				
ST-5	26 กรกฎาคม	100.31	●	●	●	●	●	●	●						
	30 สิงหาคม	92.59	●	●	●		●	●		●					
	27 กันยายน	100.31	●	●	●		●	●	●		●			●	●
	30 ตุลาคม	82.30		●			●	●							
	29 พฤศจิกายน	97.74		●		●	●	●			●		●		

หมายเหตุ พบ / ไม่พบ



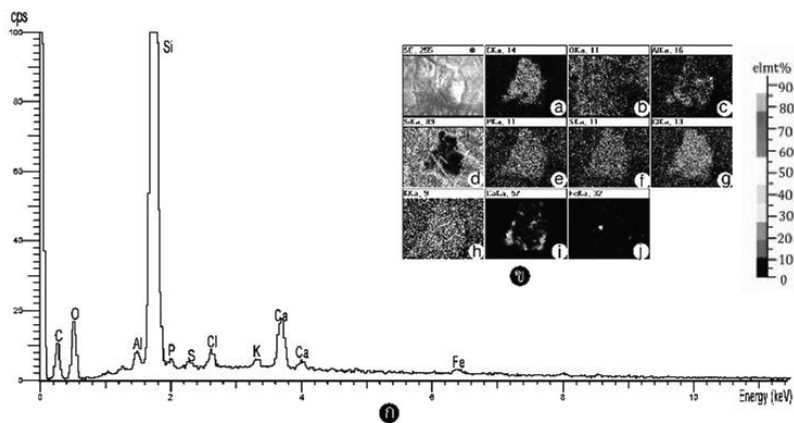
ภาพที่ 5 องค์ประกอบของธาตุของจุดเก็บตัวอย่าง ST-1

- ก) สเปกตรัมของธาตุในตัวอย่างฝุ่นละอองที่ตรวจเก็บได้
- ข) แผนภาพการกระจายตัวของธาตุ



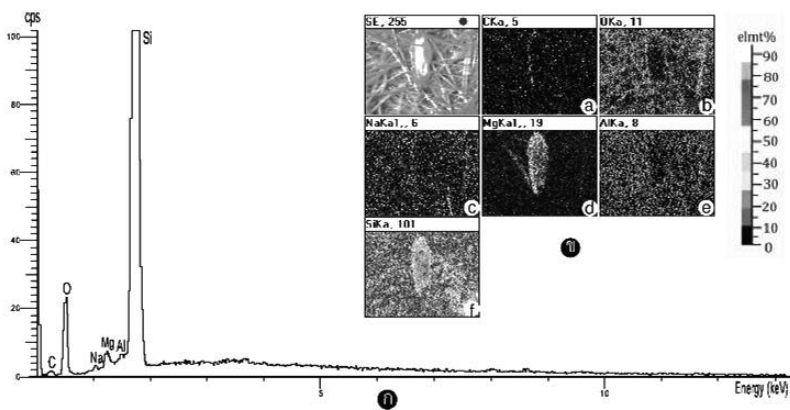
ภาพที่ 6 องค์ประกอบของธาตุของจุดเก็บตัวอย่าง ST-2

- ก) สเปกตรัมของธาตุในตัวอย่างฝุ่นละอองที่ตรวจเก็บได้
- ข) แผนภาพการกระจายตัวของธาตุ



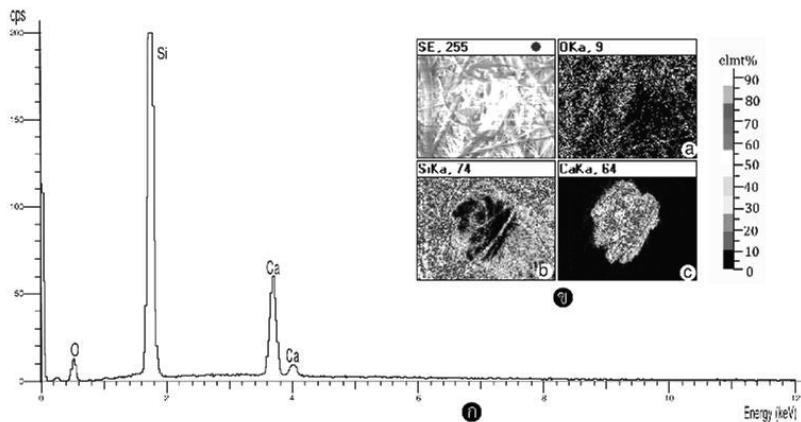
ภาพที่ 7 องค์ประกอบของธาตุของจุดเก็บตัวอย่าง ST-3

- ก) สเปกตรัมของธาตุในตัวอย่างฝุ่นละอองที่ตรวจเก็บได้
- ข) แผนภาพการกระจายตัวของธาตุ



ภาพที่ 8 องค์ประกอบของธาตุของจุดเก็บตัวอย่าง ST-4

- ก) สเปกตรัมของธาตุในตัวอย่างฝุ่นละอองที่ตรวจเก็บได้
- ข) แผนภาพการกระจายตัวของธาตุ



ภาพที่ 9 องค์ประกอบของธาตุของจุดเก็บตัวอย่าง ST-5

- สเปกตรัมของธาตุในตัวอย่างฝุ่นละอองที่ตรวจเก็บได้
- แผนภาพการกระจายตัวของธาตุ

และในจุดเก็บตัวอย่าง ST-4 พบว่ามีธาตุที่เป็นองค์ประกอบในฝุ่นละอองประกอบด้วยคาร์บอน (ภาพที่ 8 ข a) มีปริมาณความเข้มข้นการกระจายตัวอย่างหลวมๆ ในปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 10-20 บริเวณที่เป็นขอบเขตของเม็ดฝุ่นละอองที่ทำการวิเคราะห์ออกซิเจน (ภาพที่ 8 ข b) มีการกระจายตัวในปริมาณร้อยละ 10 โซเดียม (ภาพที่ 8 ข c) มีการกระจายตัวในความเข้มข้นร้อยละ 10 เช่นเดียวกัน ขณะที่แมกนีเซียม (ภาพที่ 8 ข d) มีความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 20-70 โดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้นสูงที่ร้อยละ 70 กระจายตัวบริเวณขอบเขตของเม็ดฝุ่นละออง ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของเม็ดฝุ่นละออง นอกจากนี้แล้วฝุ่นละอองยังประกอบด้วย อะลูมิเนียม (ภาพที่ 8 ข e) และซิลิกอน (ภาพที่ 8 ข f) ซึ่งกระจายตัวที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 40 ตามลำดับ สำหรับจุดเก็บที่ ST-5 ประกอบด้วยธาตุออกซิเจน ซิลิกอน และแคลเซียม แต่พบว่าระดับความเข้มข้นของแคลเซียมสูง (ภาพที่ 9 ข c) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเม็ดฝุ่นละอองที่เก็บได้ ณ จุดนี้

จากตัวอย่างฝุ่นละออง 25 ตัวอย่างประกอบด้วยธาตุซิลิกอน (Si) และออกซิเจน (O) ซึ่งเป็นอนุภาคของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ที่เกิดจากฝุ่นละอองของดินทรายบนท้องถนน และธาตุแคลเซียม (Ca) โซเดียม (Na) และ คลอไรด์ (Cl) เป็นฝุ่นละอองที่เกิดจากไอน้ำทะเลเนื่องจากถนนทะเลหลวงอยู่ติดชายฝั่งทะเลบริเวณชายหาดชลาทัศน์ อำเภอเมือง และเป็นเสมือนช่องทางการเคลื่อนที่ของลมทะเลเข้ามายังถนนทะเลหลวงโดยตรง ทำให้ธาตุดังกล่าวเป็นองค์ประกอบของฝุ่นละอองจากไอทะเล [14] ส่วนโพแทสเซียม (K) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และติตานิยม (Ti) โดยฝุ่นละอองที่ตรวจพบนั้นเกิดจากยานพาหนะที่สัญจรผ่านบนถนนที่มีความหนาแน่นสูงเวลาที่เก็บตัวอย่างโดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีการจราจรหนาแน่น [14] ซึ่งแต่ละตัวอย่างฝุ่นละอองที่เก็บได้จะมีชนิดของธาตุที่พบเป็นธาตุชนิดเดียวกันเป็นส่วนใหญ่ แต่ในบางจุดที่เก็บตัวอย่างจะพบว่ามีธาตุที่แตกต่างออกไป เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะสิ่งแวดล้อมของจุดที่ 1 (ST-1, 1 ตุลาคม 2555)

จุดที่ 3 (ST-3, 13 ตุลาคม 2555) และจุดที่ 5 (ST-5, 27 กันยายน 2555) มีรถขนาดใหญ่แล่นผ่านบางช่วงที่เก็บตัวอย่าง โดยเฉพาะจุดที่ 3 กับ จุดที่ 5 จะมีการก่อสร้างใกล้เคียงกับจุดเก็บ ดังนั้นกิจกรรมที่เกิดจากการก่อสร้าง การขนส่งหินทรายด้วยรถขนาดใหญ่อาจจะทำให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีส่วนประกอบของเหล็ก หรือ แมงกานีส นอกจากกิจกรรมดังกล่าวแล้ว เหล็กและแมงกานีส ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงของรถ [10,15] หรือเบรคของรถที่มีส่วนผสมของผงเหล็กและแมงกานีสเชื่อมออกไซด์ฟุ้งกระจายลอยอยู่ในอากาศจึงทำให้ตรวจพบโลหะชนิดในฝุ่นละอองเช่นเดียวกับธาตุอื่นที่พบ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของฝุ่นละอองที่ตรวจพบมีทั้งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ [15] พวกโอโซน และที่เกิดจากยานพาหนะ [10,12,14,] อันเนื่องจากการสัญจรของรถยนต์และการเผาไหม้จากเชื้อเพลิงอันได้แก่ม้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล และสารอื่น เช่น สารหนู ทองแดง เหล็ก นิเกิล แมงกานีส เป็นต้น อย่างไรก็ตามปริมาณของฝุ่นละอองที่ตรวจพบมีค่าอยู่ระหว่าง 7.72-108.02 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งปริมาณดังกล่าวต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จึงยังไม่ส่งผลเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยบ่งชี้ให้ว่าบนท้องถนนที่มีกิจกรรมต่าง ๆ เช่น บนทางเท้า การมีตลาดริมทาง หรือการสัญจรของยานพาหนะต่าง ๆ ตลอดจนทะเลทั้งหมตนี้ล้วนแต่เป็นแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง โดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นละอองที่เป็นโลหะนั้นมีอยู่ทั่วไป ซึ่งการตรวจวัดองค์ประกอบของฝุ่นด้วยเทคนิคนี้ทำให้ทราบถึง

ชนิดของธาตุ โดยเฉพาะที่เป็นสารโลหะหนักหากได้รับเข้าสู่ร่างกายผ่านระบบทางเดินหายใจ อาจมีผลกระทบต่อสุขภาพในอนาคตได้ถ้าได้รับสะสมเป็นเวลานาน

5. กิติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีจากการได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย จากสำนักงานบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือตลอดจนห้องปฏิบัติการที่เอื้อต่อการทำการวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dockery DW. and Pope CA. Acute respiratory effect of particulate air-pollution. Annu. Rev. Aerosol. Sci. 1994; 29:421-444.
- [2] Hong YC., Lee JT., Kim H., et al. Effect of air pollution on acute stroke mortality. Environ. Health. Pers. 2002; 110:187-191.
- [3] Huang L., Yaun CS., Wang G., Wang K. Chemical characteristics and source apportionment of PM₁₀ during a brown haze episode in Harbin, China. Particuol. 2002; 9:32-38.
- [4] สว่าง แสงหิรัญวัฒนา, นันทวิทย์ บุญเทศ, กุลณี วงศ์วิวัฒน์. ความเสื่อมสภาพของปอดในตำรวจจราจรในกรุงเทพมหานคร. ราชบัณฑิตยสาร. 2538; 18:44-46.

- [5] Yakin S., Bayran A. Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} using positive matrix factorization and chemical mass balance Izmir, Turkey. *Sci. Total Environ.* 2008; 309:109–123.
- [6] Cheng YH., Chang HP., Hsieh CJ. Short – term exposure to PM₁₀ , PM_{2.5} ultrafine particle and CO₂ for passenger at an intercity bus terminal. *Atmos. Environ.* 2011; 45:2034-2042.
- [7] Charlesworth S., De Miguel E., Ordonez A. A review of the distribution of particulate trace element in urban terrestrial environments and its application to consideration of risk. *Environ. Geochem. Health.* 2011; 33(2):103-123.
- [8] De Miguel E., Iribarren I., Chacon E., et al. S. Risk-based evaluation of exposure of children to trace element in playgrounds in Madrid (Spain). *Chemos.* 2007; 66:505-513.
- [9] Ferguson JE., Kim N. Trace element in street and house dusts source and speciation. *Sci. Total Environ.* 1991; 100:125-150.
- [10] Moreno T., Karanasiou A., Amato F., et al. Daily and hourly sourcing of metallic and mineral dust in urban air contaminated by traffic and coal-burning emission. *Atmos. Environ.* 2013; 68:33-44.
- [11] Li X., Liu PS. Heavy metal contamination of urban soil in street dusts in Hong Kong. *Appl. Geochem* 2001; 16:1361-1368.
- [12] Okorie A., Entwistle J., Dean JR. Estimation of daily intake of potentially toxic element from urban street dust and the role of oral bioaccessibility testing. *Chemos.* 2012; 86:460-467.
- [13] ส่วนควบคุมคุณภาพอากาศ สำนักงานการจัดการคุณภาพอากาศและเสี่ยง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ, 2546.
- [14] Sehyun H., Jong-Sang Y., Yong-Won J. Characterization of PM₁₀ and PM_{2.5} source profiles for resuspended road dust collected using mobile sampling methodology. *Atmos. Environ.* 2011; 45:3343-3351.
- [15] Srimuruganandam B., Shiva Nagendra, SM. Source characterization of PM₁₀ and PM_{2.5} mass using a chemical mass balance model at urban roadside. *Sci. Total Environ.* 2012; 433:8-19.

การพัฒนางจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างบนไมโครสตริปโดยใช้ระนาบกราวด์มีรอยและสตัป[†]

Development of Wideband Microstrip Bandpass Filters Using DGS and Stub

ณัฐพงศ์ บุตรธนู¹, นิวัตร อังควิษฐพันธ์^{1*}, ศราวุธ ชัยมูล²

Nuttapong Bootthanu¹, Niwat Angkawisittpan^{1*}, Sarawuth Chaimool²

¹หน่วยปฏิบัติการวิจัยแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงคำนวณและระบบเชิงแสง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง
อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 หมู่ 16 ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง
จังหวัดขอนแก่น 40002

¹Research Unit for Computational Electromagnetics and Optical Systems (CEMOS),

Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantarawichai, Maha Sarakham 44150, Thailand.

²Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Nai-Muang, Muang District,
Khon Kaen 40002, Thailand.

*Corresponding author. Tel.: +668 1661 5995, E-mail: niwat.a@msu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนางจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างด้วยระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างเตี้ยพับแขนและสตัป ระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างเตี้ยพับแขนทำให้เกิดเรโซแนนซ์ที่ความถี่ 2.1 GHz และ 3.3 GHz ตามลำดับ วงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างร่วมกับระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างเตี้ยพับแขนและสตัปมีผลการวัดทดสอบวงจรจริงได้ความถี่กลางที่ 2.89 GHz แบนด์วิดท์กว้าง 64.70 % ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน S_{21} เท่ากับ -3 dB และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ S_{11} เท่ากับ -16 dB และสามารถลดขนาดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในช่วงความถี่ฮาร์โมนิกสในช่องความถี่ 4.5 GHz ถึง 8.0 GHz ถึงระดับ -15 dB ซึ่งพบว่าการจำลองการทำงานและการวัดทดสอบวงจรจริง มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี

คำสำคัญ: วงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้าง โครงสร้างกราวด์มีรอย ไมโครสตริป สตัป

ABSTRACT

This research paper proposed the development of wideband microstrip bandpass filters using defected ground structure (DGS) with folded spurline structure and stub. DGS with folded spurline structure provided the resonant frequencies at 2.1 GHz and 3.3 GHz, respectively. From the measured results of the proposed filters, it obtained the center

frequency of 2.89 GHz with a wide bandwidth of 64.70 %, the transmission coefficients S_{21} of -3 dB and reflection coefficients S_{11} of -16 dB. The transmission coefficients S_{21} were reduced to -15 dB at the stopband of 4.5 - 8.0 GHz. The simulated results and experimental results were in good agreement.

Keywords: Wideband bandpass filters, Defected ground structure, Microstrip, Stub

1. บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้า และระบบการสื่อสารแบบไร้สายมีความจำเป็นต่อมนุษย์ และการเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรม เช่น การสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบอินเทอร์เน็ต เป็นต้น [1-3] ส่วนประกอบหนึ่งของระบบสื่อสารที่ใช้งานอย่างแพร่หลาย คือ วงจรกรองผ่านแถบความถี่ ลักษณะของวงจรที่มีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ ออกแบบง่าย ราคาถูก ขนาดเล็กกะทัดรัด วงจรมีความสูญเสียต่ำ การตอบสนองความถี่ที่ดี รวมถึงวงจรอยู่ในระนาบเดียวกัน [4-6] การสื่อสารของวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างเป็นความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย เช่น การสื่อสารบลูทูธ เหมาะสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์หนึ่งไปยังอีกอุปกรณ์หนึ่งโดยไม่ใช้สายสำหรับการรับ-ส่งข้อมูลต่าง ๆ เช่น ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว และเสียง เป็นต้น [7] การสื่อสารผ่านไมโครเวฟที่ผ่านมามีประสิทธิภาพสูงจะมีข้อกำหนดของวงจรกรองความถี่กับสายอากาศ เพราะในสายอากาศเป็นส่วนที่รับสัญญาณ และมีแถบความถี่ที่ไม่ต้องการ จึงจำเป็นต้องใช้วงจรกรองผ่านแถบความถี่คัดกรองก่อน [8-9] วงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างมีการออกแบบอยู่หลายเทคนิค โดยเฉพาะเทคนิคโครงสร้างกราวด์มีรอย (Defected ground structure: DGS) [10] เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมนำมาออกแบบมากกว่าเทคนิคอื่น ๆ เพราะสามารถเพิ่มพารามิเตอร์เพื่อลดขนาดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในช่วงความถี่ฮาร์มอนิกได้

วรรณกรรมที่ทบทวนดังต่อไปนี้ทราบได้ว่า วงจรกรองผ่านแถบความถี่โมดคู่สองความถี่ โดยการโครงสร้างสี่โมดเป็นแบบคู่ขนานกันทำการต่อลงกราวด์ที่ปลายสายของสตับทั้งสองข้างร่วมกับระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างสี่เหลี่ยม เนื่องจากโครงสร้างเป็นแบบคู่ขนานทำให้ขนาดของวงจรมีขนาดใหญ่ [11] ต่อมา มีการนำเสนอการออกแบบวงจรโครงสร้างวงแหวนสามโมด สำหรับวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างไมโครสตริป ผลลัพธ์คือ วงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้าง แต่ช่วงนอกความถี่ใช้งานยังไม่สามารถลดขนาดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในช่วงความถี่ฮาร์มอนิกได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนอการออกแบบวงจรสองวงจรตัวต่อเรียงกันทำให้วงจรนั้นมีขนาดใหญ่ขึ้น [12] ต่อมา มีการนำเสนอวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างบนพื้นฐานสี่โมดโครงสร้างวงแหวน และเชื่อมต่อโครงสร้างด้วยทางด้านอินพุตและเอาต์พุต เพื่อลดขนาดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในช่วงความถี่ฮาร์มอนิก การเพิ่มโครงสร้างทางด้านอินพุตและเอาต์พุต ทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ขึ้น [13] ต่อมา มีการนำเสนอวงจรกรองผ่านแถบความถี่โมดคู่สองความถี่โครงสร้างระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างที่เล็ก แต่แบนด์วิดท์แคบ [14] ต่อมา มีการนำเสนอวงจรกรองผ่านแถบความถี่โมดคู่สองความถี่ออกแบบวงจรสี่โมดโครงสร้างเป็นแบบคู่ขนานกันทำการต่อลงกราวด์ที่ปลายสายของสตับทั้งสองข้างร่วมกับระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างสี่เหลี่ยม เนื่องจากโครงสร้างเป็นแบบคู่ขนานทำให้ขนาดของ

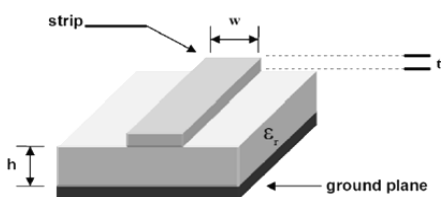
วงจรมีขนาดใหญ่ [15] ต่อมา มีการนำเสนอวงจรกรองผ่านแถบความถี่โครงสร้างวงแหวน ร่วมกับ ระบายกราวด์มีรอยตรงข้ามกับพอร์ตอินพุต และ เอาต์พุต การทำระบายกราวด์มีรอยทำให้วงจรมีขนาดเล็ก และโครงสร้างวงแหวนทำให้แบนด์วิดท์ กว้าง [16] ต่อมา มีการนำเสนอการออกแบบจำลอง วงจรกรองผ่านแถบความถี่หลายความถี่โครงสร้างพื้น หวีร่วมกับระบายกราวด์ มีรอยโครงสร้างตัวยู สามารถลดขนาดของวงจรและประยุกต์ใช้งานใน ย่านความถี่ C Band คือ 4.0 GHz ถึง 8.0 GHz [17]

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาแล้วทำให้ ทราบถึงข้อดีข้อด้อยของวงจรกรองผ่านแถบความถี่ ที่ออกแบบวงจรด้วยเทคนิคโครงสร้างระบายกราวด์มี รอย ทำให้ในบทความนี้ นำข้อดีของวงจรมานำ พัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวงจร โดยพัฒนา วงจรโครงสร้างสลับร่วมกับระบายกราวด์ มีรอย โครงสร้างเดียวพับแบน บนพื้นฐานวงจรโมดูล์ ผลลัพธ์คือมีช่วงแบนด์วิดท์ที่กว้าง และลดขนาด ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในช่วงความถี่ฮาร์โมนิกส์ และขนาดของวงจรมีขนาดเล็กกะทัดรัด

2. การพัฒนางจรกรองผ่านแถบความถี่

2.1 สายนำสัญญาณไมโครสตริป

เป็นสายนำสัญญาณที่นิยมใช้งานมาก สำหรับ การพัฒนา และออกแบบวงจรความถี่สายอากาศ วงจรขยายสัญญาณ วงจรออสซิลเลเตอร์ และวงจร มิกเซอร์ เป็นต้น [18-20] สายนำสัญญาณไมโครสตริป มีโครงสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างสายนำสัญญาณไมโครสตริป [21]

จากภาพที่ 1 โครงสร้างสายนำสัญญาณไมโคร สตริปมีค่าไดอิเล็กตริก เท่ากับ ϵ_r วัสดุฐานรอง เท่ากับ h แผ่นทองแดงด้านบน คือสายนำสัญญาณ ด้านล่าง คือระบายกราวด์ เท่ากับ t ความกว้างของ สายนำสัญญาณ เท่ากับ w หาได้จากสมการที่ 1-2

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad \text{เมื่อ } \frac{w}{h} \geq 1 \quad (1)$$

$$Z_o = \frac{\eta}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \left\{ \frac{w}{h} + 1.393 + 0.677 \ln \left(\frac{w}{h} + 1.414 \right) \right\}^{-1} \quad (2)$$

เมื่อ η คือค่าอิมพีแดนซ์ของคลื่นในท่อนำคลื่น มีค่าเท่ากับ 120π ϵ_{eff} คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ประสิทธิภาพ Z_o คือค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ ไมโครสตริป มีค่าเท่ากับ 50Ω และ λ_g คือความ ยาวคลื่นในท่อนำคลื่น (m) λ_0 คือความยาวคลื่นใน อากาศ (m) สามารถหาได้จากสมการที่ 3-4 เมื่อ c คือความเร็วแสง มีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s f คือ ความถี่ (Hz)

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (3)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (4)$$

2.2 โครงสร้างระบายกราวด์มีรอย

การเจาะลวดลายลงในระบายกราวด์ หรือทำ ให้ระบายกราวด์มีรอย (DGS) บนแผ่นวงจรพิมพ์โลหะ ของแผ่นวงจรจะเปลี่ยนเป็นผลกระทบของตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำของรูปแบบสายนำสัญญาณไมโครสตริป บนวงจรไฟฟ้า และการกระจายของกระแสบนระบายกราวด์ ผลลัพธ์คือ DGS จะแสดงคุณลักษณะคลื่นที่ช้าและ ลดขนาดของสัญญาณในวงจรไมโครเวฟ [22] เนื่องจาก โครงสร้างเดียวพับแบน มีข้อดีคือสามารถหยุดแถบ ความถี่ในช่วงนอกความถี่ใช้งาน สามารถลดค่า

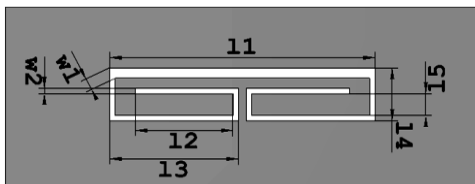
สัมประสิทธิ์การส่งผ่านได้ดี จึงนำมาพัฒนางจร โดยการวิเคราะห์ผล คือป้อนอิมพีแดนซ์ 50Ω เข้าไปในสายนำสัญญาณ (Transmission line: TL) ทางด้านอินพุต และเอาต์พุตพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะส่งผ่านวัสดุฐานรองบริเวณสายนำสัญญาณระหว่าง DGS โครงสร้างเดียวพับแบนเกิดการเรโซแนนซ์ขึ้นสองโหมด (Dual-mode) คือโหมดคู่และโหมดคี่ [23] ดังรูปที่ 2 มีค่าไดอิเล็กตริก (ϵ_r) เท่ากับ 2.6 ความหนาของแผ่นทองแดง (t) เท่ากับ 0.017 mm. และความสูงของวัสดุฐานรอง (h) เท่ากับ 1 mm. มีค่าพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 1 สามารถเขียนวงจรสมมูลของ DGS ดังภาพที่ 3 สมการความถี่เรโซแนนซ์ของโหมดคู่ (Even mode) และโหมดคี่ (Odd mode) ดังสมการที่ 5 – 6

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของโครงสร้างระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างเดียวพับแบน

พารามิเตอร์	ขนาด	พารามิเตอร์	ขนาด
w1	1 mm	l3	9.3 mm
w2	0.4 mm	l4	4.3 mm
l1	20 mm	l5	1.7 mm
l2	7.2 mm		

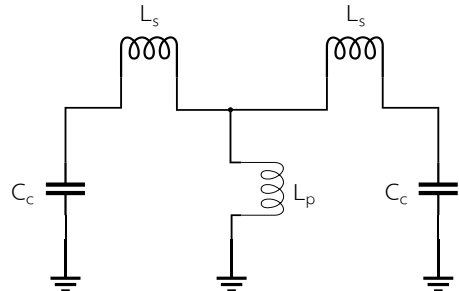
$$f_{\text{even}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_s + 2L_p)C_c}} \quad (5)$$

$$f_{\text{odd}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_c}} \quad (6)$$



ภาพที่ 2 โครงสร้างระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างเดียวพับแบน

จากภาพที่ 2 เกิดความถี่เรโซแนนซ์ขึ้นสองโหมดที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.1 GHz และ 3.3 GHz ตามลำดับจากนั้นทำการปรับความยาว l_2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพความสัมพันธ์การเรโซแนนซ์ ดังตารางที่ 2

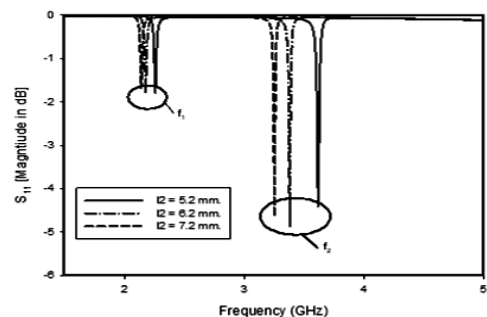


ภาพที่ 3 วงจรสมมูลโครงสร้างระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างเดียวพับแบน

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์การเรโซแนนซ์ของวงจร

l_2	f_2
5.2 mm	3.8 GHz
6.2 mm	3.5 GHz
7.2 mm	3.3 GHz

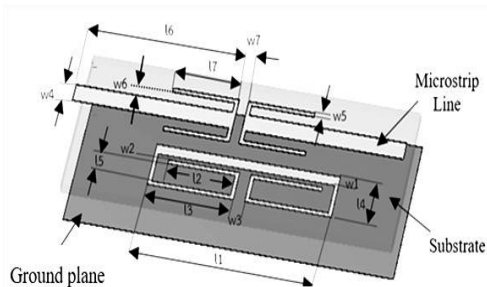
แสดงให้เห็นว่าเมื่อ l_2 ยาวขึ้นทำให้ความถี่ f_2 ลดลงและ l_2 ลดลงทำให้ความถี่ f_2 เพิ่มขึ้นโดยมีผลการจำลองการเกิดเรโซแนนซ์วงจรที่มีการปรับความยาว l_2 ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ผลตอบสนองของ S-Parameters จากการจำลองของโครงสร้างระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างเดียวพับแบนที่มีการปรับความยาว l_2

2.3 โครงสร้างสแต็ค

วงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างโครงสร้างสแต็คพร้อมกับระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างเดียวพับแบน ดังภาพที่ 5 มีค่าไดอิเล็กตริก (ϵ_r) เท่ากับ 2.6 แผ่นทองแดงมีความหนา (t) เท่ากับ 0.017 mm. และความสูงของวัสดุฐานรอง (h) เท่ากับ 1 mm. มีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3



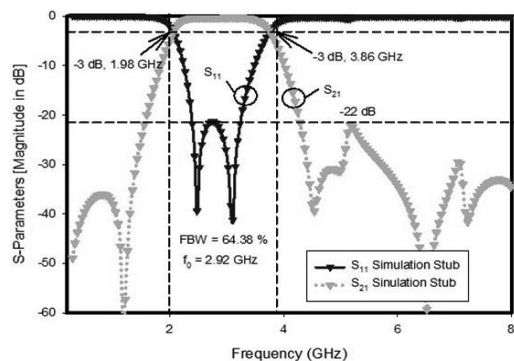
ภาพที่ 5 วงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างโครงสร้างสแต็คพร้อมกับระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างเดียวพับแบน

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ของวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างโครงสร้างสแต็คพร้อมกับระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างเดียวพับแบน

พารามิเตอร์	ขนาด	พารามิเตอร์	ขนาด
w1	0.8 mm	l1	19.6 mm
w2	0.4 mm	l2	8.2 mm
w3	0.6 mm	l3	9.3 mm
w4	1.7 mm	l4	4.3 mm
w5	0.4 mm	l5	1.7 mm
w6	1 mm	l6	17 mm
w7	1 mm	l7	7 mm

การทำงานของวงจร w1 ทำหน้าที่ควบคุมโมดของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ S_{11} โมดที่ 1 เกิดขึ้น

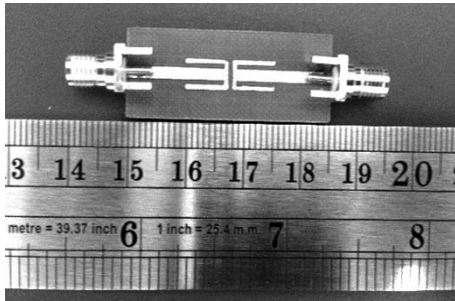
ที่ -40 dB ที่ความถี่ 2.47 GHz โมดที่ 2 เกิดขึ้นที่ -43 dB ที่ความถี่ 3.11 GHz และ l5 ทำหน้าที่ควบคุมแบนด์วิดท์ให้กว้างขึ้นหรือแคบลง เมื่อ l5 มีความยาวมากขึ้น แบนด์วิดท์จะแคบลง เมื่อ l5 มีความยาวลดลง แบนด์วิดท์จะกว้างมากขึ้น วงจรนี้มีแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 1.98 GHz ถึง 3.86 GHz ความถี่กลางที่ 2.92 GHz แบนด์วิดท์กว้าง (FBW) 64.38 % ในช่วงนอกความถี่ใช้งาน 4.5 GHz ถึง 8.0 GHz สามารถลดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในช่วงความถี่ฮาร์โมนิกส์ได้ถึงระดับ -22 dB ดังภาพที่ 6



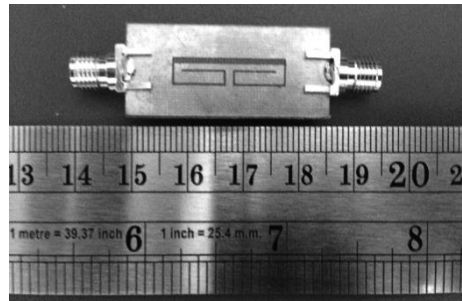
ภาพที่ 6 ผลตอบสนองของ S-Parameters จากการจำลองของวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างโครงสร้างสแต็คพร้อมกับระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างเดียวพับแบน

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

เมื่อจำลองผลการทำงานวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างโครงสร้างสแต็คพร้อมกับระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างเดียวพับแบน ขั้นตอนถัดไปทำการสร้างวงจรจริงจากวัสดุแผ่นวงจรพิมพ์ Arlon AD260A มีค่าไดอิเล็กตริก (ϵ_r) เท่ากับ 2.6 แผ่นทองแดงมีความหนา (t) เท่ากับ 0.017 mm. และความสูงของวัสดุฐานรอง (h) เท่ากับ 1 mm. ดังภาพที่ 7



(ก) โครงสร้างด้านบน

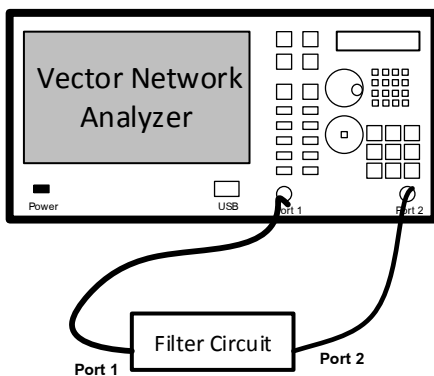


(ข) โครงสร้างด้านล่าง (ระนาบกราวด์)

ภาพที่ 7 วงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างโครงสร้างสลับร่วมกับระนาบกราวด์มีรอยโครงสร้างเดียวพับแขน

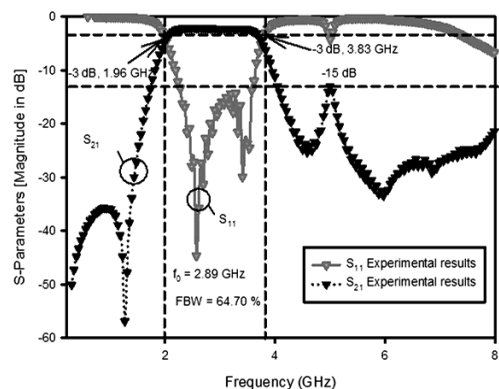
จากภาพที่ 7 นำวงจรที่สร้างขึ้นไปวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน S_{21} และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ S_{11} จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ยี่ห้อ Agilent Keysight รุ่น E5071C ดังภาพที่ 8 ผลลัพธ์คือมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน S_{21} เท่ากับ -3 dB และค่าการค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ S_{11}

เท่ากับ -16 dB มีแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 1.96 GHz ถึง 3.83 GHz ความถี่กลางที่ 2.89 GHz แบนด์วิดท์กว้าง (FBW) 64.70 % ในช่วงนอกความถี่ใช้งาน 4.5 GHz ถึง 8.0 GHz สามารถลดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในช่วงความถี่ฮาร์โมนิกได้ถึงระดับ -15 dB ดังภาพที่ 9



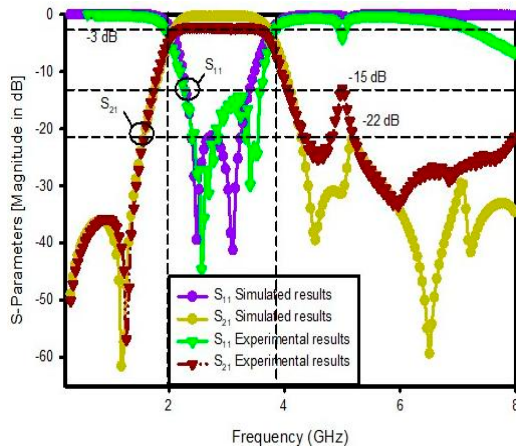
ภาพที่ 8 การวัดวงจรด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

ขั้นตอนถัดไป เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองวงจรกับผลการทดสอบวัดวงจรจริง ผลลัพธ์คือผลการจำลองวงจรกับผลการทดสอบวัดวงจรจริงมี



ภาพที่ 9 ผลการทดสอบวงจรจริงจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

ความสอดคล้องกันความกว้างของแบนด์วิดท์ (FBW) ต่างกัน 0.32 % ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบผลการทดสอบวัดวงจรจริงกับผลการจำลองของวงจร

4. สรุปผลการทดลอง

ผลการจำลองวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างโครงสร้างสลับร่วมกับระนาบกรวดมีรอยโครงสร้างเดียวพบเห็น ความถี่กลางที่ 2.92 GHz แบนด์วิดท์กว้าง (FBW) 64.38% สำหรับผลการทดสอบวัดวงจรจริง ความถี่กลางที่ 2.89 GHz แบนด์วิดท์กว้าง (FBW) 64.70% ระหว่างผลการจำลองของวงจรกับผลการทดสอบวัดวงจรจริงมีความกว้างของแบนด์วิดท์ (FBW) ต่างกันอยู่ 0.32% ผลการทดสอบมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีขนาดของวงจรมีขนาดเล็กกะทัดรัดวงจรที่สร้างขึ้นมานี้มีประสิทธิภาพ จากการเปรียบเทียบงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงดังตารางที่ 4 และการพัฒนาในอนาคตสามารถนำเทคนิคนี้ไปใช้ในการออกแบบในช่วงความถี่อื่นๆ และนำไปประยุกต์กับวงจรกรองหยุดแถบความถี่ในย่านความถี่ C Band 4 GHz ถึง 8 GHz เป็นต้น

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบคุณสมบัติงานวิจัยที่ผ่านมา

f_c (GHz)	FBW (%)	Size	Out of Band (dB)	Ref.
1.49	56.1	$(0.5\lambda_g)^2$	-20	[7]
1.45	57.9	$(0.8\lambda_g)^2$	-10	[15]
2.54	5.3	$(0.8\lambda_g)^2$	-15	[16]
2.45	32	$(0.68\lambda_g)^2$	-16	[23]
2.27	63.4	$(0.5\lambda_g)^2$	-22	[23]
2.89	64.70	$(0.49\lambda_g)^2$	-15	เทคนิคที่ นำเสนอ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยแม่เหล็กไฟฟ้า เชิงคำนวณ และระบบเชิงแสง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่ให้การสนับสนุนสถานที่และเครื่องมือในการทำงานวิจัย

6. อ้างอิง

- [1] พิศวรณ์ มีสุข, กวินชัย ต้องตรงทรัพย์, ธนวัต ม่วงโคกสูง และคณะ. การทดสอบการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล. วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ. 2560; 11:62-68.
- [2] วีระศักดิ์ ไชยชาญ, ศักราช ทองนอก, เพียรดี อ่อนยิ่ง และคณะ. การศึกษาและออกแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าชนิดแกนแนวตั้งสำหรับที่อัตราเร็วลมต่ำ. วารสารวิจัย มทร. กรุงเทพ. 2560; 11:17-25.

- [3] Singh L., Dr. Singhal PK.. Design and analysis of hairpin line bandpass filter. I.J.A.R.E.C.E. 2013; 2:228-230.
- [4] Hong JS. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications. 2nd Ed. New Jersey:Wiley; 2011.
- [5] Pozar DM. Microwave Engineering. 2nd Ed. New York:Wiley; 1998.
- [6] Mattaei GL., Young L., Jones EMT. Microwave Filters Impedance-Matching Network and Coupling Structures. Norwood. MA:Artech House; 1980.
- [7] Ahmadi A., Makki SV., Lalbakhsh A., et al. A Novel Dual-Mode Wideband Bandpass Filter. ACES Journal September 2014; 29:735-742.
- [8] Gunjal SR., Pawase R.S., Labade RP. Design and analysis of microstrip hairpin bandpass filter for ISM band. I.J.A.R.E.E.I.E. 2016; 5:5529-5532.
- [9] Darwis F., Permana D. Design and simulation of 456 MHz Bandpass Filter for Radar system. Proc. 6th National Radar Seminar and International Conference on Radar Antenna Microwave Electronics and Telecommunications (ICRAMET); Bali; 2012; 68-72.
- [10] Boutejdar A., Omar A., Burte EP. et al. An Improvement of Defected Ground Structure Lowpass/Bandpass Filters Using H-Slot Resonators and Coupling Matrix Method. Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications 2011; 10:193-195.
- [11] El-Shaarawy BH., Coccetti F. Compact Bandpass Ring Resonator Filter With Enhanced Wide-Band Rejection Characteristics Using Defected Ground Structures. IEEE Microwave and Wireless Components Letters August 2008; 18:500-502.
- [12] Srisathit K., Worapishet A., Surakamponorn W. Design of Triple-Mode Ring Resonator for Wideband Microstrip Bandpass Filters. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques November 2010; 58:2867-2877.
- [13] Fan J., Zhan D., Jin C., et al. Wideband Microstrip Bandpass Filter Based on Quadruple Mode Ring Resonator. IEEE Microwave and Wireless Components Letters 2012; 22:348-350.
- [14] Liu H., Li Sh., Li YS., et al. Dual-mode dual-band bandpass filters design using open-loop slotline resonators. IET Microw, Antennas Propag 2013; 7:1027-1034.
- [15] Jin Xu, Wen Wu. Compact and Sharp Skirts Microstrip Dual-Mode Dual-Band Bandpass Filter Using a Single Quadruple-Mode Resonator (QMR). IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 2013; 61:1104-1113.

- [16] Chen D., Zhu L., Bu H., et al. Differential bandpass filter on dual-mode ring resonator with slotline feeding scheme. Electronics Letters 17th 2015; 51:1512-1514.
- [17] Misra A., Kumar M. Design Simulation and Analysis of Hairpin Filter using Defected Ground Structures. IJSRT 2018; 4:261-264.
- [18] Ludwig R., Bretchko P. RF Circuit Design Theory and Applications. Prentice Hall. New Jersey; 2000.
- [19] Kinayman N., Aksun MI. Modern Microwave Circuits. Artech House. Boston; 2005.
- [20] Gupta KC., Garg R., Bahl I., et al. Microstrip Line and Slotlines. Second Edition Artech House. Boston; 1996.
- [21] จักรพันธ์ ออบมา, นิวัตร อังควิษฐ์พันธ์. การลดสัญญาณแทรกข้ามในสายส่งแบบไมโครสตริปความถี่ย่านไมโครเวฟ. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ มอ. 2559; 9:118-130.
- [22] Peg B. Compact Quad-Mode Bandpass Filter Based on Quad-Mode DGS Resonator. IEEE Microwave and Wireless Components Letters 2016; 26:234-236.
- [23] Peg B. Wideband Bandpass Filter with High Selectivity Based on Dual-Mode DGS Resonator. Microwave and Optical Technology Letter 2016; 58:2300-2303.

การเพิ่มประสิทธิภาพเตาถลุงสินแร่เหล็กล้าไฟแบบคิวโปลา ด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ

Efficiency Improvement of Cupola Namphi Iron Ore Furnace by Using Automatic Control System

พิทักษ์ คล้ายชม^{1*}, อภิศักดิ์ พรหมฉาย¹, ไพโรจน์ นะเที่ยง¹
Pitak Khlaichom^{1*}, Apisak Phromfaiy¹, Pairote Nathiang¹

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ เลขที่ 27 ถนนอินใจมี ตำบลท่าอิฐ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์

¹Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University, 27 Injaimee Road, Tha It Sub-District,
Muang District, Uttaradit Province, Thailand

*Corresponding author. Tel.: +66 5541 6629, Email: pitakkh@hotmail.com

บทคัดย่อ

การถลุงสินแร่เหล็กล้าไฟยังคงใช้วิธีการแบบโบราณที่สืบทอดกันมา ทำให้ปริมาณและคุณภาพของเหล็กล้าไฟที่ถลุงได้ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเตาถลุงสินแร่เหล็กล้าไฟแบบคิวโปลาด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมอัตโนมัติภายในเตาอัตโนมัติ โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนประกอบด้วย 1.เครื่องคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่แสดงสถานะการทำงานประมวลผลควบคุมการทำงานแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติและตั้งค่าการทำงานของระบบ สามารถเลือกโหมดควบคุมด้วยคนและโหมดอัตโนมัติ 2.ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์โดยรับค่าอุณหภูมิเตาจากเทอร์โมคัปเปิล เพื่อส่งให้คอมพิวเตอร์ใช้ประมวลผล และรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมความเร็วของเครื่องเป่าลม ผลการวิจัย พบว่า ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดี ได้แก่ อัตราขยายสัดส่วน (Kp) อัตราขยายปริพันธ์ (Ti) และอัตราขยายอนุพันธ์ (Td) ที่เหมาะสมในการควบคุมอุณหภูมิภายในเตา เท่ากับ 12, 0.6 และ 0.05 ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถลุงสินแร่เหล็กล้าไฟด้วยเตาคิวโปลา ในโหมดอัตโนมัติกับโหมดควบคุมด้วยคน โดยใช้สินแร่เหล็กล้าไฟปริมาณ 5 กิโลกรัม พบว่าการถลุงสินแร่เหล็กล้าไฟโหมดอัตโนมัติใช้ปริมาณถ่านไม้เฉลี่ย 53.67 กิโลกรัม น้อยกว่าโหมดควบคุมด้วยคน 13.04% สามารถถลุงเหล็กล้าไฟได้ปริมาณ 1.62 กิโลกรัม คิดเป็น 32.33% มีประสิทธิภาพมากกว่าโหมดควบคุมด้วยคน 11.4% จากการทดสอบหาปริมาณธาตุผสมเหล็กล้าไฟด้วยชุดวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer : EDS) พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ธาตุเหล็ก (Fe) และคาร์บอน (C) ที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็กล้าไฟที่ถลุงได้จากทั้ง 2 โหมด ไม่มีความแตกต่าง ทางสถิติ เมื่อทำการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ พบว่าการถลุงเหล็กล้าไฟโหมดอัตโนมัติมีกำไรเท่ากับ 3,922 บาทต่อรอบการผลิต

Received 27-08-2018

Revised 08-11-2018

Accepted 12-11-2018

มากกว่าโหมดควบคุมด้วยคน 1,791 บาท และวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ได้เท่ากับ 29 รอบการผลิต เร็วกว่า 8 รอบการผลิต

คำสำคัญ: ระบบควบคุมเตาอัตโนมัติ เตาคิวโปลา การถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้

Abstract

Namphi iron ore smelting had been conducted with traditional method yielding inadequate quantity and quality of Namphi steel as demanded. Therefore, this research aims to improve efficiency of cupola Namphi iron ore furnace by using automatic temperature control system with 2 functions consisted of : 1) computer displaying operational status, processing, controlling operation, alarming for errors, and setting operation that could be selected as manual or automatic modes; 2) microcontroller transmitting and receiving data from computer, i.e., receiving furnace temperature from Thermo Couple for transmitting to computer for processing and receiving commands from computer for controlling the speed of wind blower. The results revealed that parameters of PID Controller with proportional gain (Kp), integral gain (Ti) and the derivative gain (Td), that were appropriate for controlling furnace were 12, 0.6, and 0.05, respectively. From comparing efficiency of Namphi iron ore smelting by using cupola furnace controlled by manual mode and automatic mode with approximate 5 kilograms of Namphi iron ore, it was found that Namphi iron ore smelting by using cupola furnace controlled by manual mode approximately consumed 53.67 kilograms of charcoal that was lower than that of manual mode by 13.04% and it could smelt around 1.62 kilograms of Namphi steel calculated to be 32.33% therefore it had higher efficiency than that of manual mode by 11.4% from testing to find elements of Namphi steel by using Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDS), it was found that percentage of iron (Fe) and carbon (C) mixed in Namphi steel smelted from both modes had no statistical significance. When comparing economic wealthiest, it was found that smelting Namphi steel by using automatic mode provided profit of 3,922 baht per production cycle that was higher than that of manual mode by 1,791 baht whereas its break-even point was calculated to be 29 production cycles that was quicker by 8 production cycles.

Keywords: Automatic Furnace Control System, Cupola Furnace, Namphi Steel Smelting

1. บทนำ

จากรายงานวิเคราะห์แร่เหล็กน้ำพี้ และโลหะเหล็กน้ำพี้ด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัยของภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [1] และกรมวิทยาศาสตร์ทหารบกโดยการนำเอาตัวอย่างสินแร่จากบ่อพระแสงและบ่อพระขรรค์ ตำบลน้ำพี้ อำเภอดรอน จังหวัดอุดรธานี พบว่าแร่เหล็กที่ตำบลน้ำพี้ เป็นแร่เหล็กที่มีคุณภาพสูงของเมืองไทย เหมาะแก่การนำมาทำเป็นดาบที่มีความแข็งแรง คงทน จากการทดสอบ [2] เหล็กน้ำพี้จากแหล่งขุดแร่ในปัจจุบันเมื่อถลุงแล้วมีค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็ก 59.06% เป็นชนิดแร่ฮีมาไทต์ (Hematite) มีสูตรทางเคมี Fe_2O_3 ในการถลุงแร่ของชาวบ้านปัจจุบันใช้วิธีการขุดด้วยจอบ เสียม และขวานเจาะ เมื่อได้แร่มาแล้วชาวบ้านจะนำไปถลุงโดยใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เป็นองค์ความรู้ของชุมชนเพื่อให้ได้เนื้อเหล็กบริสุทธิ์โดยการนำแร่เหล็กมาทุบให้ได้ขนาดพอเหมาะใส่ในเตาถลุงซึ่งปั้นจากดินเหนียวผสมกลบใช้ถ่านไม้สักเป็นเชื้อเพลิงแล้วเป่าด้วยเครื่องเป่าลมให้ความร้อนจนแร่เหล็กละลาย จากนั้นจึงแยกเหล็กบริสุทธิ์ออกจากสิ่งเจือปนอื่น ๆ เมื่อเนื้อเหล็กเย็นแล้วจะนำไปหลอมยุบรวมกันเพื่อให้เป็นก้อนขนาดพอเหมาะกับการใช้งาน [3]

ภูมิปัญญาการถลุงแร่เหล็กน้ำพี้ของชาวบ้านตำบลน้ำพี้ นั้น ตามหลักการทางวิทยาศาสตร์แล้วถือว่าเป็นกระบวนการถลุงสินแร่ แบบวิธีการแบบกระบวนการทางตรง (Direct Iron Smelting Process) โดยขั้นตอนการถลุงแร่เริ่มจากการย่อย และทำความสะอาดสินแร่แล้วนำไปผสมกับถ่านตามสัดส่วนที่เหมาะสมในเตาถลุงคือ แร่เหล็กจำนวน 1 ส่วน ถ่านไม้จำนวน 3 ส่วน จากนั้นจึงใส่เชื้อเพลิง และสูบลมเพื่อเร่งอุณหภูมิภายในเตาถลุงให้สูงประมาณ

1,100–1,200 องศาเซลเซียส โดยในขณะทำการถลุงต้องเติมถ่านไม้เพื่อช่วยให้การเผาไหม้ภายในเตาเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากพอที่จะทำให้ปฏิกิริยาแร่เหล็กอย่างสมบูรณ์ เพื่อก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีเหล็ก [4] ซึ่งมีส่วนผสมระหว่างเหล็กกับคาร์บอน และธาตุอื่น ๆ ที่อยู่ในลักษณะธาตุเจือปน เช่น ซิลิกอน แมงกานีส และฟอสฟอรัส เป็นต้น [5, 6] ปัจจุบันชาวบ้านยังใช้องค์ความรู้ที่เกี่ยวกับการถลุงแร่เหล็กน้ำพี้ด้วยวิธีการแบบโบราณที่สืบทอดกันมา จึงทำให้ทั้งปริมาณเนื้อและคุณภาพของเหล็กน้ำพี้ที่ถลุง มีปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อการนำไปผลิตสินค้าของวิสาหกิจชุมชน และที่สำคัญการถลุงแบบวิธีการโบราณนั้นยังใช้เวลาในการถลุงที่นาน และได้เหล็กที่มีขีดจำกัดการปนเปื้อนอยู่มาก จึงทำให้ต้องมีการนำแร่มาถลุงซ้ำ ๆ หลายครั้งกว่าจะสามารถกำจัดขีดจำกัด ออกจากเนื้อเหล็กได้ [7] และจากผลการทดสอบ [8] ประสิทธิภาพเตาถลุงแร่เหล็กน้ำพี้แบบคิวโปลา ได้ปริมาณเหล็กเพียง 19%

จากความสำคัญของภูมิปัญญาท้องถิ่นซึ่งถือเป็นองค์ความรู้ที่สำคัญของจังหวัดอุดรธานีในด้านการถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ หากมีการนำองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ในการถลุงแร่ ด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติที่สามารถรักษาอุณหภูมิภายในเตาได้อย่างต่อเนื่องด้วยตนเอง ทำให้แร่เหล็กที่ถลุงได้มีประสิทธิภาพและคุณภาพสูงยิ่งขึ้น ช่วยเพิ่มผลผลิตต้นทุนในการผลิต ควบคุมและวางแผนการผลิตได้ง่ายขึ้น [9] ทีมวิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาเตาถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้จากภูมิปัญญาท้องถิ่นด้วยเทคโนโลยีระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับเตาถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ที่เหมาะสมกับการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาถลุง

สินแร่เหล็กน้ำพี้แบบคิวโปลาที่ควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบอัตโนมัติ และควบคุมด้วยคนในด้านปริมาณเนื้อเหล็ก และธาตุผสมของเหล็กที่ถลุงได้

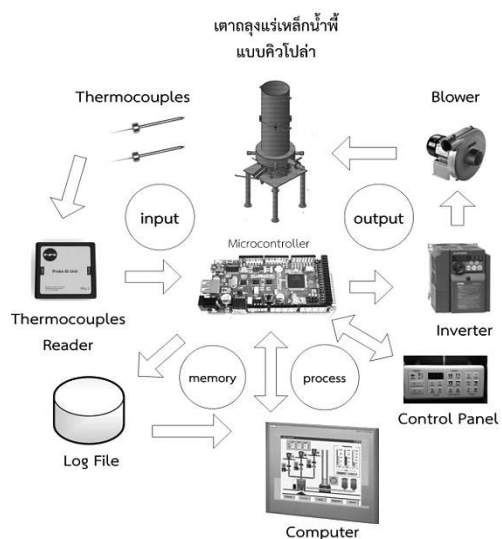
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับเตาถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้แบบคิวโปลา

การทำงานของระบบควบคุมอาศัยคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลและควบคุมการทำงานของระบบโดยรับส่งค่าผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อรับค่าอุณหภูมิภายในเตา และส่งค่าควบคุมเครื่องเป่าลม (Blower) ดังภาพที่ 1 โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนประกอบด้วย

2.1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่แสดงผลสถานะการทำงาน ประมวลผลควบคุมการทำงาน แจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติและตั้งค่าการทำงานของระบบ โดยโปรแกรมจะรับค่าข้อมูลอุณหภูมิและความดันภายในของเตาคิวโปลาจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม (Serial) ทำการเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ (Set Point) แล้วประมวลผลตัวควบคุม เพื่อส่งค่าไปสั่งงานเครื่องเป่าลมผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ตอนุกรม หากอุณหภูมิภายในเตาต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ตัวควบคุมจะเพิ่มความเร็วลมของเครื่องเป่าลมขึ้นตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิภายในเตาสูงกว่า ค่าที่ตั้งไว้ ตัวควบคุมจะลดความเร็วลมของเครื่องเป่าลมลงสามารถเลือกโหมดควบคุมอุณหภูมิได้ 2 โหมด ได้แก่ โหมดควบคุมด้วยคน (Manual) และโหมดอัตโนมัติ (Automatic) และทำการบันทึกข้อมูลการทำงานของระบบควบคุมเตาถลุงเหล็กน้ำพี้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผล

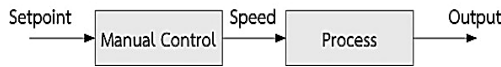
2.1.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่รับส่งค่าข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม โดยรับค่าเซนเซอร์อุณหภูมิเตาถลุงเหล็กน้ำพี้ทั้งภายนอกและภายในเตาจากเทอร์โมคัปเปิล โดยใช้โมดูล Max31856 อ่านค่าอุณหภูมิรับค่าแรงดันเตาได้จากเซนเซอร์แรงดัน และค่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกเตา เพื่อส่งให้คอมพิวเตอร์ใช้ประมวลผลและรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ เพื่อควบคุมความเร็วของเครื่องเป่าลม โดยส่งสัญญาณแบบ Pulse Width Modulation (PWM) ไปยังบอร์ดแปลงสัญญาณเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าขนาด 0-10 โวลต์ ส่งต่อไปยังอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไปควบคุมความเร็วรอบของเครื่องเป่าลม



ภาพที่ 1 ภาพรวมของระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับเตาถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้แบบคิวโปลา

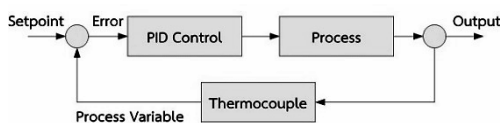
2.1.3 ตัวควบคุมด้วยคน (Manual) เป็นการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ประสบการณ์ของผู้ควบคุมปรับตั้งค่าความเร็วของเครื่องเป่าลม (Speed Blower) เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิภายในเตาที่ต้องการ โดยป้อนค่า

ความเร็วเครื่องเป่าลมในช่วง 0-100% แล้วระบบจะส่งข้อมูลความเร็วไปยังอินเวอร์เตอร์ เพื่อควบคุมความเร็วเครื่องเป่าลมโดยตรง ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ความเร็วลมคงที่ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตัวควบคุมของระบบควบคุมด้วยคน

2.1.4 ตัวควบคุมระบบอัตโนมัติ (Automatic) เป็นการควบคุมอัตโนมัติแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (Proportional-Integral-Derivative : PID) โดยเริ่มจากกำหนดค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (Set Point) แล้วระบบจะนำค่าความผิดพลาดระหว่างกำหนดค่าที่ตั้งไว้กับค่าที่วัดได้ (Process Variable) นำมาประมวลผลค่าเอาต์พุตตามค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ อัตราขยายสัดส่วน (Kp) อัตราขยายปริพันธ์ (Ti) และอัตราขยายอนุพันธ์ (Td) จากนั้นระบบจะทำการส่งข้อมูลความเร็ว (Output Blower) ไปยังอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วเครื่องเป่าลมวนลูปไปเรื่อย ๆ เพื่อควบคุมให้ค่าอุณหภูมิภายในเตามีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การควบคุมของตัวควบคุมระบบอัตโนมัติ

2.2 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมแบบ PID

ตัวควบคุมแบบ PID จำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ Kp, Ti และ Td ที่เหมาะสม ซึ่งผู้วิจัยใช้วิธีหาค่าพารามิเตอร์ตามทฤษฎีของ Ziegler-Nichols โดยกำหนดค่า Ti และ Td เป็นศูนย์ และตั้งค่า Kp น้อย ๆ ทดลองการทำงานของลูบควบคุมในการควบคุม

อุณหภูมิภายในเตา ให้เข้าสู่ค่าที่กำหนดไว้ 1,200 องศาเซลเซียส เพื่อดูการตอบสนองของระบบ ทำการเพิ่มค่า Kp ไปเรื่อย ๆ จนถึงค่าที่ทำให้อุณหภูมิภายในเตาเกิดการแกว่งขึ้น/ลงต่อเนื่องไปตลอด (Oscillate) ค่า Kp ในขณะนั้นเรียกว่า Critical Gain (Ku) และคาบเวลาในการแกว่ง เรียกว่า Corresponding Period (Pu) ทำการคำนวณหาค่า พารามิเตอร์ Kp, Ti และ Td ตามตารางที่ 1

ทำการทดลองระบบควบคุมโดยใช้ค่า Kp, Ti และ Td ตามที่คำนวณได้เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำการปรับค่าด้วยมือและสังเกตการณ์การควบคุมอุณหภูมิภายในเตา จนระบบสามารถเข้าสู่ค่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ได้อย่างรวดเร็วแม่นยำ และมีเสถียรภาพเป็นที่น่าพอใจ

ตารางที่ 1 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ตามทฤษฎีของ Ziegler-Nichols [10]

Controller	Kp	Ti	Td
P	0.50Ku	-	-
PI	0.4Ku	0.8Pu	-
PID	0.60Ku	0.5Pu	0.125Pu

2.3 ขั้นตอนการทดลองถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ด้วยเตาคิวโปล่า

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมสับถ่านไม้ที่จะใช้เพื่อเชื้อเพลิงในการถลุง (โดยใช้ถ่านไม้เนื้อแข็ง) ซึ่งถ่านที่ใช้จะมีขนาดประมาณ 1 ลูกบาศก์นิ้ว และนำถ่านไม้ใส่ถุงพลาสติกไว้ถุงละ 1 กิโลกรัม

ขั้นตอนที่ 2 เตรียมสินแร่เหล็กน้ำพี้ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักแบ่งใส่ถุงพลาสติกถุงละ 1 กิโลกรัม จำนวน 5 ถุงต่อการทดลอง

ขั้นตอนที่ 3 เริ่มทำการจุดไฟเตาถลุง เพื่ออุ่นเตาถลุงโดยใช้ถ่านไม้เนื้อแข็งเป็นเชื้อเพลิงใช้เวลาในการอุ่นเตาถลุง 30 นาที

ขั้นตอนที่ 4 เมื่ออุ่นเตาถลุง 30 นาที ถ่านไม้ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเริ่มยุบตัวแล้วจึงทำการเติมถ่านไม้ลงไปในเตาถลุง ในกรณีทำการทดลองถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ด้วยเตาควิโบลแบบควบคุมด้วยคนให้เริ่มเป่าอากาศด้วยเครื่องเป่าลม (Blower) ความเร็วลม 650 ลิตร/นาที จากนั้นใช้ประสบการณ์ของผู้ควบคุมปรับความเร็วลม ส่วนกรณีทำการทดลองแบบควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ ให้เริ่มกำหนดอุณหภูมิภายในเตาที่ต้องการเท่ากับ 1,500 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที จึงเริ่มทำการใส่สินแร่เหล็กน้ำพี้ลงไปในเตาถลุง ครั้งละ 1 กิโลกรัม และเติมถ่านไม้จนเต็มเตา โดยให้ใส่สินแร่เหล็กน้ำพี้และเติมถ่านไม้ทุก ๆ 15 นาที หลังจากการใส่สินแร่เหล็กน้ำพี้ลงไปแล้วให้สังเกตการหลอมของแร่เหล็กผ่านช่องมอง เพื่อดูว่ารูหลมเป่ามีการอุดตันจากขี้ตะกรัน (Slag) หรือไม่ ถ้ามีการอุดตันให้ใช้แท่งเหล็กเจาะผ่านช่องมองเพื่อให้รูหลมไม่ตัน จนสินแร่เหล็กน้ำพี้ที่เตรียมไว้ทั้ง 5 ถังหมดลง

ขั้นตอนที่ 6 หลังจากเติมสินแร่เหล็กน้ำพี้ครั้งสุดท้ายแล้ว ให้ทำการเจาะรูระบายน้ำตะกรัน (Slag Hole) ออก และจึงปิดช่องระบายน้ำตะกรัน (Slag Hole) ด้วยดินเหนียวอีกครั้ง

ขั้นตอนที่ 7 ปลอยให้ถ่านเผาไหม้จนหมด จึงปิดเครื่องเป่าลม แล้วทิ้งเหล็กให้อยู่ภายในเตาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 8 เมื่อถึงเวลาที่กำหนดให้เปิดกันเตา และใช้ชะแลงเหล็กกระท่งก้อนเหล็กให้ออกจากเตาให้หมด

ขั้นตอนที่ 9 ทำการคัดแยกเหล็กออกจากขี้ตะกรันโดยใช้แม่เหล็ก ทำการชั่งน้ำหนักเหล็กและบันทึกผลการทดลองในแต่ละการทดลองกระทำ 3 ข้าง

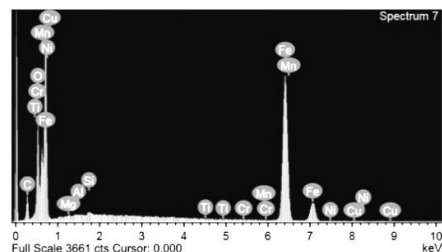
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่ ขนาดและปริมาณของสินแร่เหล็กน้ำพี้ ขนาดและชนิดของถ่านไม้ค่าชี้ผลการทดสอบ ได้แก่ ปริมาณเหล็กที่ได้จากการถลุงหลังจากการคัดแยก

2.4 การวัดปริมาณธาตุผสมของเหล็กที่ได้จากการถลุง

ขั้นตอนการวัดปริมาณธาตุผสมของเหล็กที่ได้จากการถลุง มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ดำเนินการสร้างชิ้นทดสอบโดยนำเหล็กที่ผ่านการถลุงจากเตาถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ โหมดอัตโนมัติ และโหมดควบคุมด้วยคน อย่างละ 5 ตัวอย่าง ขึ้นรูปชิ้นทดสอบด้วยการให้ความร้อนในเตาตีแบบพื้นบ้าน และตัดมีความกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร ความหนา 0.5 เซนติเมตร

ขั้นตอนที่ 2 ส่งชิ้นเหล็กทดสอบปริมาณธาตุผสมของเหล็กไปยังห้องปฏิบัติการทดลองศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุผสมของเหล็ก ด้วยชุดวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer : EDS) โดยใช้หลักการของ Wavelength dispersive X ray Fluorescence รังสีเอกซ์ไปกระทบบนชิ้นงานตัวอย่างแล้วเกิดเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์จากธาตุเหล่านั้นขึ้นมา ซึ่งจะถูกแยกตามความยาวคลื่นโดยใช้ Crystal ชนิดต่าง ๆ ก่อนที่จะเข้าสู่ตัวตรวจวัดต่อไป ผลที่ได้จะออกมาเป็นหน่วย % หรือ ppm ของแต่ละธาตุโดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตัวอย่างกราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุผสมของเหล็กถลุงจากเตาถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการพัฒนาาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับเตา ถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้

ระบบควบคุมอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย
โปรแกรมควบคุม ตัวควบคุมหลัก เครื่องเป่าลม ท่อลม
เตาควิปโลาและเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิต่าง ๆ ดังภาพที่ 5
และภาพที่ 6



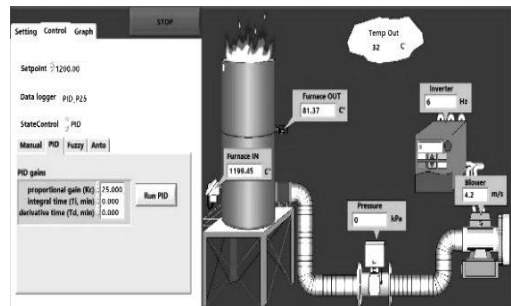
ภาพที่ 5 เตาถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้แบบควิปโลา



ภาพที่ 6 ชุดระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับเตาถลุง
สินแร่เหล็กน้ำพี้แบบควิปโลา

โดยโปรแกรมควบคุมซึ่งพัฒนาขึ้นด้วย
โปรแกรม Lab View สามารถแสดงค่าอุณหภูมิภายในเตา
ผนังเตาและอากาศภายนอก ค่าความดัน
ภายในท่อลม ค่าความถี่ของเครื่องอินเวอร์เตอร์ และ

ค่าความเร็วลม สามารถเลือกโหมดการควบคุมและ
ตั้งค่าต่าง ๆ ที่จำเป็น ดังภาพที่ 7



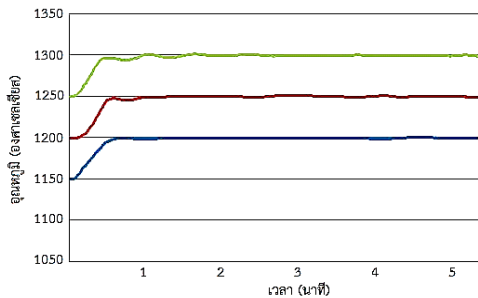
ภาพที่ 7 หน้าจอโปรแกรมควบคุมเตาถลุงสินแร่เหล็ก
น้ำพี้แบบควิปโลา

3.2 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และประสิทธิภาพของตัวควบคุม PID

เมื่อเพิ่มค่า K_p จนมีค่าเท่ากับ 25 (K_u) พบว่า
ระบบเกิดการแกว่งขึ้น/ลงต่อเนื่องไปตลอด สามารถ
หาค่าคาบเวลาของการแกว่งขึ้น/ลง ได้เท่ากับ
27.3 วินาที (P_u) จากนั้นนำค่า K_u และ P_u มา
คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ K_p , T_i และ T_d ตาม
ตารางที่ 1 จะได้ 15 13.5 วินาที (0.225 นาที) และ
3.36 วินาที (0.056 นาที) ตามลำดับ หลังจากนั้นจึง
นำค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ไปทดลอง การทำงาน
ของระบบ พบว่าอุณหภูมิภายในเตาค่อนข้างแกว่ง
ขึ้น/ลง รอบ ๆ อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส
แสดงว่าระบบควบคุมยังมีความคลาดเคลื่อนสูง
จึงต้องทำการปรับค่าด้วยมือและสังเกตการณ์การ
ควบคุมอุณหภูมิภายในเตา จนระบบสามารถเข้าสู่
ค่าที่กำหนดตั้งไว้ได้อย่างรวดเร็วแม่นยำ และมี
เสถียรภาพเป็นที่น่าพอใจ พบว่าได้ค่า K_p , T_i และ
 T_d เท่ากับ 12, 0.6 นาที และ 0.05 นาที ตามลำดับ

ผลจากการหาประสิทธิภาพของระบบควบคุม
อุณหภูมิภายในเตา เมื่อมีการตั้งค่าอุณหภูมิภายในเตา
ที่ต้องการเท่ากับ 1,200 1,250 และ 1,300 องศาเซลเซียส
ตามลำดับ พบว่าในการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น

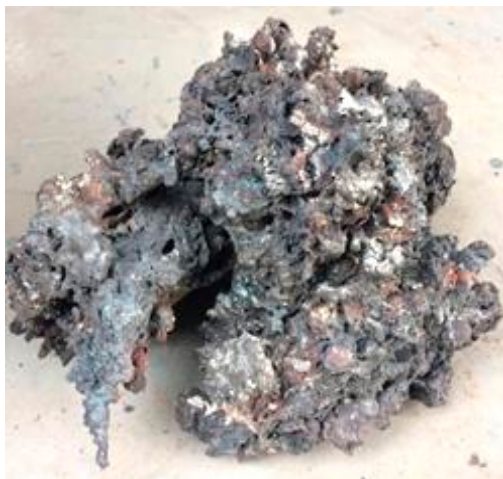
50 องศาเซลเซียส มีค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise Time) น้อยไม่มีค่าโอเวอร์ชูต (Over Shoot) มีเวลาสู่สมดุล (Setting Time) น้อย ไม่มีความผิดพลาดสถานะคงตัว (Steady-State Error) และมีเสถียรภาพดีมาก ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การตอบสนองของระบบควบคุมอัตโนมัติแบบ PID สำหรับเตาถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้

3.3 ผลการทดลองถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ด้วยเตาควิปลาโนโหมตควบคุมด้วยคนและโหมตอัตโนมัติ

ผลการทดลอง การถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ด้วยเตาควิปลาโนโหมตควบคุมด้วยคน พบว่าในการถลุงแต่ละครั้งใช้เวลาเฉลี่ย 119.33 นาที ใช้ถ่านไม้ปริมาณเฉลี่ย 60.67 กิโลกรัม สามารถถลุงเหล็กพูนลักษณะดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 เหล็กพูนที่ได้จากการถลุงแร่เหล็กน้ำพี้

โดยมีปริมาณเหล็กเฉลี่ยเท่ากับ 1.05 กิโลกรัม คิดเป็น 20.93 % สามารถคำนวณอัตราการผลิตเหล็กน้ำพี้ได้เท่ากับ 0.51 กิโลกรัม/ชั่วโมง อัตราการใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้ต่อการผลิตเหล็กน้ำพี้ 1 กิโลกรัมเท่ากับ 57.78 กิโลกรัม ส่วนผลการทดลองการถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ด้วยเตาควิปลาโนโหมตอัตโนมัติ พบว่าในการถลุงแต่ละครั้งใช้เวลาเฉลี่ย 110.67 นาที ใช้ถ่านไม้ปริมาณเฉลี่ย 53.67 กิโลกรัม สามารถถลุงได้ปริมาณเหล็กเฉลี่ยเท่ากับ 1.62 กิโลกรัม คิดเป็น 32.33 % สามารถคำนวณอัตราการผลิตเหล็กน้ำพี้เท่ากับ 0.88 กิโลกรัม/ชั่วโมง อัตราการใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้ต่อการผลิตเหล็กน้ำพี้ 1 กิโลกรัมเท่ากับ 33.13 กิโลกรัม

3.4 การเปรียบเทียบธาตุผสมของเหล็กที่ได้จากการถลุงด้วยเตาควิปลาโนโหมตควบคุมด้วยคนและโหมตอัตโนมัติ

ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ธาตุเหล็ก (Fe) และคาร์บอน (C) ที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็กน้ำพี้ที่ถลุงด้วยเตาควิปลาโนโหมตควบคุมด้วยคนและโหมตอัตโนมัติอย่างละ 5 ชิ้นงานทดสอบ พร้อมทั้งผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 พบว่าในเนื้อเหล็กน้ำพี้ที่ถลุงด้วยเตาควิปลาโนโหมตควบคุมด้วยคน มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เหล็ก (Fe) เป็น 81.67% และคาร์บอน (C) 7.78% มากกว่า ในเนื้อเหล็กน้ำพี้ที่ถลุงด้วยเตาควิปลาโนโหมตอัตโนมัติ ที่มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ธาตุเหล็ก (Fe) เป็น 79.83% และคาร์บอน (C) 7.47% จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ธาตุเหล็ก (Fe) และคาร์บอน (C) ในเนื้อเหล็กน้ำพี้ที่ถลุงด้วยเตาควิปลาโนโหมตควบคุมด้วยคนกับโหมตอัตโนมัติไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ธาตุเหล็ก (Fe) ที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็กน้ำพี้ที่ถลุงด้วยเตาคิวโปลาในโหมดควบคุมด้วยคนและโหมดอัตโนมัติ

โหมดควบคุม	ส่วนผสมของธาตุเหล็ก (Fe) ที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็กน้ำพี้ (%)			
	น้อย	มาก	ค่าเฉลี่ย	S.D
	ที่สุต	ที่สุต		
ด้วยคน	70.98	87.92	81.67a	6.99
อัตโนมัติ	70.86	86.83	79.83a	5.82

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในตารางในแนวนอน ตั้งตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยใช้ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ธาตุคาร์บอน (C) ที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็กน้ำพี้ที่ถลุงด้วยเตาคิวโปลาในโหมดควบคุมด้วยคน และโหมดอัตโนมัติ

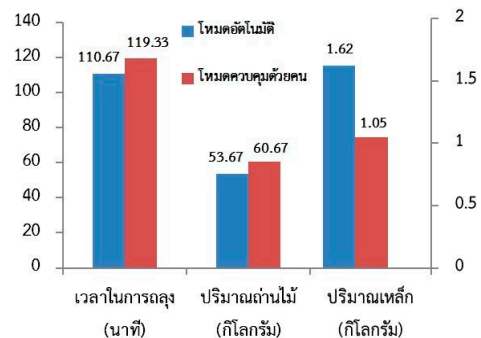
โหมดควบคุม	ส่วนผสมของธาตุคาร์บอน (C)			
	ที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็กน้ำพี้ (%)			
	น้อย	มาก	ค่าเฉลี่ย	S.D
	ที่สุด	ที่สุด		
ด้วยคน	7.05	9.27	7.78a	0.87
อัตโนมัติ	6.80	8.71	7.47a	0.73

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในตารางในแนวนอน ตั้งตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยใช้ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. การอภิปรายผลและวิจารณ์

จากการทดลองการถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ด้วยเตาคิวโปลาที่ทำงานในโหมดควบคุมด้วยคนโดยเป่าอากาศด้วยเครื่องเป่าลม (Blower) ส่วนใหญ่ใช้ความเร็วลมคงที่ วัดด้วยเครื่องความเร็วลม (Anemometer) บริเวณช่องลมเข้า คำนวณปริมาณ

ลมได้ 650 ลิตร/นาที่ และเตาคิวโปลาที่ทำงานในโหมดอัตโนมัติ โดยตั้งค่าอุณหภูมิภายในเตาเท่ากับ 1,500 องศาเซลเซียส ในการทดลองทั้ง 2 โหมดใช้สินแร่เหล็กน้ำพี้ปริมาณ 5 กิโลกรัม โดยแบ่งออกเป็น 5 ถัง ถังละ 1 กิโลกรัม นำใส่เตาทุก ๆ 15 นาที สลับกับการเติมถ่านไม้ให้เต็ม ผลการเปรียบเทียบการทดลองการถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ด้วยเตาคิวโปลาที่ทำงานในโหมดอัตโนมัติ และโหมดควบคุมด้วยคน ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 กราฟแสดงผลการทดลองการถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ด้วยเตาคิวโปลาที่ทำงานในโหมดอัตโนมัติ และโหมดควบคุมด้วยคน

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเตาถลุงเหล็กน้ำพี้ด้วยเตาคิวโปลาที่ทำงานในโหมดอัตโนมัติกับผลการวิจัยของ [8] ที่ทำการศึกษาผลการพัฒนาประสิทธิภาพเตาสำหรับถลุงแร่เหล็กน้ำพี้ตามหลักการถลุงด้วยเตาคิวโปลา (Cupola Furnace) ทำการทดลองถลุงแร่เหล็กน้ำพี้ครั้งละ 5 กิโลกรัม ใช้เวลาในการถลุง 1 ชั่วโมง 19 นาที ได้ปริมาณเหล็กน้ำพี้ที่ถลุงได้เฉลี่ย 0.95 กิโลกรัม คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เหล็กที่ได้ 19 % พบว่าการถลุงเหล็กน้ำพี้ด้วยเตาคิวโปลาที่ทำงานในโหมดอัตโนมัติ ใช้เวลาในการถลุงเหล็กน้ำพี้มากกว่าการถลุงแร่เหล็กน้ำพี้ตามหลักการถลุงด้วยเตาคิวโปลาแบบเดิม เพียง 30 นาที ซึ่งสามารถทำการถลุงเหล็ก

ได้ปริมาณมากกว่าเดิม 0.67 กิโลกรัม คิดเป็น 13.33 % และเมื่อคำนวณอัตราการผลิตเหล็กน้ำพี้ได้เท่ากับ 0.88 กิโลกรัม/ชั่วโมง อัตราการใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้ต่อการผลิตเหล็กน้ำพี้ 1 กิโลกรัมเท่ากับ 33.13 กิโลกรัม และเมื่อทำการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ โดยคิดค่าใช้จ่ายต่อการรอบการผลิตที่ถลุงเหล็กน้ำพี้ 5 กิโลกรัม พบว่าการถลุงเหล็กน้ำพี้ด้วยเตาควิโปลาที่ทำงานในโหมดอัตโนมัติ มีค่าใช้จ่ายต่อการรอบการผลิต ได้แก่ ค่าถ่านไม้มะขาม ค่าไฟฟ้า ทั้งสิ้น 938.26 บาท ส่วนค่าใช้จ่ายต่อการรอบการผลิตที่ใช้เตาควิโปลาที่ทำงานโหมดควบคุมด้วยคนทั้งสิ้น 1,019.38 บาท ซึ่งการถลุงเหล็กน้ำพี้ด้วยเตาควิโปลาที่ทำงานโหมดอัตโนมัติมีค่าใช้จ่ายต่อการรอบการผลิตน้อยกว่า 81.12 บาท และสามารถสร้างรายได้ กำไรต่อการรอบการผลิตที่มากกว่า โดยมีรายได้ต่อการรอบการผลิต 4,860 บาท กำไรต่อการรอบการผลิต 3,922 บาท และมีจุดคุ้มทุน 28.94 รอบการผลิต

5. บทสรุป

ผู้วิจัยได้ศึกษาต้นแบบเตาควิโปลา และดำเนินการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับเตาถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้แบบควิโปลา โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลและควบคุมการทำงานของระบบอาศัยการรับส่งค่าผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อรับค่าอุณหภูมิภายในเตา และส่งค่าควบคุมเครื่องเป่าลม

ผลการทดลองการถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ด้วยเตาควิโปลาที่ทำงานในโหมดอัตโนมัติ ซึ่งใช้เวลาปริมาณถ่านไม้ในการถลุงน้อยกว่า และสามารถถลุงเหล็กน้ำพี้ได้ปริมาณมากกว่าการถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ด้วยเตาควิโปลา ที่ทำงานในโหมดควบคุมด้วยคน และเมื่อทำการวิเคราะห์เหล็กน้ำพี้ที่ได้จากการถลุงพบธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ธาตุเหล็ก,

คาร์บอน, ออกไซด์, ซิลิคอน, อลูมิเนียม, ทองแดง, แมงกานีส, แมกนีเซียม, โครเมียม, สังกะสี และนิกเกิล ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุและคุณสมบัติกายภาพของเหล็กน้ำพี้ [11] และ [12] เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ธาตุเหล็ก (Fe) และคาร์บอน (C) ที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็กน้ำพี้ที่ถลุงด้วยเตาควิโปลาในโหมดควบคุมด้วยคนและโหมดอัตโนมัติ พบว่าไม่แตกต่างกัน

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า การถลุงเหล็กน้ำพี้ด้วยเตาควิโปลาที่ทำงานโหมดอัตโนมัติมีประสิทธิภาพในการผลิต ที่สามารถให้ปริมาณเหล็ก และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในรอบการผลิต ดีกว่าการถลุงเหล็กน้ำพี้ด้วยเตาควิโปลาที่ทำงานโหมดควบคุมด้วยคน ซึ่งมีความเหมาะสมที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่เหล็กน้ำพี้ ตำบลน้ำพี้ อำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุดรดิตถ์ สามารถนำเทคโนโลยีการถลุงเหล็กน้ำพี้ด้วยเตาควิโปลาที่ทำงานโหมดอัตโนมัติ ไปปรับใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มปริมาณการถลุงเหล็กน้ำพี้ และลดต้นทุนในกระบวนการผลิต ช่วยเพิ่มรายได้และกำไรให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่เหล็กน้ำพี้

อย่างไรก็ตามเนื่องจากอุณหภูมิภายในเตามีค่าสูงมากกว่า 1,500 องศาเซลเซียส ควรเลือกเทอร์โมคัปเปิล Type R และไม่ควรรีบร้อนเข้าไปใกล้เกินไป เนื่องจากจะทำให้เทอร์โมคัปเปิลเกิดความเสียหายขณะเผาไหม้ได้ง่าย รวมถึงต้องออกแบบ ระบบควบคุมให้ทนทานต่อสัญญาณรบกวนต่าง ๆ เนื่องจากระบบควบคุมที่ทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ มีความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวน และในการวิจัยครั้งต่อไปควรมุ่งเน้นการทดลอง ตัวแปรที่ต้องใช้กับระบบควบคุมอัตโนมัติ เช่น อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ปริมาณลม ขนาดและปริมาณของสินแร่เหล็กน้ำพี้ และถ่านไม้ การกำจัดแอสก เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัยทดลองในครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพโรจน์ นะเที่ยง ที่ให้ข้อมูลต้นแบบเตาเคียวโปลา และขอขอบคุณนายธนวัฒน์ หนูนาค และนายจักรกฤษณ์ เหมืองทอง นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้จนประสบความสำเร็จ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ดาบเหล็กน้ำพี้ เหล็กน้ำพี้ในทางของวิทยาศาสตร์. [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 2560 พฤศจิกายน 20]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.ดาบเหล็กน้ำพี้.com/article/22/เหล็กน้ำพี้ในทางของวิทยาศาสตร์>.
- [2] อุดลย์ พุกอินทร์. เหล็กน้ำพี้ของดีเมืองอุดรดิตถ์. พิษณุโลก: พิษณุโลกดอทคอม; 2560.
- [3] ไวยพจน์ เพ็งเป็น. การถลุงแร่เหล็กน้ำพี้ของชาวบ้านตำบลน้ำพี้. [สัมภาษณ์]. เมื่อ 7 กรกฎาคม 2560.
- [4] สุรพล นาคะพินธุ. โบราณวิทยาเรื่องโลหะสมัยก่อนประวัติศาสตร์ในประเทศไทย. เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง นิทรรศการโบราณคดี; 24-25 สิงหาคม 2544; ภาควิชาโบราณคดี คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร. กรุงเทพฯ; 2544.
- [5] Bronson, Daniel A. Metallurgy fundamentals. South Holland: The Goodheart-Willcox Company, INC; 1985.
- [6] Hodges H. Artifacts: an introduction to early materials and technology. London: John Baker; 1981.
- [7] องค์การบริหารส่วนตำบลน้ำพี้. เหล็กน้ำพี้. [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 2559 พฤษภาคม 18]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.namphi.go.th/เหล็กน้ำพี้>.
- [8] ไพโรจน์ นะเที่ยง. การจัดการความรู้และพัฒนาชุดความรู้ทางวิทยาศาสตร์จากภูมิปัญญาท้องถิ่นเตาถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ อุดรดิตถ์. อุดรดิตถ์: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์; 2557.
- [9] ระบบควบคุมอัตโนมัติ [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 2559 ตุลาคม 12]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.men.neu.ac.th/web%20%20control/control1.html>.
- [10] Okata M. "Modern Control Engineering" 3rd ed. Prentice-Hall: int; 1997.
- [11] สิงห์เดช แดงจวง. การศึกษาองค์ประกอบของธาตุและสมบัติทางกายภาพของเหล็กน้ำพี้ในชุมชนบ้านน้ำพี้. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ; 2550.
- [12] อุดลย์ พุกอินทร์. การพัฒนาคุณภาพเหล็กน้ำพี้จากเหล็กน้ำพี้ถลุงใหม่. อุดรดิตถ์: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์; 2559.

การพัฒนาเครื่องตัดใบข้าวเพื่อลดการสั่นสะเทือน[†]

Development of Rice Leaf Cutter for Reduction of Vibration

สุวิพงษ์ เหมะธูลิน¹, ณัฐดนัย พรรณเจริญวงษ์^{2*}

Suwipong Hemathulin¹, Nattadon Pannucharoenwong^{2*}

¹สาขาวิชาเครื่องกลและอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร 47000

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 12120

¹Department of Mechanical and Industrial, Faculty of Industrial Technology,
Rajabhat Sakon Nakhon University, Thailand 47000

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Thailand 12120

*Corresponding author. Tel.: +66 3825 9050-55, Email: pnattado@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดของเครื่องตัดใบข้าว เพื่อลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการวิเคราะห์ความแข็งแรง ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่า ค่าการเสียรูปทรงมีค่าสูงสุด 0.13762 mm ถือว่าน้อยมาก และเมื่อเปรียบเทียบการขับเคลื่อนด้วยโซ่กับการขับเคลื่อนด้วยสายพานและเครื่องตัดหญ้า โดยตัดใบข้าวพื้นที่ 400 m² ผลการสั่นสะเทือนในแนวแกนอนที่ความเร็วรอบ 350 rpm เมื่อขับเคลื่อนด้วยโซ่มีค่าการสั่นสะเทือน 4.75 mm และเมื่อขับเคลื่อนด้วยสายพานมีค่าการสั่นสะเทือน 5.61 mm ค่าการสั่นสะเทือนเมื่อขับเคลื่อนด้วยโซ่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับขับเคลื่อนด้วยสายพาน 15.33% และเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องตัดหญ้าค่าการสั่นสะเทือนมีค่าลดลง 7.44 % และผลการสั่นสะเทือนในแนวแกนตั้งที่ความเร็วรอบ 350 rpm เมื่อขับเคลื่อนด้วยโซ่มีค่าการสั่นสะเทือน 4.32 mm และค่าการสั่นสะเทือนเมื่อขับเคลื่อนด้วยสายพานมีค่า 6.86 mm โดยค่าการสั่นสะเทือนเมื่อขับเคลื่อนด้วยโซ่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับขับเคลื่อนด้วยสายพานคิดเป็น 37.03 % และเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องตัดหญ้า มีค่าลดลง 19.40% ช่วยลดเวลาการทำงานลงได้ 30.90 นาที/ไร่ และสามารถลดต้นทุนในการทำนาได้ 640 บาท/ไร่

คำสำคัญ: เครื่องตัดใบข้าว การสั่นสะเทือน รถเกี่ยวนาข้าว

Abstract

The purpose of this research is to development of rice leaf cutter for reduction of vibration by using Finite element method for strength analysis. The pre-analysis showed that total Deformation of 0.13762 mm which was relatively very little. When comparing chain drive

With belt drive and lawn mowers for an effective cutting area of 400 m^2 and motor speed of 350 rpm horizontal vibration from the chain drive was 4.75 mm and 5.61 mm from belt drive. Additionally, it was found that vibration decreased by approximately 15.33 % when the chain was used instead of the belt and reduced by 7.44 % when compared with lawn mowers. Vertical vibration at 350 rpm was 4.32 mm for a chain drive and 6.86 mm for belt drive. Vibration value decreased by 37.03 % when chain drive was used instead of belt and reduced by 19.40 % compared with lawn mowers. This reduces work time by 30.90 minute per Rai. And can reduce the cost of farming by 640 baht per Rai.

Keywords: Rice leaf cutter, Vibration, Combine harvester

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ทำการเพาะปลูกพืชเป็นอาชีพ ประชาชนประกอบอาชีพทางการเกษตรคิดเป็น 34 % และ 93 % ของการทำเกษตรอยู่ในเขตชนบท [1] จำนวนพืชที่ปลูกมากที่สุดคือข้าว ไร่สำหรับบริโภคและส่งออก คิดเป็นพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 11.3 % ของพื้นที่ทั่วประเทศ เกษตรกรชาวนาส่วนใหญ่ทำนาหว่านแทนการทำนาดำ เนื่องจากมีขั้นตอนในการทำที่ไม่ซับซ้อน และต้นทุนการผลิตข้าวน้อยกว่า แต่การทำนาหว่านนั้นประสบปัญหาเรื่องวัชพืชที่ขึ้นมากคลุมต้นข้าว ทำให้ต้นข้าวเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ได้ผลผลิตน้อย

กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวบ้านนงอย อำเภอเต่างอย จังหวัดสกลนคร ปัจจุบันได้ทำนาหว่านเป็นหลักและใช้เครื่องตัดหญ้าตัดใบข้าวพร้อมวัชพืช เพื่อเป็นการตัดวงจรไม่ให้หญ้าแพร่พันธุ์ และต้นข้าวเจริญเติบโตสม่ำเสมอ [2] ทำให้ได้ผลผลิตต่อไร่สูง [3] แต่การใช้เครื่องตัดหญ้ามาทำการตัดใบข้าวนั้นน้ำหนักของเครื่องตัดหญามีน้ำหนักมาก และการสั่นสะเทือนของเครื่องตัดหญานั้นทำให้เกษตรกรเกิดการเหนื่อยล้าจากการใช้เครื่องตัดหญ้าตัดใบข้าวไม่สามารถทำงานได้นาน และขณะตัดใบข้าวต้องเหวี่ยงเครื่องไปมา

เพื่อให้สามารถตัดใบข้าวได้บริเวณกว้างอาจก่อให้เกิดอันตรายขณะปฏิบัติงาน

ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดของเครื่องตัดใบข้าว เพื่อลดการสั่นสะเทือนของเครื่องตัดใบข้าวโดยประยุกต์ใช้แนวคิดหลักการออกแบบชุดใบมีดตัดจากรถเกี่ยวนาข้าวที่มีการสั่นสะเทือนน้อยซึ่งจะทำให้ตัดใบข้าวขาดได้สม่ำเสมอ และความเร็วรอบในการตัดสัมพันธ์กับความยาวของชุดใบมีดตัดซึ่งจะส่งผลให้เกษตรกรสามารถทำงานได้สะดวกสบาย และมีน้ำหนักเบาเคลื่อนที่ได้สะดวก ลดการสั่นสะเทือนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพลดเวลาในการทำงาน ลดเวลาตัดใบข้าว และช่วยเพิ่มผลผลิตข้าว [4]

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดใบข้าวเพื่อลดการสั่นสะเทือน ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการออกแบบ ชุดใบมีดตัดต้นข้าวของรถเกี่ยวนาข้าวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนา คือมีค่าการสั่นสะเทือนของชุดใบมีดตัดต้นข้าวน้อย ใบมีดตัดต้นข้าวต้องตั้งฉากกับต้นข้าวเพื่อให้ตัดต้นข้าวได้ขาดหมดและความยาวของชุดใบมีดตัดต้องสัมพันธ์กับ

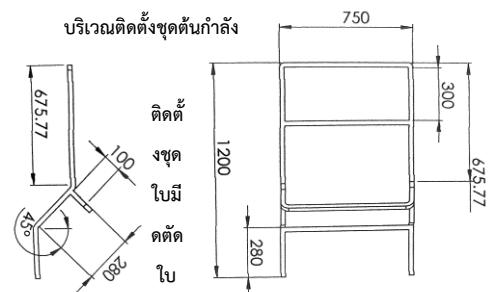
ความเร็วรอบเพื่อไม่ให้เกิดการสั่นสะเทือนมากเกินไป โดยทิศทางการใช้รถเกี่ยวนาวดข้าวมีแนวโน้มลดขนาดและน้ำหนักเพื่อให้สามารถเข้าถึงพื้นที่เกษตรกรรมได้ [4] และการออกแบบชุดใบมีดตัด และระบบส่งกำลัง จะพยายามลดการสั่นสะเทือนขณะทำงาน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของรถเกี่ยวนาวดข้าว [5] การออกแบบระบบส่งกำลังต้องให้สัมพันธ์กับความเร็วยรอบของการหมุนเพื่อให้สามารถตัดต้นข้าวขาดได้อย่างสม่ำเสมอ [6] และการออกแบบชุดข้อเหวี่ยงที่สัมพันธ์กับความเร็วยรอบจะสามารถลดการสั่นสะเทือนเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครื่องเกี่ยวนาวดข้าว [7] และพบว่ายังไม่มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสร้างเครื่องตัดใบข้าว จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเหล่านี้ทางผู้วิจัยจึงได้นำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดของเครื่องตัดใบข้าวเพื่อลดการสั่นสะเทือนและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพลดเวลาในการตัดใบข้าวแบบเดิม และลดต้นทุนในการผลิตข้าว

2.1 อุปกรณ์

การศึกษาและพัฒนาชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดของเครื่องตัดใบข้าวเพื่อลดการสั่นสะเทือน ได้ทำการออกแบบให้มีการสั่นสะเทือนของชุดใบมีดตัดให้น้อยที่สุด เนื่องจากการสั่นสะเทือนเป็นสาเหตุของการเสียหายของชิ้นส่วนโดยเฉพาะในรถเกี่ยวนาวดข้าว [6] และทำให้สามารถตัดใบข้าวขาดสม่ำเสมอ แบ่งเป็นส่วนประกอบหลัก ๆ ดังนี้

การออกแบบโครงสร้างเครื่องตัดใบข้าวโดยใช้โปรแกรมเขียนแบบในคอมพิวเตอร์สร้างต้นแบบออกมา ลักษณะโครงสร้างมีขนาดดังแสดงในภาพที่ 1 และส่วนใบมีดตัดใบข้าวออกแบบให้โครงสร้างเครื่องตัดใบข้าวทำมุมเอียงลงทางด้านล่าง 45 องศาเข้าหาใบข้าวเพื่อช่วยให้สามารถตัดใบข้าวได้สะดวกและจำกัดความยาวชุดใบมีดตัดเพื่อลดการสั่นสะเทือน เนื่องจาก

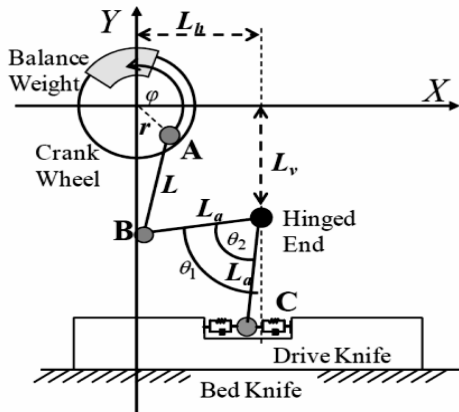
การสั่นสะเทือนจะสัมพันธ์กับความยาวของชุดใบมีดตัด [8] และเลือกใช้วัสดุอลูมิเนียมน้ำหนักเบาไม่เป็นสนิมและมีสายสะพายสามารถปรับให้เหมาะสมกับผู้ใช้งาน ชุดต้นกำลังใช้เครื่องตัดหญ้าแบบสะพายบ่าเป็นเครื่องยนต์ 4 จังหวะติดตั้งเข้ากับตัวโครงสร้างเครื่องให้มีการเพิ่มลูกยางกันสั่นสะเทือนและวางสมดุลน้ำหนักด้านหน้า-ด้านหลัง ระหว่างตัวเครื่องตัดหญ้ากับชุดใบมีดตัดและชุดดึงใบข้าว



ภาพที่ 1 ขนาดของโครงสร้างเครื่องตัดใบข้าวหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

ชุดใบมีดตัดใบข้าวทำมาจากอลูมิเนียม เพื่อลดน้ำหนักโดยออกแบบให้ชุดใบมีดตัดตั้งฉากกับต้นข้าวและขับเคลื่อนด้วยเฟือง และใช้สายพานขับเปรียบเทียบกับใช้โซ่ขับเพื่อไม่ให้เกิดการสั่นสะเทือนสูงเสียงาน [5] ในการออกแบบจะมีการออกแบบระบบข้อเหวี่ยง [9] ดังแสดงในภาพที่ 2 และต้องลดการสั่นสะเทือนให้ได้มากที่สุดซึ่งจะสัมพันธ์กับความเร็วยรอบของการตัดใบข้าว [10] กำหนดความเร็วยรอบที่จะใช้ในการทดลองคือ 250 rpm, 300 rpm, 350 rpm และ 400 rpm [11] เพื่อให้การทดลองสามารถเปรียบเทียบความเร็วยรอบกับเครื่องเกี่ยวนาวดข้าวได้และเกี่ยวข้องกับระบบออกแบบข้อเหวี่ยงของชุดใบมีดตัดใบข้าว การติดตั้งใบมีดตัดใบข้าวตั้งฉากกับต้นข้าว สามารถลดการสั่นสะเทือนของใบมีดตัดได้อีกด้วย [7] โดยการทำงานของใบมีดตัดจะสัมพันธ์กับระบบกลไกข้อเหวี่ยงดัง

แสดงในภาพที่ 2 เพื่อให้การตัดมีประสิทธิภาพสูงสุด [8] สูตรการคำนวณหาจุดเชื่อมต่อของข้อเหวี่ยงจุด A, B, C แสดงในสมการที่ (1), (2), (3)



ภาพที่ 2 แบบจำลองระบบกลไกของใบมีดตัดใบข้าว

$$A : (x_a \ y_a) = (r \cos \omega t \ r \sin \omega t) \quad (1)$$

$$B : (x_b \ y_b) = (L_h - L_a \sin \theta_1 - L_v - L_a \cos \theta_1) \quad (2)$$

$$C : (x_c \ y_c) = (L_h - L_a \sin(\theta_1 - \theta_2) - L_v - L \cos(\theta_1 - \theta_2)) \quad (3)$$

โดย

x_a, x_b, x_c คือ ระยะการกระจัด, เมตร

r คือ รัศมีการหมุนของจุด A, เมตร

ω คือ ความเร็วเชิงมุมการหมุน, เรเดียน/วินาที

t คือ เวลา, วินาที

L คือ ความยาวจุด A ถึงจุด B, เมตร

L_a คือ ความยาวแขนเชื่อมต่อจุด A, เมตร

L_h คือ ระยะแนวนอนระหว่างศูนย์กลางข้อเหวี่ยงถึงจุดปลายบานพับ, เมตร

L_v คือ ระยะแนวตั้งระหว่างศูนย์กลางข้อเหวี่ยงถึงจุดปลายบานพับ, เมตร

θ_1 คือ มุมการทำงานของใบมีด, เรเดียน

θ_2 คือ มุมคงที่, เรเดียน

μ คือ สัมประสิทธิ์การเสียดทาน, 0.5

2.1.1 วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง

เครื่องตัดใบข้าวด้วยระบบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องตัดใบข้าวที่ได้ออกแบบไว้ด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางวิศวกรรมด้วยระบบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยมีคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ ในการสร้างคืออลูมิเนียม ดังแสดงในตารางที่ 1 และรับน้ำหนักของเครื่องตัดหญ้าคือ 70N และรับน้ำหนักในด้านหน้าของชุดใบมีดตัด 10N กำหนดจำนวนเอลิเมนต์ในแบบจำลองเป็นแบบวิเคราะห์โครงสร้างมีจำนวนเอลิเมนต์ 5455 เอลิเมนต์ และมีจำนวนโนด 31,532 โหนด ดังแสดงในภาพที่ 3

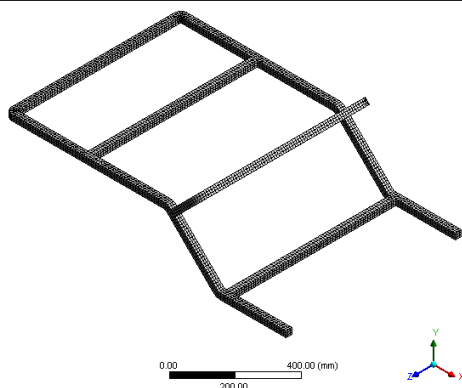
2.2 วิธีดำเนินการทดลอง

2.2.1 ทดลองวัดค่าการสั่นสะเทือน

การทดลองวัดค่าการสั่นสะเทือนโดยทำการตัดใบข้าวในแนวเส้นตรงโดยเดินหน้าตัดใบข้าวและวกกลับมีพื้นที่ในการตัดรวม 400 mm^2 โดยเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนเมื่อใช้ชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดด้วยสายพานและชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดด้วยโซ่ และเปรียบเทียบกับ การตัดด้วยวิธีใช้เครื่องตัดหญ้าตัดแบบดั้งเดิม และได้กำหนดค่าความเร็วรอบในการตัดเพิ่มขึ้นทีละ 50 รอบ ดังนี้ 250 rpm, 300 rpm, 350 rpm และ 400 rpm เพื่อวัดค่าการสั่นสะเทือนของชุดใบมีดตัดในแนวแกนตั้งและในแนวแกนนอนด้วยเครื่องวัดการสั่นสะเทือนรุ่น VM-120 มีค่าความแม่นยำของอุปกรณ์คือ 1.5 % RMS ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยค่าที่วัดจะแสดงเป็นแอมพลิจูด อยู่ในหน่วยรูทมีนสแควร์ มีค่าเป็นมิลลิเมตร (mm) โดยติดตั้งบนตัวโครงสร้างของเครื่องตัดใบข้าวใกล้กับชุดใบมีดตัดใบข้าวและระบบกลไก เพื่อวัดค่าการสั่นสะเทือนให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของอลูมิเนียมในการวิเคราะห์

คุณสมบัติของอลูมิเนียม	
ความหนาแน่น	2.770 g/cm ³
ค่าโมดูลัสของยัง	71 GPa
อัตราส่วนพัวซอง	0.33
ความแข็งแรงเมื่อรับแรงอัด	280 MPa
ความแข็งแรงเมื่อรับแรงดึง	280 MPa
รับแรงดึงสูงสุด	310 MPa
จำนวนอิเล็กเมนต์	5455
จำนวนโหนด	31,532

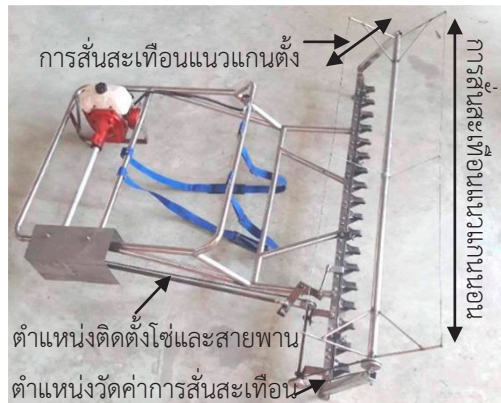


ภาพที่ 3 วิเคราะห์โครงสร้างเครื่องตัดใบข้าวด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ตำแหน่งการวัดค่าการสั่นสะเทือนแสดงในภาพที่ 5 และติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ปลายเครื่องตัดหญ้าแบบสพายบ่าบริเวณติดตั้งแสดงในภาพที่ 6 และเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยที่มีมาแล้ว [5]



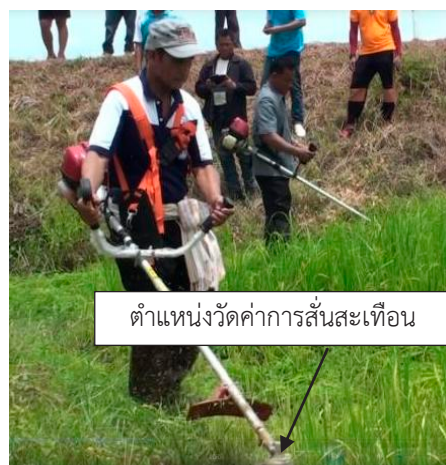
ภาพที่ 4 เครื่องวัดการสั่นสะเทือนรุ่น VM-120 [5]



ภาพที่ 5 ตำแหน่งวัดค่าการสั่นสะเทือนของชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดใบข้าว

2.2.2 การทดลองหาเวลาในการตัดใบข้าว

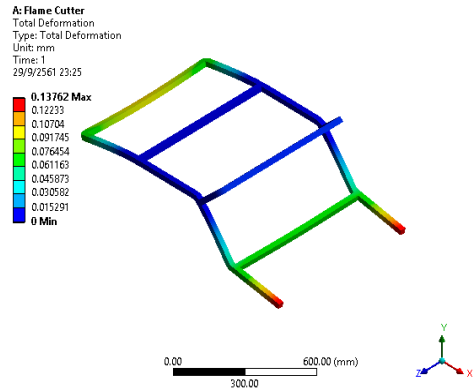
ทดลองกับเกษตรกรผู้ใช้งานจริงได้ทำการทดลองใช้เครื่องตัดใบข้าว โดยให้กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าว บ้านนางอย อำเภอดงหลวง จังหวัดสกลนคร พื้นที่นามีลักษณะเปียกเล็กน้อย ทำการทดลองตัดใบข้าวจำนวน 1 ไร่ ทำซ้ำทั้งหมด 10 ครั้ง รวมพื้นที่ทั้งหมด 10 ไร่ กำหนดช่วงเวลาในการทดลองช่วงเช้า 8.00 น. – 10.00 น. โดยทำการจับเวลาในการตัดใบข้าวเปรียบเทียบกับกรตัดใบข้าวโดยใช้เครื่องตัดหญ้าแบบเดิม โดยออกแบบการทดลองการตัดใบข้าวดังแสดงในตารางที่ 2



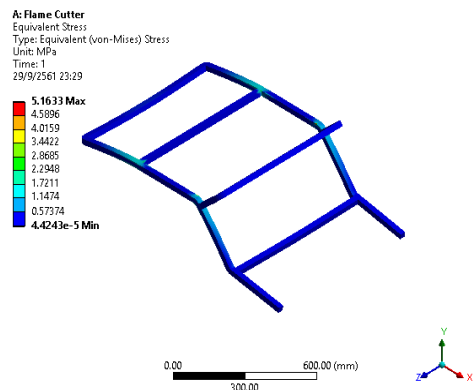
ภาพที่ 6 ตำแหน่งวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องตัดหญ้าที่ใช้ตัดใบข้าว

ตารางที่ 2 ทดสอบตัดใบข้าวและทำการจับเวลา

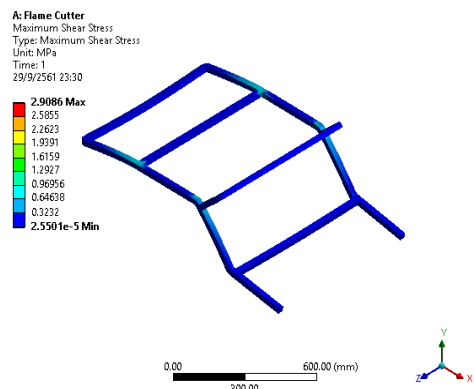
พื้นที่ ทดสอบ	ผู้ทดสอบ	ช่วงเวลา ทดสอบ	ทิศทาง การตัด
พื้นที่ปลูก	เกษตรกรบ้าน	ตัดใบข้าว	ตัดตาม
ข้าว 1 ไร่	นางออย	ช่วงเวลา	แนวแกน y
จำนวน	อ.เต่างอย	8.00 น -	โดยเดินตัด
10 แปลง	จ.สกลนคร	10.00 น.	จนสุดเขต
รวม 10 ไร่	จำนวน 1 ท่าน	จับเวลาใน	พื้นที่แล้ว
หว่านข้าว	อายุ 35 ปี	การตัด	วนกลับมา
โดยอายุ	1 ไร่	จนครบ	
ในการตัด		1 ไร่ ทำซ้ำ	
ใบข้าว		10 ครั้ง	
2 เดือน		รวม 10 ไร่	



ภาพที่ 7 แสดงค่าการเสียทรงรูปทั้งหมดของโครงสร้าง



ภาพที่ 8 แสดงค่าการเสียทรงรูปทั้งหมดของโครงสร้าง



ภาพที่ 9 แสดงค่า Maximum shear stress

3. ผลการวิจัย

3.1 วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง

ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องตัดใบข้าวด้วยระบบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยโครงสร้างทำมาจากอลูมิเนียม รับน้ำหนักจากตัวเครื่องต้นกำลัง และชุดใบมีดตัดใบข้าว โดยผลของการเสียรูปทรง (Total deformation) ของโครงสร้างเครื่องตัดใบข้าวเมื่อวิเคราะห์ด้วยระบบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แสดงในภาพที่ 7 และค่าความเค้นวอนมิสเชส (Equivalent von-mises stress) แสดงในภาพที่ 8 และความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum shear stress) แสดงในภาพที่ 9 โดยผลการทดลองวิเคราะห์ด้วยระบบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้งหมดนำมารวบรวมแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ชนิด	ผลลัพธ์
ค่าการเสียรูปทรง	0.13762 mm
ความเค้นวอนมิสเชส	5.1633 MPa
ความเค้นเฉือนสูงสุด	2.9086 MPa

3.2 วัดค่าการสั่นสะเทือน

ผลการวัดค่าการสั่นสะเทือนในแนวแกนนอนของชุดใบมีดเครื่องตัดใบข้าวโดยใช้การขับเคลื่อนด้วยโซ่เปรียบเทียบกับ การขับเคลื่อนชุดใบมีดตัดใบข้าวด้วยสายพานและการใช้เครื่องตัดหญ้าตัดใบข้าว โดยทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบ 250 rpm, 300 rpm, 350 rpm และ 400 rpm ค่าการสั่นสะเทือนที่ได้แสดงในตารางที่ 4 โดยจะมีค่าการสั่นสะเทือนจากใบมีดรถเกี่ยววนวดข้าว [5] นำมาเปรียบเทียบกับค่าการสั่นสะเทือนที่ได้จากการทดลองจริง ค่าการสั่นสะเทือนของใบมีดเครื่องตัดใบข้าวที่ได้จากการทดลองโดยเรียงลำดับจากน้อยที่สุดไปหามากที่สุด คือ ขับเคลื่อนด้วยโซ่มีค่าน้อยที่สุดลำดับถัดมาคือ ใช้เครื่องตัดหญ้าตัดใบข้าว และขับเคลื่อนด้วยสายพาน ตามลำดับและเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการสั่นสะเทือนจากรถเกี่ยววนวดข้าวพบว่าค่าการสั่นสะเทือนจากใบมีดรถเกี่ยววนวดข้าวมีค่ามากที่สุด กรณีที่นำมาเปรียบเทียบกับรถเกี่ยววนวดข้าว เนื่องจากได้ใช้การออกแบบชุดใบมีดตัดใบข้าวจากทฤษฎีการออกแบบใบมีดตัดต้นข้าวที่ความเร็วรอบเท่ากัน

ผลการวัดค่าการสั่นสะเทือนในแนวแกนตั้งของชุดใบมีดเครื่องตัดใบข้าวโดยใช้การขับเคลื่อนด้วยโซ่เปรียบเทียบกับ การขับเคลื่อนชุดใบมีดตัดใบข้าวด้วยสายพานและการใช้เครื่องตัดหญ้าตัดใบข้าว โดยทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบ 250 rpm, 300 rpm, 350 rpm และ 400 rpm ค่าการสั่นสะเทือนที่ได้ แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ค่าการสั่นสะเทือนในแนวแกนนอน

ความเร็วรอบ (rpm)	รถเกี่ยววนวดข้าว [5]	การสั่นสะเทือนในแนวแกนนอน (mm)		
		ขับเคลื่อนด้วยโซ่	เครื่องตัดหญ้า	ขับเคลื่อนด้วยสายพาน
250	2.05	2.25	2.81	3.78
300	4.06	3.52	3.92	4.85
350	6.19	4.75	5.13	5.61
400	13.44	9.85	10.38	11.24

ค่าการสั่นสะเทือนของใบมีดเครื่องตัดใบข้าวที่ได้จากการทดลองโดยเรียงลำดับจากน้อยที่สุดไปหามากที่สุด คือ ขับเคลื่อนด้วยโซ่มีค่าน้อยที่สุดลำดับถัดมาคือ ใช้เครื่องตัดหญ้าตัดใบข้าว และขับเคลื่อนด้วยสายพานตามลำดับ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการสั่นสะเทือนจากรถเกี่ยววนวดข้าวพบว่าค่าการสั่นสะเทือนจากใบมีดรถเกี่ยววนวดข้าวมีค่ามากที่สุด กรณีที่นำมาเปรียบเทียบกับรถเกี่ยววนวดข้าว เนื่องจากได้ใช้การออกแบบชุดใบมีดตัดใบข้าวจากทฤษฎีการออกแบบใบมีดตัดต้นข้าวที่ความเร็วรอบเท่ากัน

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการสันสะเทือนใน
แนวแกนนอนและในแนวแกนตั้งของชุดโบริมติดตัวของ
เครื่องตัดใบข้าวพบว่า ค่าการสันสะเทือนในแนวแกน
นอนมีค่าน้อยกว่าค่าการสันสะเทือนในแนวแกนตั้ง

ตารางที่ 5 ค่าการสันสะเทือนในแนวแกนตั้ง

ความเร็วรอบ (rpm)	รถเกี่ยว ขนาด ข้าว [5]	การสิ้นสะท้อนในแนวแกนตั้ง (mm)		
		ขับเคลื่อน ด้วยโซ่	เครื่อง ตัด หญ้า	ขับเคลื่อน ด้วย สายพาน
250	3.77	3.25	3.52	4.24
300	5.88	3.75	4.21	5.23
350	12.03	4.32	5.36	6.86
400	18.65	10.57	12.27	13.87

3.3 เวลาในการตัดใบข้าว

ผลการทดลองใช้เครื่องตัดใบข้าวขับเคลื่อนด้วยโซ่เปรียบเทียบกับใช้เครื่องตัดหญ้าตัดใบข้าวโดยใช้ความเร็วรอบ 350 rpm ไม่ได้ใช้การขับเคลื่อนด้วยสายพานมาทำการทดสอบเนื่องจากมีค่าการสั่นสะเทือนมาก ทำการตัดใบข้าวครั้งละ 1 ไร่ ทำซ้ำทั้งหมดจำนวน 10 ครั้ง รวมเป็น 10 ไร่ ให้เกษตรกรผู้ทำนาอายุ 35 ปี ทำการตัดใบข้าว โดยทำการตัดใบข้าวในช่วงเวลา 8.00 – 10.00 น. ทำการตัดวันละ 1 ไร่ เพื่อไม่ให้เกษตรกรผู้ทำนามีความเหนื่อยล้าซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้เตรียมพื้นที่ต้นข้าวมีอายุตั้งแต่การหว่านข้าวจนถึงเวลาตัดรวม 2 เดือน โดยทำการตัดโดยเดินเป็นเส้นตรงในแนวแกน y แล้ววนกลับมาเป็นแนวเส้นตรงอีกครั้งทำซ้ำจนครบจำนวน 1 ไร่ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 6 โดยการทดลองใช้เครื่องตัดใบข้าวขับเคลื่อนด้วยโซ่สามารถทำเวลาในการตัดใบข้าวได้เฉลี่ย 23.9 นาที/ไร่ และการใช้เครื่องตัด

หญ้าในการตัดใบข้าวสามารถทำเวลาในการตัดใบ
ข้าวได้เฉลี่ย 54.8 นาที/ไร่

ในส่วนของน้ำหนักของตัวเครื่องตัดใบข้าว เมื่อทำการชั่งน้ำหนักทั้งหมดพบว่า มีน้ำหนักเครื่องอยู่ที่ 9.10 กิโลกรัม และเมื่อชั่งน้ำหนักของเครื่องตัดหญ้าแบบสะพายป่าที่เกษตรกรนำมาใช้ในการตัดใบข้าวพบว่า มีน้ำหนักของเครื่องอยู่ที่ 10.20 กิโลกรัม

ตารางที่ 6 เวลาที่ใช้ในการตัดใบข้าว

ครั้งที่	เครื่องตัดใบข้าว	เครื่องตัดหญ้า
	เวลา 8.00 -10.00 น.	เวลา 8.00 -10.00 น.
	(นาทื/ไร่)	(นาทื/ไร่)
1	23	51
2	25	52
3	24	57
4	22	55
5	23	58
6	26	53
7	25	55
8	24	57
9	23	54
10	24	56
เฉลี่ย	23.9	54.8

4. อภิปรายผล

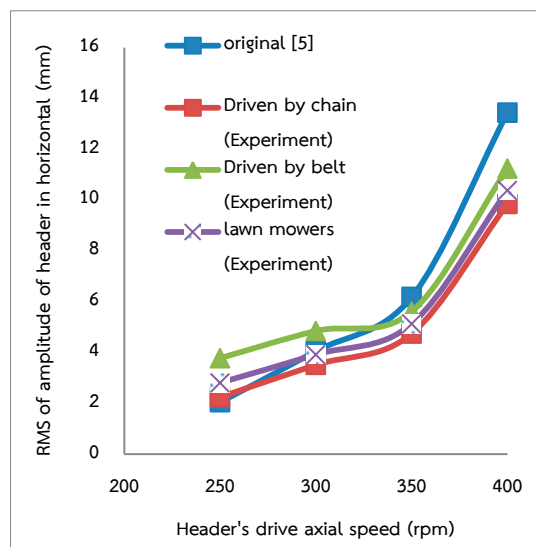
เมื่อได้ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องตัดใบข้าว พบว่า ค่าการเสียรูปทรง (Total Deformation) มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.13762 mm ซึ่งบริเวณที่เกิดการเสียรูปทรงสูงสุดอยู่บริเวณชุดขับเคลื่อนใบมีดตัด ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเครื่องตัดใบข้าว ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งถือได้ว่ามีค่าน้อยมากและเป็นส่วนที่รับการสั่นสะเทือนจากเครื่องตัดใบข้าวมากที่สุด การวิเคราะห์ค่าความเค้น von-mises stress (Equivalent von-mises stress) มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 5.1633 MPa ซึ่งจะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของโครงสร้างของเครื่องตัดใบข้าว ดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งค่านี้แสดงให้เห็นว่า

โครงสร้างของเครื่องมีความแข็งแรงสามารถรับแรงได้ดี และความเค้นสูงสุด (Maximum shear stress) ที่เกิดขึ้นมีค่า 2.9086 MPa ซึ่งมีค่าน้อยส่งผลต่อโครงสร้างทำให้เกิดความเสียหายได้น้อย ซึ่งจะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของโครงสร้างของเครื่องตัดใบข้าวเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 9

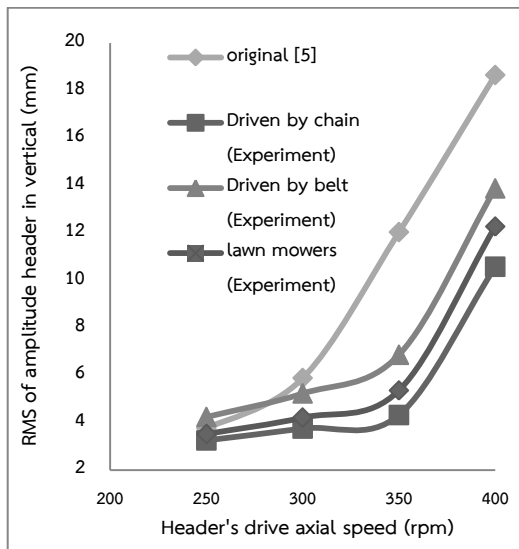
เมื่อได้ทำการทดลองตามแผนการทดลองที่กำหนดไว้ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดใบข้าวโดยใช้หน่วยการวัดรูทมีนสแควร์ (RMS) เมื่อทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนในแนวแกนนอนและใช้การขับเคลื่อนด้วยโซ่เปรียบเทียบกับ การขับเคลื่อนด้วยสายพานและนำมาเปรียบเทียบกับ การตัดใบข้าวด้วยเครื่องตัดหญ้า พบว่าค่าการสั่นสะเทือนในช่วงความเร็วรอบ 250–300 rpm มีลักษณะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นและชุดใบมีดตัดใบข้าวสามารถตัดใบข้าวได้ขาดแต่ยังคงเหลือใบข้าวอยู่บ้างเล็กน้อย และที่ความเร็วรอบ 350 rpm ชุดใบมีดตัดใบข้าวสามารถตัดใบข้าวขาด ได้หมดค่าการสั่นสะเทือนมีค่าเพิ่มขึ้น และที่ความเร็วรอบการตัด 400 rpm ชุดใบมีดตัดใบข้าวสามารถตัดใบข้าวขาดได้หมดเช่นกัน แต่การสั่นสะเทือนจะมีค่าสูงขึ้น ค่าการสั่นสะเทือนเมื่อขับเคลื่อนด้วยโซ่มีค่าน้อยกว่าค่าการสั่นสะเทือนเมื่อขับเคลื่อนด้วยสายพาน และเมื่อนำค่าการสั่นสะเทือนมาเปรียบเทียบกับ การใช้เครื่องตัดหญ้าซึ่งเป็นวิธีการแบบดั้งเดิมที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวนิยมนำมาใช้ในการตัดใบข้าวพบว่า ค่าการสั่นสะเทือน เมื่อขับเคลื่อนเครื่องตัดใบข้าวด้วยโซ่มีค่าน้อยกว่าค่าการสั่นสะเทือนเมื่อใช้เครื่องตัดหญ้าตัดใบข้าวและค่าการสั่นสะเทือนเมื่อขับเคลื่อนเครื่องตัดใบข้าวด้วยสายพานมีค่ามากกว่าค่าการสั่นสะเทือนเมื่อใช้เครื่องตัดหญ้าตัดใบข้าวโดยแสดงให้เห็นชัดเจนในภาพที่ 10 และเมื่อได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดใบข้าว โดยใช้หน่วยการวัดรูทมีนสแควร์ (RMS) เมื่อทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนในแนวแกนตั้งและใช้การ

ขับเคลื่อนด้วยโซ่เปรียบเทียบกับ การขับเคลื่อนด้วยสายพานแล้วนำมาเปรียบเทียบกับ การตัดใบข้าวด้วยวิธีการแบบเดิมของเกษตรกร คือ ใช้เครื่องตัดหญ้าพบว่า ค่าการสั่นสะเทือนในช่วงความเร็วรอบ 250 rpm มีค่าใกล้เคียงกันมาก ลักษณะการใช้งานเมื่อนำมาตัดใบข้าวยังคงมีใบข้าวเหลืออยู่เล็กน้อย และที่การทดสอบที่ความเร็วรอบ 300 rpm ค่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นและชุดใบมีดตัดใบข้าวสามารถตัดใบข้าวได้ขาดแต่ยังคงเหลือใบข้าวอยู่บ้างเล็กน้อย และที่ความเร็วรอบ 350 rpm ชุดใบมีดตัดใบข้าวสามารถตัดใบข้าวขาดได้หมด

ค่าการสั่นสะเทือนมีลักษณะเพิ่มขึ้น และที่ความเร็วรอบการตัด 400 rpm ชุดใบมีดตัดใบข้าวสามารถตัดใบข้าวขาดได้หมดเช่นกัน แต่การสั่นสะเทือนของชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดใบข้าวจะมีค่ามากกว่าค่าการสั่นสะเทือนของชุดใบมีดตัดใบข้าว เมื่อขับเคลื่อนด้วยโซ่มีค่าน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการสั่นสะเทือนของชุดใบมีดตัดใบข้าวเมื่อขับเคลื่อนด้วยสายพาน และเมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้เครื่องตัดหญ้าซึ่งเป็นวิธีการแบบดั้งเดิมที่เกษตรกร



ภาพที่ 10 ความเร็วรอบกับค่าการสั่นสะเทือนในแนวแกนนอนของชุดใบมีดตัดใบข้าว



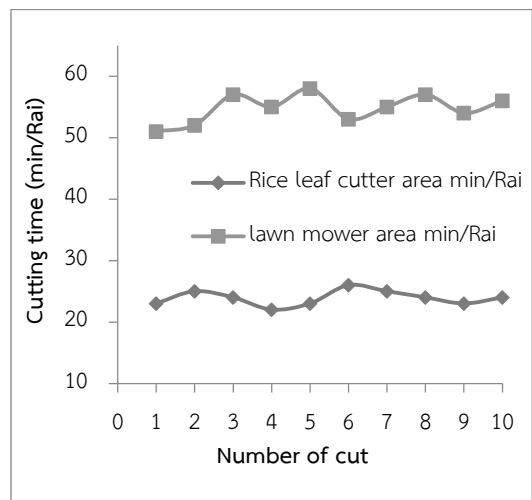
ภาพที่ 11 ความเร็วรอบกับค่าการสั่นสะเทือนในแนวแกนตั้งของชุดใบมีดตัดใบข้าว

ผู้ปลูกข้าวนิยมนำมาใช้ในการตัดใบข้าวพบว่า ค่าการสั่นสะเทือนเมื่อขับเคลื่อนเครื่องตัดใบข้าวด้วยโซ่มีค่าน้อยกว่าค่าการสั่นสะเทือนเมื่อใช้เครื่องตัดหญ้าตัดใบข้าวและค่าการสั่นสะเทือนเมื่อขับเคลื่อนเครื่องตัดใบข้าวด้วยสายพานมีค่ามากกว่าค่าการสั่นสะเทือนเมื่อใช้เครื่องตัดหญ้าตัดใบข้าวและเมื่อเปรียบเทียบค่า การสั่นสะเทือนกับรถเกี่ยวรวงข้าว [5] พบว่าค่าการสั่นสะเทือนของการทดลองทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า ดังแสดงในภาพที่ 11 และถ้าเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนของชุดใบมีดตัดของเครื่องตัดใบข้าว ในแนวนอนจะมีค่าน้อยกว่าค่าการสั่นสะเทือนของชุดใบมีดตัดของเครื่องตัดใบข้าวในแนวแกนตั้ง

เวลาที่ใช้ในการทดสอบตัดใบข้าว แสดงในภาพที่ 12 แสดงเวลาในการตัดใบข้าวจำนวน 1 ไร่ โดยทำการทดสอบซ้ำ 10 ครั้ง รวมเป็นพื้นที่ 10 ไร่ พบว่าค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการตัดใบข้าวอยู่ที่ 23.90 นาที/ไร่

และเมื่อใช้เครื่องตัดหญ้าทดสอบตัดใบข้าว เวลาโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 54.80 นาที/ไร่ แสดงให้เห็นว่าผลต่างของเวลาของการตัดใบข้าวด้วยวิธีการทั้ง 2 แบบต่างกันถึง 30.90 นาที/ไร่ เนื่องมาจากการออกแบบโครงสร้างเครื่องตัดใบข้าวสามารถทำการตัดใบข้าวกินพื้นที่ได้บริเวณมากกว่าการใช้เครื่องตัดหญ้า และทำการตัดได้สะดวกเพียงแค่เดินหน้าตรงไปเท่านั้น ต่างกับการใช้เครื่องตัดหญ้าตัดใบข้าวต้องทำการเหวี่ยงเครื่องตัดหญ้าไปมาซ้ายและขวา ทำให้เสียเวลาจึงทำให้เกษตรกรสามารถประหยัดเวลา และแรงงานในการตัดใบข้าวได้อย่างมาก

ในทางเศรษฐศาสตร์ ตารางที่ 7 แสดงต้นทุนในการผลิตข้าวโดยอ้างอิงข้อมูลต้นทุนการผลิตข้าวจากกรมการค้าต่างประเทศกระทรวงพาณิชย์ วันที่ 21 มกราคม 2559 [12] จะเห็นได้ว่าต้นทุนในการทำนาแบบไม่ตัดใบข้าวคิดเฉพาะต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมดินเป็นเงิน 1,170 บาท/ไร่ ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการทำนาโดยใช้เครื่องตัดใบข้าวค่าใช้จ่ายเป็น 530 บาท/ไร่ สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนในการทำนาได้ถึง 640 บาท/ไร่



ภาพที่ 12 เปรียบเทียบเวลาในการตัดใบข้าว

ตารางที่ 7 ต้นทุนในการทำงาน

ขั้นตอน การเตรียมดิน	ไม่ตัด ใบข้าว (บาท/ไร่)	ตัดใบข้าว (บาท/ไร่)
1. ฉีดฆ่าหญ้า	300	300
2. ฉีดฆ่าหญ้าระยะ 8-12 วัน		ตัดใบข้าว แทนการ ฆ่าหญ้า
- ค่าแรง + ค่ายา	260	-
3. ฉีดยากำจัดแมลง/ ยาฆ่าหญ้า อายุข้าว 35-40 วัน		ตัดใบข้าว แทนการ ฆ่าหญ้า
- ค่าแรง + ค่ายา	310	-
4. ค่าเชื้อเพลิง	300	230
รวม	1,170	530
ลดค่าใช้จ่ายได้		640

5. สรุปผล

การพัฒนาชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดของเครื่องตัดใบข้าวได้มีการออกแบบส่วนของโครงสร้างด้วยโปรแกรมออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์และได้วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรง และจุดที่ต้องปรับปรุงแก้ไขก่อนทำการสร้างจริงเป็นการลดเวลา และประหยัดต้นทุนในการสร้างโดยค่าการเสียรูปทรง (Total deformation) มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.13762 mm ซึ่งบริเวณที่เกิดการเสียรูปทรงสูงสุด อยู่บริเวณชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดซึ่งอยู่ด้านหน้าของเครื่องตัดใบข้าว ซึ่งถือได้ว่ามีค่าน้อยมาก และค่าความเค้นอนมิสเสส (Equivalent von-mises stress) มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 5.1633 MPa ซึ่งจะเกิดขึ้น

บริเวณรอยต่อของโครงสร้างและความเค้นสูงสุด (Maximum shear stress) ที่เกิดขึ้นมีค่า 2.9086 MPa ซึ่งจะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของโครงสร้างของเครื่องตัดใบข้าวเช่นกันซึ่งค่าเหล่านี้ต้องทำการวิเคราะห์ก่อนสร้างจริงเพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นเพื่อทำการปรับปรุงแบบและแก้ไขให้โครงสร้างแข็งแรงขึ้นเพื่อลดการสิ้นเปลือง

การพัฒนาชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดของเครื่องตัดใบข้าว เพื่อลดการสิ้นเปลืองโดยยึดแนวทางและหลักการอ้างอิงการสร้างและออกแบบจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรถเกี่ยวนาข้าว เพื่อทดสอบค่าการสิ้นเปลืองของชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดของเครื่องตัดใบข้าวที่ออกแบบพบว่า ความเร็วรอบที่เหมาะสมในการทดลองในครั้งนี้อยู่ที่ 350 rpm เนื่องจากสามารถตัดใบข้าวได้ขาดหมดและพบว่าค่าการสิ้นเปลืองในแนวแกนนอน เมื่อใช้การขับเคลื่อนด้วยระบบโซ่มีค่าการสิ้นเปลืองน้อยกว่าใช้การขับเคลื่อนด้วยสายพานและมีค่าการสิ้นเปลืองน้อยกว่าการใช้เครื่องตัดหญ้าแบบดั้งเดิม ค่าการสิ้นเปลืองของชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดของเครื่องตัดใบข้าวเมื่อขับเคลื่อนด้วยโซ่เปรียบเทียบกับค่าการสิ้นเปลืองเมื่อขับเคลื่อนด้วยสายพานลดลง 15.33 % และเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องตัดหญาค่าการสิ้นเปลืองมีค่าลดลงคิดเป็น 7.44 % และค่าการสิ้นเปลืองในแนวแกนตั้งเมื่อใช้การขับเคลื่อนด้วยระบบโซ่มีค่าการสิ้นเปลืองน้อยกว่าใช้การขับเคลื่อนด้วยสายพาน โดยค่าการสิ้นเปลืองเมื่อขับเคลื่อนด้วยโซ่เปรียบเทียบกับค่าการสิ้นเปลืองเมื่อขับเคลื่อนด้วยสายพานลดลง 37.03 % และเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องตัดหญาค่าการสิ้นเปลืองมีค่าลดลงคิดเป็น 19.40 % ค่าการสิ้นเปลืองที่วัดได้เปรียบเทียบกับค่าการสิ้นเปลืองของรถเกี่ยวนาข้าวมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือมีค่าน้อยกว่าการใช้ระบบ

ขับเคลื่อนชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดของเครื่องตัดใบข้าวด้วยโซ่มีค่าการสั่นสะเทือนน้อยกว่าใช้สายพานเนื่องจากสายพานจะเกิดการลื่นไถลในขณะทำงานทำให้เกิดการสั่นของสายพานทำให้ค่าการสั่นสะเทือนสูงกว่าการใช้โซ่ และจากตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนในการทำนาแบบเดิมไม่ตัดใบข้าวกับต้นทุนการทำนาโดยใช้เครื่องตัดใบข้าวสามารถลดต้นทุนในการผลิตข้าวได้ถึง 640 บาท/ไร่ และน้ำหนักของเครื่องตัดใบข้าวที่ได้ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นมานี้ น้ำหนักเบากว่าเครื่องตัดหญ้าแบบสพายู่น้ำหนักถึง 1.10 กิโลกรัม สามารถลดน้ำหนักลงมาได้คิดเป็น 10.78%

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้ประสบผลสำเร็จได้ด้วยดีด้วยดีนั้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับบุคลากร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ. 2560 ขอบพระคุณกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าว บ้านนางอย อำเภอนายูง จังหวัดสกลนครที่ให้เข้าไปศึกษาและเก็บข้อมูลพร้อมทั้งร่วมเสนอแนะแนวทางในการพัฒนา ขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ช่วยสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย และท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนบุคลากรในการให้คำปรึกษาและดำเนินการวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Nattadon P., Atichit W., Chatchai B., et al. Comparison of Bio-Methane Gas Wobbe Index in Different Animal Manure Substrate. *Energy Procedia* 2017; 138:273-77.
- [2] Abdalla A., Misra AN., El- Azeem K. M. Salem. Effect of leaf cutting on physiological traits and yield of two rice cultivars. *African Journal of Plant Science* 2008; 12(2):147-50.
- [3] Konboon Y., Sripodok S., Rattannasriwong S. Rice leaf cutting in Dry-seed broadcastingrice. *Proceeding of Rice and temperate cereal crops annual conference*; Bangkok (Thailand); 2007. P.112-8.
- [4] Baerdemaeker DJ., Saeys W. *Advanced Control of Combine Harvesters*. KU Leuven, Department of Biosystems, Division MeBioS Kasteelpark Arenberg 30. B3001 Heverlee, Belgium; 2014.
- [5] Somchai C. Development of a Cutter Bar Driver for Reduction of Vibration for a Rice Combine Harvester. *KKU Research Journal* 2010; 15(7):572-80
- [6] Inoue E., Fukushima T., Hirai Y., et al. Wavelet analysis of the vibration acceleration for field machines. *Sci. Bull. Fac. Agr. Kyushu Univ* 2003; 57(2):169-76.
- [7] Takashi F., Eiji I., Muneshi M., et al. Vibration Characteristics and Modeling of Knife Driving System of Combine Harvester (Part 1). *Journal of JSAM* 2006; 68(5):52-5

- [8] Takashi F , Eiji I , Muneshi M., et al. Collision Vibration Characteristics with Interspace in Knife Driving System of Combine Harvester. EAEF 2012; 5(3):115-120.
- [9] Inoue E., Marutani I., Mitsuoka M., et al. Mechanical model on the driving mechanism of combine's cutting section and verification. Journal of JSAM 2004; 66(2):61-67.
- [10] Inoue E. Time series analysis of acceleration of cutting section of Japanese combines (in Japanese). Journal of Kyushu Branch of JSAM 2001; 50:31-36
- [11] Chinsuwan W., Pongjan N., Chuan-Udom S., et al. Effects of Reel Index on Gathering Loss of Rice Combine Harvester. Thai Society of Agricultural Engineering Journal 2004; 11(1):7-9.
- [12] ต้นทุนการผลิตข้าวของชาวนา กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ [อินเทอร์เน็ต]. [21 มกราคม 2016; เข้าถึงเมื่อ 10 กรกฎาคม 2018]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thairiceinfo.go.th>

Antioxidant and Anticancer Activities of the Extract from *Tiliacora triandra* Diels. in Nakhonsawan Province

Duangsuree Sanseera^{1*}, Boonsom Liawruangrath²,
Saisunee Liawruangrath³

¹Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok 10120, Thailand.

²Department of Pharmaceutical Science, Faculty of Pharmacy, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

³Material Science Research Center and Department of Chemistry, Faculty of Science, Science and Technology Institute, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

* Corresponding author. E-mail: vanhappydee@gmail.com

ABSTRACT

In this research, antioxidant and anticancer activities including quantity of the extract from *Tiliacora triandra* Diels. In Nakhonsawan province from Mueang District, Ta Khli District, Banphot Phisai District, Kao Liao District and Lat Yao District were studied. The aerial parts of *T. triandra* were macerated with hexane, chloroform and methanol, sequentially. The antioxidant and anticancer activities of the crude extract of this plant were determined. The percentage yields of the crude extract were calculated based on a dry weight. The methanol extract of this plant from Kao Liao District gave the highest percentage yields. The antioxidant activity of the crude extract of this plant were determined using ABTS and DPPH methods. The hexane extract of the plant from Banphot Phisai District exhibited the highest antioxidant activity (ABTS) with an IC₅₀ of 2.94 mg/mL. The methanol extract of the plant from Ta Khli District exhibited the highest antioxidant activity (DPPH) with an IC₅₀ of 0.36 mg/mL. The anticancer activity of the plant extracts were performed using the resazurin microplate assay (REMA). Only hexane extract of this plant from Mueang District showed anticancer activity against of two cancer cell lines: KB-Oral cavity cancer and MCF7-Breast cancer with the IC₅₀ values of 41.14 and 38.26 µg/mL, respectively.

Keywords: Antioxidant Activity, Anticancer Activity, *Tiliacora triandra* Diels.

1. INTRODUCTION

Natural products are well known as sources for drugs in several human ailments including cancers for example, vincristine and innotecan etc. [1]. *Tiliacora triandra* Diels, one of the medicinal plants is known in Thai as Ya Nang. Its root has been widely used as antipyretic agent for a fever and also prescribed in the preparation of antimalarial in folk medicine [2].

T. triandra showed antimalarial activity against *Plasmodium falciparum* in vitro [3]. There are no reports on antioxidant and anticancer activities including quantity of the extract from *T. triandra*. This is the first report on antioxidant and anticancer activities including quantity of the extract from *T. triandra*. In Nakhonsawan Province.

Received 07-09-2018

Revised 21-10-2018

Accepted 26-10-2018

2. MATERIAL AND METHODS

Plant Materials :

Aerial parts of *Tiliacora triandra* Diels. in Nakhonsawan province

Preparation of Plant Extracts :

The aerial parts of *Tiliacora triandra* Diels. were cleaned and dried in a hot air oven at 40°C for 24 h. The dried plant was finely ground. Then, the dried plant powders were extracted successively with hexane, chloroform, and methanol, respectively for three days. For each extraction step, the solvent was removed in vacuo to give crude extract.

Determination of Antioxidant Activity

DPPH radical scavenging activity :

The antioxidant activity of the extracts was determined by the DPPH radical scavenging assay [4] with some modifications. The DPPH 6.6 mg/mL (in ethanol) was prepared and stored in the dark before use. Various concentrations of Trolox standard solutions and the sample solutions were prepared using ethanol as solvent. For the DPPH assay, added 100 μ L of the sample (concentration of 5 mg/mL), 0.3 mL of absolute ethanol and 3.0 mL of DPPH solution were mixed. The absorbance was determined at 540 nm after incubation for 5 min. at room temperature. All determinations were carried out at least three times, and in triplicate. The percentage inhibition was calculated by the following formula (Equation 1) :

$$\% \text{ inhibition} = (\text{Abs control} - \text{Abs sample}) \times \frac{100}{\text{Abs control}}$$

A linear regression ($R^2 = 0.9995$) of standard Trolox (Figure. 1) was also used to calculate the radical scavenging capacity.

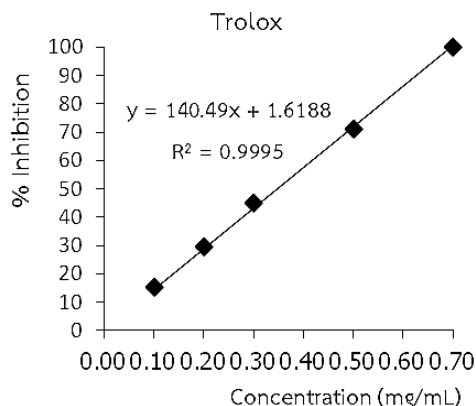


Figure 1. Calibration plot for DPPH assay

ABTS•+ radical scavenging activity :

The antioxidant activity of the extract was performed using the ABTS radical cation scavenging assay and [5] compared with the Trolox standard. For the ABTS assay, 20 μ L of the extract (concentration of 5 mg/mL) was mixed with 2.0 mL of diluted ABTS solution. The absorbance (0.025 ± 0.700) was determined at 734 nm after incubation for 5 min. at room temperature. All determinations were carried out at least three times, and in triplicate. The percentage inhibition was calculated by the following formula (Equation 1) A linear regression ($R^2 = 0.9992$) of standard Trolox (Figure. 2) was also used to calculate the radical scavenging capacity.

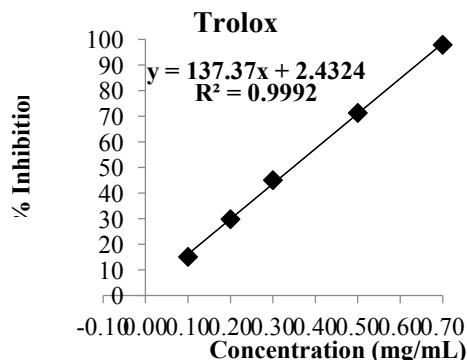


Figure 2. Calibration plot for ABTS assay

Determination of Anticancer Activity

The anticancer activity of the extracts was assayed using three cancerous human cell lines: KB cell line (epidermoid carcinoma of oral cavity, ATCC CCL-17), MCF 7 cell line (breast adenocarcinoma, ATCC HTB-22), and NCI-H 187 cell line (small cell lung carcinoma, ATCC CRL-5804). This assay was performed using the method described by Brien *et al.*, [6] with some modifications. In brief, cells at a logarithmic growth phase were harvested and diluted in fresh medium to 7×10^4 cells/mL for KB and 9×10^4 cells/mL for MCF-7 and NCI-H 187. Successively, 5 μ L of each test sample (the hexane, chloroform, and methanol extracts) was diluted in 5% DMSO. Then, 45 μ L of cell suspension were added to 384-well plates and incubated at 37°C in 5% CO₂ incubator. After the incubation period (3 days for KB and MCF-7; 5 days for NCI-H187), 12.5 μ L of 62.5 μ g/mL Resazurin solution was added to each well, and the plates were then incubated at 37°C for 4 hours. Fluorescence signal was measured using a SpectraMax M5 multidetection microplate reader at the excitation and emission wavelengths of 530 nm and 590 nm, respectively. The percentage inhibition of the cell growth was calculated by the following equation (Equation 2) :

$$\% \text{ Inhibition} = [1 - (\text{FUT} / \text{FUC})] \times 100$$

where FUT and FUC are the mean fluorescent unit from treated and untreated conditions, respectively. IC₅₀ values were derived from dose-response curves using six concentrations of twofold serially diluted samples, by the SOFTMax Pro software (Molecular device). Ellipticine and 0.5% DMSO were used as positive and negative controls, respectively.

3. RESULT AND DISCUSSION

The percentage yields of the crude extracts were calculated based on a dry weight. The hexane, chloroform and methanol extract of the plant from Mueang District gave the percentage yields (w/w) at 35%, 58% and 67% , respectively. The extracts of this plant from Ta Khli District gave the percentage yields are as follow: the hexane extract gave the percentage yields (w/w) 28 %, the chloroform extract gave the percentage yields (w/w) 51% and the methanol extract gave the percentage yields (w/w) 72 %, respectively. The extracts of this plant from Banphot Phisai District gave the percentage yields are as follow: the hexane extract gave the percentage yields (w/w) 31 %, the chloroform extract gave the percentage yields (w/w) 44% and the methanol extract gave the percentage yields 72% (w/w), respectively. The extracts of this plant from Kao Liao District gave the percentage yields are as follow: the hexane extract gave the percentage yields (w/w) 29 %, the chloroform extract gave the percentage yields (w/w) 57% and the methanol extract gave the percentage yields (w/w) 77 %, respectively. The extracts of this plant from Lat Yao District gave the percentage yields are as follow: the hexane extract gave the percentage yields (w/w) 27 %, the chloroform extract gave the percentage yields (w/w) 35 % and the methanol extract gave the percentage yields (w/w) 59 %, respectively. The results are shown in Table 1.

Antioxidant Activity:

In the ABTS assay, all three plant extract (hexane, chloroform and methanol) from Mueang District, Ta Khli District and Kao Liao District were not exhibited the antioxidant activity (ABTS) with an IC₅₀.

Only the hexane extracts of the plant from Banphot Phisai District and Lat Yao District exhibited the antioxidant activity (ABTS) with an IC_{50} 2.94 and 2.97 mg/mL, respectively. For DPPH assay, the hexane and methanol extract of the plant from Mueang District exhibited the antioxidant activity (DPPH) with an IC_{50} 4.41 and 0.39 mg/mL, respectively. Only the methanol extract of the plant from Ta Khli District exhibited the antioxidant activity (DPPH) with an IC_{50} 0.36 mg/mL. The hexane and chloroform extract of the plant from Banphot Phisai District exhibited the antioxidant activity (DPPH) with an IC_{50} 4.28 and 3.33 mg/mL, respectively. Only the chloroform extract of the plant from Kao Liao District exhibited the antioxidant activity (DPPH) with an IC_{50} 3.87 mg/mL. Only the hexane extract of the plant from Lat Yao District exhibited the antioxidant activity (DPPH) with an IC_{50} 4.27 mg/mL. The results are shown in Table 1.

Anticancer Activity:

The anticancer activity of the extract of the plant were performed using the resazurin microplate assay (REMA). Only hexane extract of this plant from Mueang District showed anticancer activity against of two cancer cell lines: KB-Oral cavity cancer and MCF7-Breast cancer with the IC_{50} values of 41.14 and 38.26 μ g/mL, respectively. The results are shown in Table 2.

Table 1. Antioxidant activity and % yield of the extracts

Sample	Antioxidant activities,		% Yield (w/w)
	ABTS	DPPH	
1. Mueang District			
Hexane extract	-	4.41	35 %
Chloroform extract	-	-	58 %
Methanol extract	-	0.39	67 %
2. Ta Khli District			
Hexane extract	-	-	28 %
Chloroform extract	-	-	51 %
Methanol extract	-	0.36	72 %
3. Banphot Phisai			
Hexane extract	2.94	4.28	31 %
Chloroform extract	-	3.33	44 %
Methanol extract	-	-	72 %
4. Kao Liao District			
Hexane extract	-	-	29 %
Chloroform extract	-	3.87	57 %
Methanol extract	-	-	77 %
5. Lat Yao District			
Hexane extract	2.97	4.27	27 %
Chloroform extract	-	-	35 %
Methanol extract	-	-	59 %
6. Trolox	0.35	0.34	

Trolox was used as a positive control.

IC_{50} is inhibition by 50%.

- is mean of the extracts exhibited antioxidant activity but can not calculate to IC_{50}

*Results from three determinations

Table 2. Anticancer activity of the extracts

Sample	KB-Oral cavity cancer		MCF7-Breast cancer		NCI-H187-Small cell lung cancer	
	Activity	IC ₅₀ * (µg/ml)	Activity	IC ₅₀ * (µg/ml)	Activity	IC ₅₀ * (µg/ml)
Hexane extract						
1. Mueang District	active	41.14	active	38.26	Inactive	-
2. Ta Khli District	Inactive	-	Inactive	-	Inactive	-
3. Banphot Phisai District	Inactive	-	Inactive	-	Inactive	-
4. Kao Liao District	Inactive	-	Inactive	-	Inactive	-
5. Lat Yao District	Inactive	-	Inactive	-	Inactive	-
Chloroform extract						
1. Mueang District	Inactive	-	Inactive	-	Inactive	-
2. Ta Khli District	Inactive	-	Inactive	-	Inactive	-
3. Banphot Phisai District	Inactive	-	Inactive	-	Inactive	-
4. Kao Liao District	Inactive	-	Inactive	-	Inactive	-
5. Lat Yao District	Inactive	-	Inactive	-	Inactive	-
Methanol extract						
1. Mueang District	Inactive	-	Inactive	-	Inactive	-
2. Ta Khli District	Inactive	-	Inactive	-	Inactive	-
3. Banphot Phisai District	Inactive	-	Inactive	-	Inactive	-
4. Kao Liao District	Inactive	-	Inactive	-	Inactive	-
5. Lat Yao District	Inactive	-	Inactive	-	Inactive	-
Ellipticine	active	1.20				
Doxorubicin	active	0.68	active	6.64	active	0.11
Tamoxifen			active	8.23		

Ellipticine, Doxorubicin and Tamoxifen were used as positive control.

IC₅₀ is inhibition of cell growth by 50%.

- is mean of the extracts exhibited anticancer activity but

can not calculate to IC₅₀

*Results from three determinations

For discussion, The hexane, chloroform and methanol extract of this plant exhibited antioxidant activity using the DPPH assay. Only hexane extract of this plant showed antioxidant activity using the ABTS assay. As the result was described by Phadungkit *et al.*, [7] exhibited the 95 % ethanol extract of *Tiliacora triandra* Diels also showed antioxidant activity using the DPPH assay It showed high antioxidant activity with the EC₅₀ values at concentrations of 12.69 ± 1.02 µg/mL.

4. CONCLUSION

In conclusion, The methanol extracts of this plant from Kao Liao District gave the highest percentage yields. The hexane extract of the plant from Banphot Phisai District exhibited the highest antioxidant activity (ABTS) with an IC₅₀ of 2.94 mg/mL. The methanol extract of the plant from Ta Khli District exhibited the highest antioxidant activity (DPPH) with an IC₅₀ of 0.36 mg/mL. Only hexane extract of this plant from Mueang District showed anticancer activity against of two cancer

cell lines: KB-Oral cavity cancer and MCF7-Breast cancer with the IC₅₀ values of 41.14 and 36.28 µg/mL, respectively.

5. ACKNOWLEDGEMENT

We would like to express our sincere thanks to the Office of the Higher Education Commission : Higher Education Research Promotion : National Research Universities, Thailand, for financial support. We also would like to thank the Rajamangala University of Technology Krungthep for support.

6. REFERENCES

- [1] Balandrin MF., Kinghorn AD., Farnsworth NR. Plant-derived natural products in drug discovery and development: an overview. In Human Medicinal Agents from Plants. Edited by Kinghorn AD, Balandrin MF. North Carolina, USA : Oxford University Press USA; 1993.
- [2] Fumio I., Supanee D., Naoko F., et al. Chemical and biological studies on some Thai medicinal plants. J Sci Soc 1990; 16:25-31.
- [3] Pavanand K., Webster HK., Yongvanitchit K. et al. Antimalarial activity of *Tiliacora triandra* diels against *Plasmodium falciparum* in vitro. Phytotherapy Research 1989; 3:215-7.
- [4] Brand-Williams W., Cuvelier ME., Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensmittel-Wissenschaft u-Technol 1995; 28:25-30.
- [5] Roberta R., Nicoletta P., Anna P., et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. J Free Rad Biol Med 1999; 26:1231-7.
- [6] Brien JO., Wilson I., Orton T. et al. Investigation of the alamar blue (resazurin) fluorescent dye for the assessment of mammalian cell cytotoxicity. Eur J Biochem 2000; 267:5421-6.
- [7] Phadungkit M., Somdee T., Kangsadalampai K. Phytochemical screening, antioxidant and antimutagenic activities of selected Thai edible plant extracts. J Med Plants Res 2012; 6:662-6.

ประสิทธิภาพของแบคทีเรียสายพันธุ์ *Streptococcus thermophilus* ในการผลิตสารคล้าย
แบคเทอริโอซินเพื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรค

Efficiency of bacteria strain *Streptococcus thermophilus* for producing
bacteriocin-like substance to inhibit the pathogenic bacteria growth

ณัฐวุฒิ มีศิลป์^{1*}, ณัฐวุฒิ สร้อยพิมาย¹, วรพงษ์ ครุสอนดี¹, รัตนชัย เทตสันเทียะ¹
Nutthawut meesilp^{1*}, Nattawut sroiphimai¹, Woraphong khrusondi¹
Rattanachai thetsanthia¹

¹ สาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹ Department of Applied Biology, Faculty of Science and Liberal Art, Rajamangala University of
Technology Isan, Muang Nakhon Ratchasima, Thailand 30000

*Corresponding author. E-mail: nutthawut.me@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

แบคเทอริโอซินเป็นสารที่สร้างจากเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียกรดแลคติก (lactic acid bacteria) สารนี้สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคในทางเดินอาหารของมนุษย์บางชนิด เช่น *Salmonella typhimurium* และ *Staphylococcus aureus* เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความสามารถของแบคทีเรียกรดแลคติกสายพันธุ์ *S. thermophilus* ที่พบในผลิตภัณฑ์นมหมักทางการค้า ในการสร้างสารคล้ายแบคเทอริโอซินเพื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคลายพันธุ์ดังกล่าว โดยนำผลิตภัณฑ์นมหมักที่ถูกผลิตด้วยแบคทีเรีย *S. thermophilus* มาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารแข็ง deMan Rogosa Sharp (MRS) จากนั้นนำแบคทีเรียบริสุทธิ์มาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารเหลว MRS (MRS broth) และนํ้านม UHT เพื่อตรวจสอบลักษณะการเจริญและการสร้างสารคล้ายแบคเทอริโอซินยับยั้งแบคทีเรีย *S. typhimurium* และ *S. aureus* ด้วยวิธี Agar well diffusion ผลการทดลองพบว่า *S. thermophilus* ที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารเหลว MRS มีการเจริญของแบคทีเรีย (log 10.0 cfu/ml) สูงกว่านํ้านม UHT (log 9.0 cfu/ml) ที่ 24 ชั่วโมง หลังการเพาะเลี้ยงแต่พบค่ากรด-ด่างมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างรวดเร็วโดยมีค่าเป็นกรดสูงเท่ากับ 4.0 เมื่อ *S. thermophilus* เจริญในนํ้านม UHT สำหรับการสร้างสารคล้ายแบคเทอริโอซินจาก *S. thermophilus* ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยนํ้านม UHT (2 ชั่วโมง) เกิดขึ้นได้เร็วกว่าในอาหารเหลว MRS (10 ชั่วโมง) ซึ่งสารนี้สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรค *S. aureus* โดยเฉลี่ยได้มากกว่า *S. typhimurium* โดยพบค่ากิจกรรมการยับยั้งสูงสุดของสารคือ 200 AU/ml

คำสำคัญ: แบคเทอริโอซิน, แบคทีเรียกรดแลคติก, *Streptococcus thermophilus*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*

Received 24-08-2018

Revised 12-11-2018

Accepted 15-11-2018

ABSTRACT

Bacteriocin is synthesized from microorganisms, especially lactic acid bacteria. This substance can inhibit some foodborne pathogenic bacteria in human such as *Salmonella typhimurium* and *Staphylococcus aureus*. Thus, this research aims to estimate the ability of lactic acid bacteria strain *S. thermophilus* found in commercial fermented milk product to construct bacteriocin-like substance for inhibiting pathogenic bacteria growth. Fermented milk produced with *S. thermophilus* was cultured the bacteria with deMan Rogosa Sharp (MRS) medium. Pure culture was established its growth and bacteriocin-like substance using MRS broth and UHT milk. The activity of this substance to inhibit pathogenic bacteria *S. typhimurium* and *S. aureus* was measured by agar well diffusion method. The results stated that *S. thermophilus* cultured with MRS broth higher grew (log 10.0 cfu/ml) than UHT milk (log 9.0 cfu/ml) at 24 hours after incubation. On the other hand, pH value was rapidly decreased as high acid pH 4.0 when *S. thermophilus* was cultured with UHT milk for 24 hours after incubation. Bacteriocin-like substance produced by *S. thermophilus* in UHT milk (2 hours) was rapidly detected more than MRS broth (10 hours). Average activity of this substance to inhibit *S. aureus* was higher than *S. typhimurium* by showing the highest activity as 200 AU/ml.

Keywords: Bacteriocin, Lactic acid bacteria, *Streptococcus thermophilus*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*

1. บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจในอาหารที่ผลิตจากธรรมชาติและผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากสารเคมีที่ใช้ถนอมอาหารหรือเพื่อปรับปรุงรสชาติ กลิ่นสี ของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะสารเคมีที่ใช้ในการถนอมอาหาร ได้แก่ สารในกลุ่มกรดอินทรีย์ เช่น อะซิติก แลคติก เบนโซอิก เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้มีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และกรดซอลบิกยังสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์แบคทีเรียได้เป็นอย่างดี [1] ดังนั้นจึงทำให้เกิดความสนใจที่จะศึกษาค้นหาสารกันเสียจากธรรมชาติแทนการใช้สารเคมีในการถนอมอาหาร การใช้เชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่สามารถผลิตสารซึ่งมีคุณสมบัติในการถนอมอาหารไม่ให้เน่าเสียกำลังเป็นที่นิยม เพราะนอกจากจะลด

อันตรายที่จะเกิดขึ้นกับผู้บริโภคแล้วยังรักษาคุณภาพและคงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้อย่างครบถ้วนอีกด้วย [2]

แบคเทอริโอซิน (bacteriocin) เป็นสารในกลุ่มของเปปไทด์ (peptide) ที่มีกิจกรรมการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในสายพันธุ์ที่มีความใกล้เคียงกัน สารนี้ถูกสร้างจากแบคทีเรียกรดแลคติก ซึ่งมีคุณสมบัติในการทนทานต่ออุณหภูมิสูง และออกฤทธิ์ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างที่กว้าง ลักษณะทั่วไปของสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์นี้เป็นสารที่ปราศจากสี กลิ่นและรสชาติ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการถนอมได้เป็นอย่างดี [3] แบคทีเรียแกรมบวกที่เป็นสาเหตุของโรคทางเดินอาหารบางชนิดเป็นจุลินทรีย์ที่มีความไวต่อการถูกยับยั้งการเจริญด้วย

สารแบคทีเรียโอซิน ได้แก่ *Listeria monocytogenes*, *S. aureus*, *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* และ *C. botulinum* เป็นต้น [4, 5] ปัจจุบันมีการใช้ นิสิน (nisin) ซึ่งเป็นสารแบคทีเรียโอซินที่ออกฤทธิ์ แบบกว้าง (broad spectrum) โดยได้รับการอนุญาต ให้ใช้เป็นสารถนอมอาหาร ซึ่งนิซินถูกสร้าง จากแบคทีเรียสายพันธุ์ *Lactococcus lactis* ส่วนใหญ่สารนี้มีฤทธิ์ในการยับยั้งการงอกของสปอร์ (spore germination) รวมทั้งสารพิษบูโตรีนัม (botulinum toxin) ของแบคทีเรีย *C. botulinum* [6, 7] แบคทีเรียกรดแลคติกพบได้ทั่วไปในธรรมชาติและมี ปริมาณมากในนม เนื่อสด และพืช ซึ่งมีบทบาท อย่างมากในการแปรรูปอาหารหมักดองโดยสามารถ ยับยั้งการเจริญ หรือทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำ ให้เกิดอาหารเน่าเสียรวมทั้งก่อโรค นอกจากนี้ แบคทีเรียกรดแลคติกยังถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับ การผลิตอาหารสุขภาพ ซึ่งเป็นที่ต้องการสำหรับ ผู้บริโภค เช่น ผลิตภัณฑ์ นมหมักต่าง ๆ ได้แก่ ชีส (cheese) บัตเตอร์มิลค์ (buttermilk) และโยเกิร์ต (yogurt) เป็นต้น [7]

S. thermophilus เป็นแบคทีเรียกรดแลคติก ที่ถูกใช้เป็นหัวเชื้อร่วมกับแบคทีเรีย *L. lactis* สำหรับ การผลิตโยเกิร์ต ซึ่งมีรายงานการวิจัยในการผลิตสาร แบคทีเรียโอซินในปริมาณน้อยกว่าแบคทีเรียสายพันธุ์ ดังกล่าว ดังนั้นจึงได้มุ่งเน้นการคัดเลือกสายพันธุ์ ที่สามารถผลิตแบคทีเรียโอซินชนิดใหม่ ๆ และมีปริมาณสูงเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบเสียในอาหาร และ ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ [8, 9]

S. aureus เป็นแบคทีเรียก่อโรคเกี่ยวกับ อาหาร จัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียแกรมบวก (gram positive bacteria) [10] และยังเป็นสาเหตุสำคัญใน การก่อให้เกิดโรคด้านอวัยวะในวัวที่ส่งผลกระทบ อย่างมากในอุตสาหกรรมนม [11, 12] สารพิษที่ถูกสร้าง

จากแบคทีเรีย *S. aureus* สามารถก่อให้เกิดโรค ทางเดินอาหารที่สำคัญในมนุษย์และสารพิษนี้ยังม ีความทนทานต่อเอนไซม์ย่อยโปรตีน (protease) ในทางเดินอาหาร รวมทั้งสามารถอยู่รอดจากการ ทำลายด้วยอุณหภูมิสูงในกระบวนการพาสเจอร์ไลส์ (pasteurization) ได้ด้วย [13]

S. typhimurium เป็นแบคทีเรียก่อโรคที่ สำคัญอีกสายพันธุ์ถูกจัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียแกรมลบ (gram negative bacteria) สามารถอยู่รอดใน สภาวะที่เป็นกรดสูงในกระเพาะอาหารที่มีค่าต่ำกว่า 3.0 [14] ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่สำคัญในการก่อโรค เกี่ยวกับทางเดินอาหารมนุษย์ได้เช่นกัน [15]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา ลักษณะการเจริญของแบคทีเรียสายพันธุ์ *S. thermophilus* และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างที่เกิดขึ้น ระหว่างการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารเหลว MRS และ นม UHT ในระยะเวลาต่าง ๆ รวมทั้งการสร้างสาร คล้ายแบคทีเรียโอซินเพื่อยับยั้งการเจริญของ แบคทีเรียก่อโรคในทางเดินอาหาร ได้แก่ *S. aureus* และ *S. typhimurium*

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus*

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์นมหมักทางการค้าที่ บนฉลากติดบรรจุภัณฑ์ระบุประกอบด้วยแบคทีเรีย จำนวน 2 สายพันธุ์ คือ *Lactobacillus bulgaricus* และ *S. thermophilus* ปริมาตร 25 มิลลิลิตร มาผสมในสารละลาย Peptone water 0.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 225 มิลลิลิตร แล้วทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเครื่องตีปั่นไฟฟ้าเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นแบ่ง สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มาเจือจางด้วย สารละลายเกลือ (normal saline solution) 0.85 เปอร์เซ็นต์ แล้วเพาะเลี้ยงแบคทีเรียด้วยอาหารแข็ง

MRS นำบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำโคโลนีแบคทีเรียทั้งหมดที่เจริญบนอาหารแข็ง MRS มาทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเดิม จากนั้นทำการศึกษาลักษณะเบื้องต้นบางประการของแบคทีเรียที่เจริญด้วยการย้อมสีเซลล์แบคทีเรีย (gram staining) ตามวิธีมาตรฐานและศึกษาลักษณะรูปร่างของเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100x

2.2 การศึกษาลักษณะการเจริญของแบคทีเรีย *S. thermophilus*

2.2.1 การเตรียมเชื้อแบคทีเรีย

นำแบคทีเรีย *S. thermophilus* ที่คัดเลือกไว้มาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารเหลว MRS บ่มแบบไม่เขย่าที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง จากนั้น ปรับค่าความขุ่นของแบคทีเรียให้มีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.5 (10^8 cfu/ml) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (OD₆₀₀) เพื่อเตรียมใช้เป็นกัล้าเชื้อแบคทีเรีย *S. thermophilus* ในการทดลองต่อไป

2.2.2 การเจริญของแบคทีเรีย

S. thermophilus

นำกัล้าเชื้อแบคทีเรีย *S. thermophilus* ที่เตรียมไว้มาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารเหลว MRS และ นํ้านม UHT นำบ่มแบบไม่เขย่าที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างทุก ๆ 2 ชั่วโมง ปริมาตร 1 มิลลิลิตร มาเจือจางในสารละลายเกลือ 0.85 เปอร์เซ็นต์ แล้วตรวจสอบปริมาณแบคทีเรีย *S. thermophilus* ด้วยการเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็ง MRS ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง จากนั้นนับจำนวนโคโลนีแบคทีเรียทั้งหมดที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อแล้วนำมาสร้างเป็นกราฟการเจริญของแบคทีเรีย *S. thermophilus* ในหน่วย log cfu/ml

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงค่ากรด-ด่างระหว่าง

การเจริญของแบคทีเรีย *S. thermophilus*

ค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus* ในอาหารเหลว MRS และ นํ้านม UHT ถูกตรวจสอบด้วยเครื่องวัดค่ากรด-ด่าง (pH meter) ในทุก ๆ 2 ชั่วโมง จนครบระยะเวลา 24 ชั่วโมงของการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย

2.3 การตรวจกิจกรรมสารคล้ายแบคทีเรียโอซินในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรค

2.3.1 การเตรียมแบคทีเรีย *S. thermophilus*

และสารคล้ายแบคทีเรียโอซิน

ย้ายกัล้าเชื้อแบคทีเรีย *S. thermophilus* ที่เตรียมไว้มาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว MRS และ นํ้านม UHT นำบ่มแบบไม่เขย่าที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและเก็บตัวอย่างทุก ๆ 2 ชั่วโมง มาตรวจสอบจนครบระยะเวลา 24 ชั่วโมงของการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus* โดยนำตัวอย่างของเหลวจากการเพาะเลี้ยงเชื้อปริมาณ 10 มิลลิลิตร มาปั่นแยกเซลล์แบคทีเรียด้วยความเร็ว 8,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำส่วนใส (cell-free supernatant) มาปรับค่ากรด-ด่างให้มีค่าเท่ากับ 7.0 จากนั้นจึงนำตัวอย่างสารคล้ายแบคทีเรียโอซินมาเจือจางให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ 1x, 2x, 4x, 6x, 8x และ 10x ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ [16]

2.3.2 การทดสอบกิจกรรมยับยั้งการเจริญ

ของแบคทีเรียก่อโรคบางชนิด

ทดสอบกิจกรรมของตัวอย่างสารด้วยวิธี Agar well diffusion จำนวน 3 ซ้ำ โดยนำแบคทีเรีย

ก่อโรคแกรมบวก *S. aureus* และแกรมลบ *S. typhimurium* มาทำเป็นสารแขวนลอยในสารละลายเกลือ 0.85 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับค่าความขุ่นของสารแขวนลอยเซลล์แบคทีเรีย ให้มีค่าเท่ากับ McFarland scale 0.5 จากนั้นเกลี่ยสารแขวนลอยแบคทีเรียก่อโรคแต่ละชนิดลงบนอาหารแข็ง Muller Hinton (ส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อต่อน้ำปริมาตร 1 ลิตร ได้แก่ Beef extract 2.0 กรัม; Casein hydrolysate 17.5 กรัม; Starch 1.5 กรัม; Agar 15.0 กรัม) ด้วยวิธี Swab plate technique จากนั้นนำสารคล้ายแบคทีเรียโอซินที่ได้เตรียมให้มีความเจือจางระดับต่าง ๆ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร มาเติมลงในหลุม (well) บนอาหารแข็ง Muller Hinton ที่มีกรเกลี่ยเชื้อแบคทีเรียก่อโรคไว้นาบบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วิเคราะห์กิจกรรมของสารคล้ายแบคทีเรียโอซินในการยับยั้งการเจริญแบคทีเรียก่อโรคด้วยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสที่ไม่มีการเจริญของแบคทีเรียรอบ ๆ หลุมที่ใสสาร (clear zone) ในแต่ละความเจือจาง จากนั้นนำค่าความเจือจางสูงสุดที่ยังพบกิจกรรมการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคแต่ละชนิดมาคำนวณหาประสิทธิภาพของสารคล้ายแบคทีเรียโอซินที่สร้างจากแบคทีเรีย *S. thermophilus* ในหน่วย Arbitrary Unit (AU)/ml [16]

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำในแต่ละการทดลอง แล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี LSD test

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 การคัดเลือกแบคทีเรีย *S. thermophilus*

ผลิตภัณฑ์นมหมักทางการค้ามีแบคทีเรียกรดแลคติกที่สามารถเพาะเลี้ยงได้ด้วยอาหารแข็ง MRS มีปริมาณเชื้อ 9.5 log cfu/ml ซึ่งประกอบด้วยโคโลนีของแบคทีเรียที่มีลักษณะเดียวกันทั้งหมดบนอาหารเลี้ยงเชื้อดังกล่าว ซึ่งเป็นโคโลนีสีขาวขุ่น ขนาดกลางขอบเรียบ และเกิดบริเวณใสรอบ ๆ โคโลนี เนื่องจากเกิดการย่อยสลายแคลเซียมที่เป็นส่วนประกอบในอาหารแข็ง MRS จากนั้นนำโคโลนีแบคทีเรียที่มีลักษณะเดียวกันจำนวน 4-5 โคโลนีมา ย้อมสีเซลล์ พบว่าแบคทีเรียทั้งหมดติดสีม่วงของ Crystal violet ซึ่งเป็นลักษณะของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก โดยโคโลนีเหล่านี้มีรูปร่างของเซลล์เป็นแบบกลมเรียงตัวเป็นเส้นสาย (streptococci character) หรือเป็นคู่เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100x ซึ่งเป็นลักษณะเซลล์ของแบคทีเรียสายพันธุ์ *S. thermophilus* นอกจากนี้สภาวะการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียด้วยอาหารแข็ง MRS ครั้งนี้เป็นสภาวะปกติที่ไม่มีการกำจัดออกซิเจนออกให้หมดจึงเหมาะสมและพบแต่การเจริญของแบคทีเรีย *S. thermophilus* เท่านั้น โดยแบคทีเรียกรดแลคติกสายพันธุ์นี้จะสามารถใช้สารประกอบอินทรีย์ เป็นแหล่งพลังงานในการเจริญได้ (chemoorganotrophic) ไม่สร้างสปอร์ทนทานต่อความเป็นกรดขบอุณหภูมิปานกลาง (15-45 °C) และเจริญได้ในอากาศแบบไม่แท้จริง (facultative aerobic)

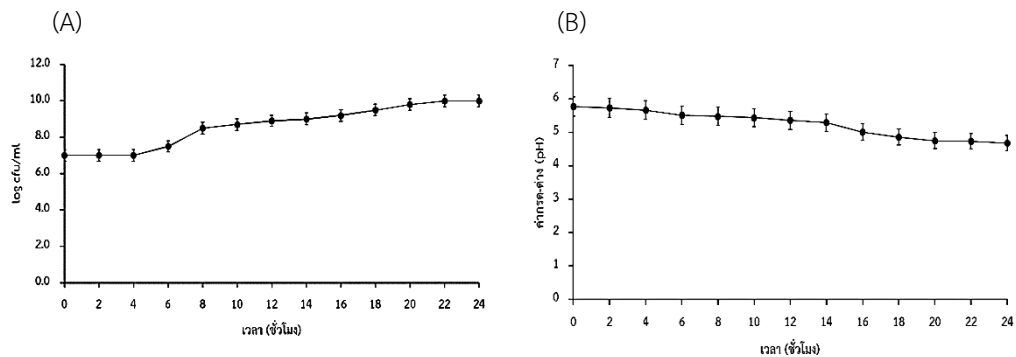
[17, 18] ซึ่งลักษณะรูปร่างเซลล์และการเจริญของแบคทีเรียดังกล่าวมีความแตกต่างกับแบคทีเรียอีกสายพันธุ์ *L. bulgaricus* ที่มีรูปร่างของเซลล์เป็นแบบท่อน (rod shape) และต้องเพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะปราศจากออกซิเจน (anaerobic condition) จึงจะสามารถเจริญบนอาหารแข็ง MRS ได้ [19]

3.2 ลักษณะการเจริญของแบคทีเรีย *S. thermophilus* และการเปลี่ยนแปลงค่ากรด-ด่าง

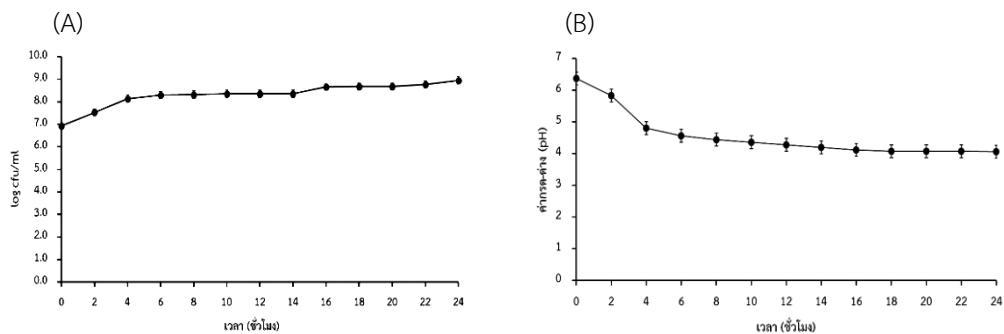
เมื่อเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus* ด้วยอาหารเหลว MRS สามารถตรวจพบปริมาณแบคทีเรียเริ่มต้นในชั่วโมงที่ 0 ปริมาณ 7.0 log cfu/ml โดยปริมาณแบคทีเรียในช่วง 0-6 ชั่วโมงมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ซึ่งเป็นช่วงที่แบคทีเรียมีการปรับตัวเข้ากับสภาพอาหารเลี้ยงเชื้อใหม่ หลังจากนั้นแบคทีเรียจึงมีการเพิ่มปริมาณอย่างทวีคูณ 8.5 log cfu/ml (exponential phase) ซึ่งเริ่มพบได้ในชั่วโมงที่ 8 เป็นต้นไป และมีการเพิ่มปริมาณขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงชั่วโมงที่ 24 ของการเพาะเลี้ยงเชื้อภายใต้สภาวะกำหนดที่พบปริมาณแบคทีเรียสูงสุด 10.0 log cfu/ml สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่ากรด-ด่างระหว่างการเจริญของแบคทีเรีย *S. thermophilus* มีแนวโน้มลดต่ำลงอย่างต่อเนื่องทำให้อยู่ในสภาวะที่เป็นกรดและมีค่าความเป็นกรดต่ำสุดเท่ากับ 4.8 ซึ่งพบได้ในชั่วโมงที่ 24 โดยในสภาวะนี้แบคทีเรีย *S. thermophilus* ยังสามารถเพิ่มปริมาณและรอดชีวิตต่อไปได้ซึ่งเป็นลักษณะของแบคทีเรียทนกรด (acid tolerant)

และเมื่อมีปริมาณแบคทีเรียสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เพาะเลี้ยงส่งผลให้มีการสะสมกรดปริมาณสูงและมีความรุนแรงมากขึ้นในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS (ภาพที่ 1)

ในขณะเดียวกันเมื่อเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus* ด้วยน้ำนม UHT พบว่าแบคทีเรียมีการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วกว่าการเพาะเลี้ยงเชื้อด้วยอาหารเหลว MRS ทำให้แบคทีเรียเข้าสู่สภาวะการเจริญแบบทวีคูณ 7.5-8.0 log cfu/ml ในชั่วโมงที่ 2-4 หลังการเพาะเลี้ยงเชื้อ และมีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มเรื่อย ๆ จนมีปริมาณสูงสุด 9.0 log cfu/ml ใน ชั่วโมงที่ 24 ซึ่งผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า *S. thermophilus* สามารถเปลี่ยนแหล่งคาร์บอนที่มีอยู่ในปริมาณสูงในน้ำนมเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับการเจริญของแบคทีเรียโดยเป็นผลมาจากเอนไซม์ Glutamate dehydrogenase ที่มีบทบาทอย่างมากในการช่วยให้แบคทีเรียสายพันธุ์นี้ปรับสภาพเข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่เมื่อถูกเพาะเลี้ยงด้วยน้ำนม โดยส่งผลให้มีการเจริญที่รวดเร็วและสามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างต่อเนื่อง [20] ในทำนองเดียวกันค่ากรด-ด่างในน้ำนม UHT มีการเปลี่ยนแปลงสู่สภาวะที่เป็นกรดอย่างรวดเร็วได้เช่นเดียวกับปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 2 และ 4 ในการทดลองพบว่ามีแนวโน้ม การเปลี่ยนแปลงของค่ากรด-ด่างที่ลดลงต่อเนื่องอย่างชัดเจนจนกระทั่งถึงชั่วโมงที่ 24 ของการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus* ซึ่งตรวจพบค่าความเป็นกรดต่ำสุดเท่ากับ 4.0 (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 1 การเจริญของแบคทีเรีย *S. thermophilus* (A) และการเปลี่ยนแปลงค่ากรด-ด่าง (B) เมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารเหลว MRS



ภาพที่ 2 การเจริญของแบคทีเรีย *S. thermophilus* (A) และการเปลี่ยนแปลงค่ากรด-ด่าง (B) เมื่อเพาะเลี้ยงด้วยนม UHT

จากการทดลองพบว่าปริมาณแบคทีเรีย *S. thermophilus* ที่เพิ่มขึ้นไม่ว่าจะมีการเพาะเลี้ยงเชื้อด้วยอาหารเหลว MRS หรือน้ำนม UHT ซึ่งมีส่วนสำคัญทำให้มีการลดลงของค่ากรด-ด่างโดยเฉพาอย่างยิ่งเมื่อมีการเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus* ด้วยน้ำนม UHT ที่มีการสะสมกรดแลคติกในปริมาณสูงซึ่งมีผลทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีนในน้ำนมส่งผลให้มีลักษณะทางกายภาพที่หนืด และเกิดเป็นลิ่มของน้ำนม (curd) ได้อย่างรวดเร็วลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากแบคทีเรียกรดแลคติกเจริญในน้ำนมที่มีองค์ประกอบของน้ำตาลแลคโตสปริมาณสูง โดยทั่วไปน้ำตาลประเภทต่าง ๆ

ถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอน ได้แก่ ฟรุคโตส กลูโคส แลคโตส แมนโนส และซูโคส เป็นต้น ซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญของแบคทีเรีย *S. thermophilus* และการหมักให้เกิดกรด แต่มีรายงานการวิจัยที่ไม่พบการเจริญของแบคทีเรีย เมื่อเพาะเลี้ยงเชื้อด้วยแหล่งคาร์บอน ได้แก่ อะราบิโนส เดกซ์ทริน กลีเซอรอล อินูลิน แมนนิทอล แรมโนส ซาลิซิน ซอร์บิทอล แป้ง และไซโลส ในสภาวะการเพาะเลี้ยงที่มีค่าเป็นด่างเท่ากับ 9.6 [21] แบคทีเรีย *S. thermophilus* จัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียที่ต้องการสารอาหารที่จำเป็นในการเจริญ (fastidious) เช่น น้ำนมที่ประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ ในปริมาณสูงโดยเฉพาะโปรตีน และจัดเป็นแบคทีเรีย

โพรไบโอติก (probiotic bacteria) ที่ย่อยน้ำตาลแลคโตสในนมทำให้เหมาะสมสำหรับการบริโภคของผู้แพ้น้ำตาลชนิดนี้ นอกจากนี้ยังสามารถสร้างสารบางชนิดที่ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคได้ [17, 21]

3.3 กิจกรรมของสารคล้ายแบคทีเรียโอซินที่สร้างจากแบคทีเรีย *S. thermophilus*

สารคล้ายแบคทีเรียโอซินเป็นส่วนที่มีความสำคัญในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคทั้ง 2 ชนิด *S. aureus* และ *S. typhimurium* ซึ่งสารเหล่านี้ได้มาจากส่วนใสที่ถูกปั่นแยกได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus* (cell-free supernatant) ด้วยอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่มีการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 2 ชั่วโมงมาตรวจสอบ ซึ่งสามารถสังเกตกิจกรรมของสารคล้ายแบคทีเรียโอซินได้จากการเกิดบริเวณใสบนอาหารแข็ง Muller Hinton ที่มีแบคทีเรียก่อโรคเจริญอยู่โดยเริ่มปรากฏและสามารถวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสที่เกิดจากการถูกยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *S. aureus* จากตัวอย่างส่วนใสที่เก็บได้จากอาหารเหลว MRS ในชั่วโมงที่ 12 เป็นต้นไปจนถึงชั่วโมงที่ 22 โดยพบค่ากิจกรรมการยับยั้งจากความเจือจางของสาร 10x ซึ่งเป็นความเจือจางสูงสุดที่ยังพบการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคซึ่งมีค่าเท่ากับ 200 AU/ml (ภาพที่ 3) แต่พบกิจกรรมการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค *S. typhimurium* ได้ในชั่วโมงที่ 20 ของการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus* เท่านั้น มีค่าเท่ากับ 120 AU/ml ซึ่งเป็นค่ากิจกรรมการยับยั้งที่ต่ำกว่าค่าที่พบในแบคทีเรียก่อโรค *S. aureus* (ภาพที่ 3)

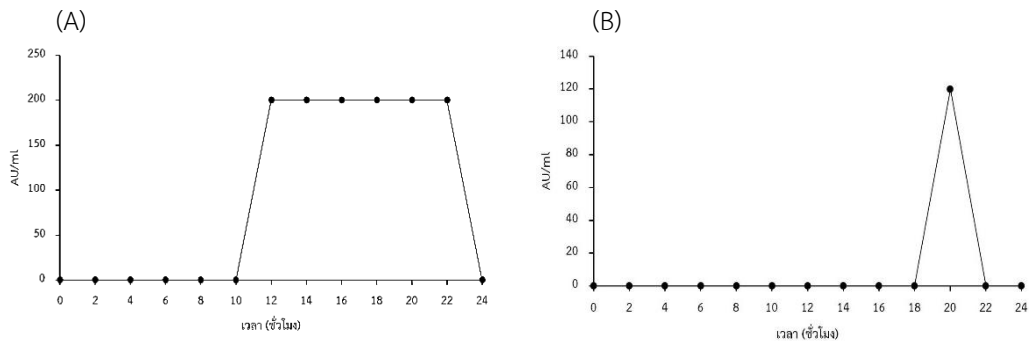
สำหรับการสร้างสารคล้ายแบคทีเรียโอซินเมื่อเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus* ด้วยนม UHT มีกิจกรรมการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค

S. aureus ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเริ่มพบได้ในชั่วโมงที่ 2 ของการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus* โดยมีค่าเท่ากับ 40 AU/ml ซึ่งคำนวณได้จากความเจือจางของสาร 2x (ภาพที่ 4) หลังจากนั้นพบกิจกรรมการยับยั้งแบคทีเรีย *S. aureus* เพิ่มสูงขึ้นเป็น 200 AU/ml ซึ่งคำนวณได้จากสารละลายส่วนใสที่มีความเจือจาง 10x โดยพบในช่วง 4-10 ชั่วโมงของการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus* สำหรับการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค *S. typhimurium* ที่เป็นแบคทีเรียแกรมลบจะเริ่มถูกยับยั้ง การเจริญด้วยสารคล้ายแบคทีเรียโอซินในชั่วโมงที่ 4 ของการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus* โดยมีค่ากิจกรรมสูงสุดเท่ากับ 200 AU/ml และยังคงอยู่จนถึงชั่วโมงที่ 10 (ภาพที่ 4)

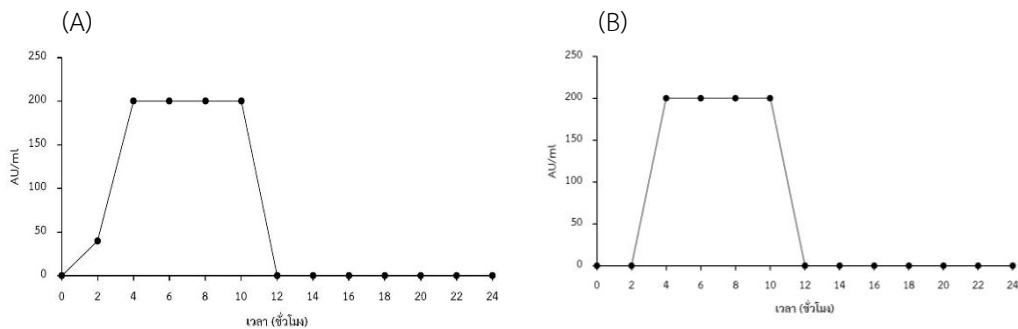
การเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus* เพื่อให้สร้างสารคล้ายแบคทีเรียโอซินด้วยนม UHT ซึ่งเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าการเพาะเลี้ยงเชื้อด้วยอาหารเหลว MRS โดยมีค่ากิจกรรมการถูกยับยั้งในแบคทีเรียก่อโรคแกรมบวก *S. aureus* ได้มากกว่าแกรมลบ *S. typhimurium* ที่มีองค์ประกอบโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ช่วยปกป้องจากการถูกทำลายรวมทั้งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้แบคทีเรียแกรมลบมีความทนทานและถูกยับยั้ง การเจริญได้น้อยจากสารแบคทีเรียโอซินที่สร้างโดยแบคทีเรียแกรมบวก [22] จากรายงานการวิจัยพบว่าการสร้างสารแบคทีเรียโอซินชนิดต่าง ๆ จากแบคทีเรีย *S. thermophilus* ST113 ซึ่งมีการสร้างสารประเภทแบคทีเรียโอซินชนิดเทอร์โมฟิลิน (thermophilins) [23] จะถูกสร้างได้เมื่อมีค่ากรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.2-6.0 แต่จะมีการผลิตสารได้มากที่สุดที่ค่ากรด-ด่างช่วง 5.5-6.0 [24, 25] มีเพียงสารแบคทีเรียโอซินไม่กี่ชนิดที่พบได้ในค่ากรด-ด่างต่ำกว่า 5.0 ส่วนใหญ่สารแบคทีเรียโอซินพบได้มากในช่วงที่มีการเจริญแบบทวีคูณของแบคทีเรีย ซึ่งจะเกิดขึ้น

ระหว่างที่มีการผลิตและการสะสมกรดแลคติกใน
สภาวะการเพาะเลี้ยง ดังนั้นแบคทีเรีย *S. thermophilus*
สามารถนำมาใช้เป็นหัวเชื้อเดี่ยวที่สำคัญหรือใช้

ร่วมกับแบคทีเรียกรดแลคติกชนิดอื่น ๆ ในการผลิต
นมหมัก เช่น โยเกิร์ต เพื่อให้มีรสชาติที่ดีมากขึ้น
[25, 26]



ภาพที่ 3 กิจกรรมของสารคล้ายแบคทีเรียโอซินที่สร้างจากแบคทีเรีย *S. thermophilus* เมื่อเพาะเลี้ยงด้วย
อาหารเหลว MRS ในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค *S. aureus* (A) และ *S. typhimurium* (B)



ภาพที่ 4 กิจกรรมของสารคล้ายแบคทีเรียโอซินที่สร้างจากแบคทีเรีย *S. thermophilus* เมื่อเพาะเลี้ยงด้วย
น้ำนม UHT ในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค *S. aureus* (A) *S. typhimurium* (B)

4. สรุปผลการวิจัย

การเจริญของแบคทีเรีย *S. thermophilus*
ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS มีปริมาณสุดท้าย
สูงกว่าในน้ำนม UHT แต่แบคทีเรียเข้าสู่การเจริญ
แบบทวีคูณอย่างรวดเร็วและมีการเปลี่ยนแปลงค่า
กรด-ด่างเป็นกรดที่มีค่าต่ำสุดจะพบได้ในน้ำนม UHT
สำหรับการสร้างสารคล้ายแบคทีเรียโอซินที่ได้จาก
การเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *S. thermophilus* ด้วย
อาหารเหลว MRS หรือน้ำนม UHT มีกิจกรรมของ
สารที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรค

S. aureus และ *S. typhimurium* ได้ แต่อย่างไรก็
ตามสารนี้มีกิจกรรมยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อ
โรค *S. aureus* ที่มากกว่า *S. typhimurium* โดย
แสดงค่ากิจกรรมการยับยั้ง การเจริญของแบคทีเรีย
ก่อโรคเริ่มต้น 40 AU/ml ที่ความเจือจาง 2x และมี
ค่าสูงสุด 200 AU/ml ที่คำนวณได้จากความเจือจาง
สูงสุด 10x ซึ่งผลการทดสอบแสดงถึงปริมาณของ
สารคล้ายแบคทีเรียโอซินที่ได้จากการเพาะเลี้ยง
แบคทีเรีย *S. thermophilus* มีปริมาณสูงและมี
ระยะเวลาเหมาะสม ดังนั้นสภาวะดังกล่าวในการ

สร้างสารยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคให้ได้กิจกรรมสูง สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตนมหมักประเภทต่าง ๆ ในระดับครัวเรือนจนถึงระดับอุตสาหกรรมซึ่งเกิดจากการใช้หัวเชื้อแบคทีเรียจากผลิตภัณฑ์นมหมักทางการค้าที่ประกอบด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกสายพันธุ์ *S. thermophilus* ซึ่งทำให้ได้สารที่มีประโยชน์ต่าง ๆ และมีประสิทธิภาพมากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการ Senior project 2018 ของสาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Brul S., Coote P. Preservative agents in foods mode of action and microbial resistance mechanisms. *Int J Food Microbiol* 1999; 50:1-17.
- [2] อัจฉรา ดลวิทยาคณ, จักรกฤษณ์ เคลือบวัง. การออกแบบรายการอาหารแลกเปลี่ยนสำหรับโรคเบาหวานโดยใช้เทคนิคการค้นหาแบบท้องถิ่นตัดแปรง. *วารสารวิจัย มทร. กรุงเทพ* 2017; 11(1):1-7.
- [3] Perez RH., Zendo T., Sonomoto K. Novel bacteriocins from lactic acid bacteria (LAB): various structures and applications. *Microb Cell Fact* 2014; 13:1-13.
- [4] Jack RW., Tagg JR., Ray B. Bacteriocins of gram-positive bacteria. *Microbiol Rev* 1995; 59(2):171-200.

- [5] Ivanova I., Miteva V., Stefanova TS., et al. Characterization of a bacteriocin produced by *Streptococcus thermophilus* 81. *Int J Food Microbiol* 1998; 42:147-158.
- [6] Choi MH., Park YH. Selective control of *Lactobacilli* in kimchi with nisin. *Lett Appl Microbiol* 1998; 30:173-177.
- [7] Davies EA., Milne CF., Bevis HE., et al. Thomas LV., Delves-Broughton J. Effective use of nisin to control lactic acid bacterial spoilage in vacuum packed bologna-type sausage. *J Food Prot* 1999; 62:1004-1010.
- [8] Jimenez LH., Guillouard I., Guedon E., et al. Physiology of *Streptococcus thermophilus* during the late stage of milk fermentation with special regard to sulfur amino acid metabolism. *Proteomics* 2008; 8:4273-4286.
- [9] Rossi F., Marzotto M., Cremonese S., et al. Diversity of *Streptococcus thermophilus* in bacteriocin production; inhibitory spectrum and occurrence of thermophilin genes. *Food Microbiol* 2013; 35:27-33.
- [10] Gutiérrez D., Delgado S., Vázquez-Sánchez D., et al. Incidence of *Staphylococcus aureus* and analysis of associated bacterial communities on food industry surfaces. *Appl Environ Microbiol* 2012; 78(24):8547-8554.

- [11] Hennekinne JA., Buyser ML., Dragacci S. *Staphylococcus aureus* and its food poisoning toxins: characterization and outbreak investigation. FEMS Microbiol Rev 2012; 36:815-836.
- [12] Jørgensen HJ., Mork T., Caugant DA., et al. Genetic variation among *Staphylococcus aureus* strains from Norwegian bulk milk. Appl Environ Microbiol 2005; 71:8352-8361.
- [13] Balaban N., Rasooly A. Staphylococcal enterotoxins. Int J Food Microbiol 2000; 61:1-10.
- [14] Park YK., Bearson B., Bang SH., et al. Internal pH crisis, lysine decarboxylase and acid tolerance response of *Salmonella typhimurium*. Mol Microbiol 1996; 20:605-611.
- [15] Baik HS., Bearson S., Dendar S., et al. The acid tolerance response of *Salmonella typhimurium* provides protection against organic acids. Microbiol 1996; 142:3195-3200.
- [16] Batdorj B., Dalgarrondo M., Choiset Y., et al. Purification and characterization of two bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from Mongolian airag. J Appl Microbiol 2006; 101:837-848.
- [17] Sturino JM., Klaenhammer TR. Bacteriophage defense systems and strategies for lactic acid bacteria. Adv Appl Microbiol 2004; 56:331-78.
- [18] Hardie JM., Whiley RA. Recent developments in streptococcal taxonomy: their relation to infections. Rev Med Microbiol 1994; 5:151-162.
- [19] Fonseca F., Marin M., Morris GJ. Stabilization of frozen *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* in glycerol suspensions: freezing kinetics and storage temperature effects. Appl Environ Microbiol 2006; 72(10): 6474-6482.
- [20] Lu WW., Wang Y., Wang T., et al. The global regulator CodY in *Streptococcus thermophilus* controls the metabolic network for escalating growth in the milk environment. Appl Environ Microbiol 2015; 81:2349-2358.
- [21] Kolars JC., Levitt MD., Aouji M., et al. Yogurt: an autodigesting source of lactose. N Engl J Med 1984; 310:1-3.
- [22] Prudêncio CV., Santos MT., Vanetti MCD. Strategies for the use of bacteriocins in gram-negative bacteria: relevance in food microbiology. J Food Sci Technol 2015; 52(9):5408-5417.
- [23] Somkuti GA., Renye JA. Effect of a BlpC-based quorum sensing induction peptide on bacteriocin production in *Streptococcus thermophilus*. J Food Res 2015; 4:88-96.
- [24] Chinachoti N., Matsusaki H., Sonomoto K., et al. Utilization of xylose as an alternative carbon source for nisin Z

- production by *Lactococcus lactis* IO-1.
J Fac Agr Kyushu U 1997; 42:171-181.
- [25] Simova ED., Beshkova DM., Dimitrov ZP., et al. *In vitro* and *in situ* bacteriocin activity of lactic acid bacteria from Bulgarian dairy products and methods for making of *Lactobacillus* protective fermented milks with bacteriocin inhibitory substance. Bulg J Agric Sc 2008; 014:28-42.
- [26] Beshkova D., Simova E., Frengova G., et al. Production of flavor compounds by yogurt starter cultures. J Ind Microbiol Biotechnol 1998; 20: 180-186.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนอบแห้งจากแป้งข้าวสังข์หยด Product Development of Dried Gluten-Free Pasta from Sangyod Rice Flour

ชนิษฐา หมดเอียด

Khanittha Muadiad

โปรแกรมวิทยาศาสตรและเทคโนโลยอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา เขตูป้าง
เมืองสงขลา 90000

โทร: +66 7426 0272, E-mail: khanittha.mu@skru.ac.th

Department of Food Science and Technology Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajaphat University,
Songkhla, 90000 Thailand

*Corresponding author. Tel.: +668 0521 8038, E-mail: khanittha.mu@skru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนแบบแห้งจาก แป้งข้าวสังข์หยด โดยการศึกษาปริมาณแชนแทนกัมที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณภาพเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตน โดยเติมแชนแทนกัม 0, 1, 1.5, 2 และ 2.5 กรัม/100 กรัมของแป้งข้าวสังข์หยด พบว่าน้ำหนักหลังปรุงสุก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและการสูญเสียน้ำหนักระหว่างปรุงสุกมีแนวโน้มลดลงเมื่อแชนแทนกัมที่ระดับสูงขึ้น โดย เส้นพาสต้าที่เติมแชนแทนกัมร้อยละ 1.5 มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด เมื่อศึกษาระยะเวลาในการให้ความร้อนเบื้องต้นต่อเส้นพาสต้าที่อุณหภูมิ 80±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำหนัก หลังปรุงสุก และความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นพาสต้าที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าลดลง ($p<0.05$) เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่เส้นพาสต้าที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีค่าน้ำหนักหลังปรุงสุก และความสามารถในการดูดซับน้ำไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เส้นพาสต้ามีน้ำหนักหลังปรุงสุก และความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง โดยเส้นพาสต้าที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงจะมี ค่าความแข็งแรงในการตัดขาด และคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าเส้นพาสต้าที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ

คำสำคัญ: พาสต้าปราศจากกลูเตน ไฮโดรคอลลอยด์ แชนแทนกัม อบแห้ง แป้งข้าวสังข์หยด

Received 21-08-2018

Revised 11-10-2018

Accepted 18-10-2018

ABSTRACT

The objective of this research was to develop the dried gluten-free pasta from Sangyod rice flour. The suitable amount of xanthan gum to improve gluten-free pasta qualities was investigated. Xanthan gum was added into the pasta formula at the level of 0, 1, 1.5, 2 and 2.5 g/100 g of Sangyod rice flour. The cooking weight and cooking loss tended to increase and decrease, respectively with increasing the amount of xanthan gum. The sensory evaluation revealed that the dried gluten-free pasta with 1.5 g/100 g xanthan gum showed the highest score in appearance, color, odor, flavor, texture and overall liking aspects. The qualities of dried gluten-free pasta from Sangyod rice flour with various pre-cooking times ($80\pm 5^{\circ}\text{C}$ for 2, 4 and 6 min) and drying temperatures (60 and 80°C) were compared. The results indicated that cooking weight and water absorption of dried samples at 60°C were significantly decreased with increasing the pre-cooking times ($p<0.05$). There were no significantly different among the dried samples at 80°C although the pre-cooking times were increased ($p\geq 0.05$). Nevertheless, increasing the drying temperature caused decreasing the cooking weight and water absorption. The sample treated with higher drying temperature led to increase the firmness, work of shearing and overall preference scores of samples comparing the lower temperature.

Keywords: Gluten-free pasta, Hydrocolloids, Xanthan gum, Drying, Sangyod rice flour

1. บทนำ

พาสต้า (Pasta) เป็นอาหารที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ โดยเฉพาะในปี 2011 ประเทศสหรัฐอเมริกา มียอดจำหน่ายสูงถึง 2.84 พันล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา ซึ่งอาหารประเภทนี้เป็นที่นิยมในประเทศไทยมากขึ้นเช่นกัน จากสถิติของกรมศุลกากรพบว่าในปี 2012 ประเทศไทยมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ประเภทพาสต้า มักกะโรนี หรือประเภทเส้นต่าง ๆ เป็นจำนวนเงินมากกว่า 81 ล้านบาท [1] แสดงถึงปริมาณความต้องการบริโภคที่มากขึ้นในปัจจุบัน โดยในแป้งสาลีซึ่งเป็นส่วนผสมหลักของพาสต้ามีโปรตีนกลูเตนซึ่งเป็นสารก่อภูมิแพ้ทำให้ผู้ป่วยที่แพ้กลูเตน (Celiac disease) ไม่สามารถบริโภคอาหารประเภทนี้ได้ จึงทำให้อาหารที่ปราศจากกลูเตนเป็นที่นิยม และมีแนวโน้มว่าจะเป็นที่ยอมรับ

ขึ้นในยุโรปและประเทศสหรัฐอเมริกา รวมถึงประเทศอื่น ๆ ทั่วโลก ปัจจุบันจึงทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งชนิดต่าง ๆ ที่ปราศจากกลูเตนเป็นที่สนใจมากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่แพ้สารกลูเตน โดยมี การนำแป้งปราศจากกลูเตนที่ได้จากธัญพืชต่าง ๆ มาใช้ทดแทนแป้งสาลี ได้แก่ แป้งข้าวฟ่าง แป้งข้าวโพด แป้งข้าว แป้งมันฝรั่ง แป้งฟักทอง แป้งเมล็ดพุทรา แป้งถั่ว เพื่อลดการเกิดภูมิแพ้ดังกล่าว [2,3,4] ทั้งนี้ยังเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ โปรตีนและใยอาหารให้แก่ผลิตภัณฑ์พาสต้า และหนึ่งในบรรดาพันธุ์ข้าวเพื่อสุขภาพคือ ข้าวสังข์หยด ซึ่งมีถิ่นกำเนิดทางภาคใต้ของไทย ซึ่งข้าวสังข์หยดเป็นข้าวพันธุ์ไทยแท้ที่มีมานานร้อยปี ปลูกได้ผลดีในจังหวัดพัทลุง มีคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน วิตามิน เกลือแร่

และเส้นใยอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง คือ กรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิกอยู่สูง ซึ่งปัจจุบันมีการนำข้าวสังข์หยดไปใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเพียงเล็กน้อย เช่น คุกกี้ ขนมข้าวกล้องธัญพืช ผลิตภัณฑ์ ขนมทองม้วนสอดไส้ชีเรียลบาร์ และผลิตภัณฑ์ ขนมลาข้าวสังข์หยด เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม การทดแทนแป้งชนิดต่าง ๆ ในข้าวสาลีจะส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและคุณภาพการปรุงสุกของเส้นพาสต้าที่ได้ จึงมีการปรับปรุงคุณภาพ ของเส้นพาสต้าปราศจากแป้งกลูเตนแบบแห้ง a โดยมีการเติมสารประเภทไฮโดรคอลลอยด์ที่มีสมบัติเพิ่มความคงตัว ปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น ลดการสูญเสีย น้ำทำให้เส้นพาสต้านุ่มไม่แห้งแข็งกระด้าง โดยแทนแทนกันเป็นไฮโดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่งที่ทำให้คุณสมบัติใกล้เคียงกับคุณสมบัติวิสโคอิลาสติกของกลูเตนที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางและมากกว่าไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น ทั้งนี้เนื่องด้วยคุณสมบัติเฉพาะของแทนแทนกัน [5] สามารถเข้ากันได้ดีกับองค์ประกอบอื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์สามารถละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิปกติ และให้ความหนืดสูงแม้ที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ ให้ลักษณะความเป็นวิสโคอิลาสติกที่ดีของสารละลาย เกิดเป็นโครงข่ายเจลแบบอ่อนตัว ซึ่งสามารถยับยั้งการจับตัวกันของไขมันและยับยั้งการคืนตัวของแป้ง (retrogradation) ได้และช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างคุณภาพ และลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ [6]

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาระดับของแทนแทนกันรวมทั้งศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งต่อคุณลักษณะและคุณภาพการปรุงสุกของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนแบบแห้งจากข้าวสังข์หยด นอกจากเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าปราศจากกลูเตนสำหรับผู้ป่วยแพ้กลูเตนแล้ว ยังเป็นการเพิ่มทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคและเพิ่มมูลค่าแป้งข้าวได้อีกด้วย

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ทำการผลิตแป้งข้าวสังข์หยด โดยการนำข้าวสังข์หยดมาปั่นโดยเครื่องโม่แป้ง รุ่น DXM-2000 ความเร็วรอบ 28,000 รอบ/นาที แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร (60 เมช) นำแป้งตัวอย่างที่ได้เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ (ความชื้นร้อยละ 9-10 โดยน้ำหนัก) แล้วปิดผนึกแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และทำการผลิตแป้งพรีเจลจากข้าวสังข์หยด โดยการนำข้าวสังข์หยดมาหุงสุกโดยใช้อัตราส่วนระหว่างข้าวสังข์หยด : น้ำ เท่ากับ 2 : 1 เป็นเวลา 28 นาที แล้วนำข้าวหุงสุกมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งข้าวมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 9-10 นำมาปั่นโดยเครื่องโม่แห้ง (ความชื้นร้อยละ 9-10) แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร (60 เมช) และบรรจุแป้งที่ได้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์แล้วปิดผนึกแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

2.2 ศึกษาปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณภาพเส้นพาสต้า

ทำการเตรียมส่วนผสมเส้นพาสต้า โดยใช้ส่วนผสม ดังตารางที่ 1 ได้แก่ แป้งดิบ แป้งพรีเจลไดโนซ์ แป้งมัน น้ำมันพืช ไข่ทั้งฟอง เกลือ ไข่แดง แล้วทำการศึกษาชนิดและปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณภาพของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตน โดยการเติมแทนแทนกันที่ระดับร้อยละ 0, 1, 1.5, 2.0 และ 2.5 ของน้ำหนักแป้ง แล้วทำการผลิตเส้นพาสต้าโดยใช้วิธีการผลิต ดังภาพที่ 1 โดยการนวดผสมให้เข้ากันและชั่งน้ำหนักโด 50 ± 1 กรัม ขึ้นรูปให้เป็นก้อน ห่อด้วยฟิล์มยืดพักโดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นรีดโดเป็นแผ่นบางรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยเครื่องรีด เริ่มจากเบอร์ 1 หลังจากนั้นรีดไปเรื่อย ๆ จนถึงเบอร์ 5 นำแป้งที่รีดแผ่นแล้ว

ตัดเป็นเส้นพาสต้าด้วยเครื่องทำเส้นพาสต้าแล้ว
ทำการศึกษาคุณลักษณะของเส้นพาสต้า

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตน

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)
แป้งข้าวสาลีหยาบ (แป้งดิบ)	42.25
แป้งมัน	14.08
เกลือ	1.41
ไข่ทั้งฟอง	25.82
ไข่แดง	14.08
น้ำมันพืช	2.35

2.2.1 วัดค่าสี L^* , a^* และ b^* ด้วยเครื่อง
Hunter Lab

2.2.2 วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water
activity, a_w)

2.2.3 วัดปริมาณความชื้น [7]

2.2.4 การทดสอบคุณภาพการปรุงสุก ของ
เส้นพาสต้า

- การหาละยะเวลาในการปรุงสุก (cooking
time) [8] โดยการนำตัวอย่างปรุงสุกในน้ำเดือดเพื่อ
หาละยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำให้ตัวอย่างสุก โดยทำ
การสุ่มตัวอย่างขึ้นมาตรวจทุก ๆ 30 วินาที ด้วยการ
นำตัวอย่างไปบีบกดด้วยกระจก 2 แผ่นซึ่งถ้าตัวอย่าง
สุกอย่างสมบูรณ์แล้ว แกนแข็งที่อยู่ภายในตัวอย่างจะ
หายไป บันทึกเวลา (นาที)

- การหาน้ำหนักหลังปรุงสุก (cooking weight)
[9] ซึ่งตัวอย่าง 5 กรัม แล้วหักให้มีมีความยาวประมาณ
5 เซนติเมตร นำไปปรุงสุกในน้ำเดือดจนกระทั่งสุก
ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เหมาะสมจากการศึกษาก่อนหน้า
นำตัวอย่างชิ้นหนึ่งในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา
1 นาที จากนั้นพักบนตะแกรงเพื่อสะเด็ดน้ำเป็นเวลา
5 นาที บันทึกน้ำหนักตัวอย่างหลังปรุงสุก (กรัม)

ร้อยละน้ำหนักหลังปรุงสุก

$$= \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังปรุงสุก} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนปรุงสุก}}$$

- การหาการสูญเสียระหว่างปรุงสุก (cooking
loss) [9] ซึ่งตัวอย่าง 5 กรัม แล้วหักให้มีมีความยาว
ประมาณ 5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปปรุงสุกในน้ำเดือด
จนกระทั่งสุกซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เหมาะสม นำน้ำ
ที่ใช้ในการปรุงสุกตัวอย่างไปอบ ให้แห้งด้วยตู้อบลม
ร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนัก
คงที่ คำนวณหาร้อยละการสูญเสียระหว่างปรุงสุก

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักระหว่างปรุงสุก

$$= \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่เหลือจากน้ำที่ใช้ปรุงสุก} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนปรุงสุก}}$$

2.2.5 ทดสอบคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัส

ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส
โดยใช้การทดสอบแบบ 9-point hedonic โดยใช้
ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้าน สี
กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของเส้น
พาสต้า และทำการทดสอบแบบ Multi-sample
difference test ในด้านความเหนียว ความยืดหยุ่น
ความเรียบเนียน และการกัดขาดของเส้นพาสต้าที่ได้
โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน
และมีการคัดเลือกสัดส่วนระหว่างแป้งดิบ และแป้งปริเจล
ที่เหมาะสม โดยการพิจารณาจากคุณภาพการปรุงสุก
ประกอบการทดสอบคุณลักษณะทางประสาท
สัมผัส

**2.3 ศึกษาระยะเวลาในการให้ความร้อนเบื้องต้น
และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบเส้นพาสต้า
ปราศจากกลูเตนแบบแห้ง**

ทำการผลิตเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนที่เดิม
ไฮโดรคอลลอยด์ในระดับที่มีคุณลักษณะเหมาะสม

มากที่สุดประกอบกับผู้บริโภคให้คะแนนความพึงพอใจมากที่สุด ซึ่งคัดเลือกได้จากข้อ (2.2) แล้วนำมาให้ความร้อนเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที เพื่อป้องกันไม่ให้เส้นแตกหักในระหว่างการม้วน และการอบแห้งแล้วนำไปอบแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13 แล้วทำการศึกษาลักษณะดังนี้

2.3.1 วัดค่าสีในระบบ CIE LAB บันทึกค่า L^* , a^* และ b^*

2.3.2 ทดสอบคุณภาพการปรุงสุกของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวสาลีหยาบ ได้แก่

- ระยะเวลาในการปรุงสุก (cooking time) [8]
- น้ำหนักหลังปรุงสุก (cooking weight) [9]
- ความสามารถในการดูดซับน้ำ (water absorption) [10]

ร้อยละการสูญเสียระหว่างปรุงสุก

$$= \frac{\text{น้ำหนักหลังปรุงสุก} - \text{น้ำหนักก่อนปรุงสุก} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนปรุงสุก}}$$

เตรียมส่วนผสมพาสต้า



นวดแป้งดิบกับแป้งพรีเจลดด้วยเครื่องตีแป้งที่ระดับ

ความเร็วต่ำสุด 1 นาที



ใส่ไข่ทั้งฟอง เกลือ และไข่แดง แล้วนวดต่ออีก 3 นาที



เติมแป้งมันแล้วนวดต่ออีก 1 นาที



เติมน้ำมัน นวดด้วยความเร็วระดับที่สองนาน 2 นาที



ขึ้นรูปให้เป็นก้อนกลม (50 ± 1 กรัม)



ห่อด้วยฟิล์มยืดและพักโด 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง



รีดโด โดยเริ่มรีดจากเบอร์ 1 แล้วรีดต่อไปจนถึงเบอร์ 5



ตัดเส้นพาสต้าด้วยเครื่องทำเส้นพาสต้า



เส้นพาสต้า

ภาพที่ 1 การผลิตเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตน

2.3.3 ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตน ด้วยเครื่อง texture analyzer (TA-XT.Plus) โดยการนำเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนหลังปรุงสุกตามระยะเวลาที่ทดลองข้างต้น มาเตรียมเป็นเส้นขนาดความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร จำนวน 5 เส้น มาทำการทดสอบค่าความแข็ง (firmness; g force) และค่าแรงในการตัดขาด (work of shear; g-cm) ด้วยหัววัดแบบใบมีด (light knife blade) ชนิด A/LKB

2.3.4 ทดสอบคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัส โดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้การทดสอบแบบ 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้าน สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตน

2.4 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

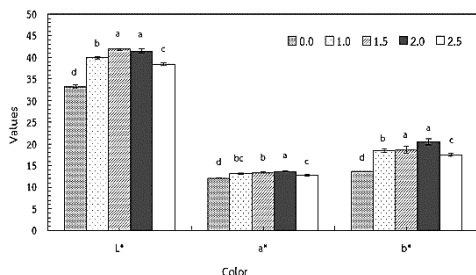
ทำการวิเคราะห์ 3 ข้ำ ในทุกชุดการทดลอง สำหรับการวิเคราะห์ทางกายภาพ และทางเคมี ทำการวางแผนการทดลอง แบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) และ การศึกษาด้านประสาทสัมผัส ใช้การวางแผนแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ

ผลการทดลอง (Analysis of variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่าง ของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Rang test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณภาพเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตน

จากการศึกษาค่าสีของเส้นพาสต้าที่เติมแซนแทนกัมระดับร้อยละ 0, 1, 1.5, 2 และ 2.5 โดยน้ำหนักของแป้งข้าวสาลีชนิด (ภาพที่ 2) พบว่าค่า L^* , a^* และ b^* มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการเติมแซนแทนกัมเพิ่มขึ้นเนื่องจากแซนแทนกัมมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี ดังนั้นจึงส่งผลให้ดูดซับน้ำไว้ในโครงข่ายโดพาสต้าได้ทำให้มีลักษณะที่สว่างมากขึ้นอย่างไรก็ตามหากเติมแซนแทนกัมในระดับที่สูงมากถึงระดับร้อยละ 2.5 ค่าความสว่างจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อปริมาณแซนแทนกัมมากขึ้นจะส่งผลให้แซนแทนกัมแย่งจับกับน้ำภายในโครงข่ายโดพาสต้าทำให้เกิดการพัฒนาโครงข่ายโดพาสต้าที่ไม่ดี [11,12] ส่งผลให้โดพาสต้ามีสีคล้ำขึ้น ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของพาสต้าปราศจากกลูเตน เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 3 เส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวสาลีชนิดเต็มแซนแทนกัมที่ระดับร้อยละ 0, 1, 1.5, 2 และ 2.5 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำอิสระและความชื้นของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนหลังปรุงสุก

แซนแทนกัม (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ	ความชื้น (ร้อยละ)
0.0	0.94±0.00 ^b	26.20±0.26 ^d
1.0	0.94±0.00 ^b	29.75±0.16 ^c
1.5	0.95±0.00 ^a	30.02±0.04 ^b
2.0	0.95±0.00 ^a	30.09±0.06 ^b
2.5	0.95±0.00 ^a	30.45±0.16 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ $\pm$ a ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการศึกษาปริมาณน้ำอิสระของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนที่ทำการปรับปรุงคุณลักษณะเส้นพาสต้าโดยการเติมแซนแทนกัมที่ระดับร้อยละ 0, 1, 1.5, 2 และ 2.5 (ตารางที่ 2) พบว่าปริมาณ น้ำอิสระและความชื้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับแซนแทนกัมสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแซนแทนกัมมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดี โดยหมู่ไฮดรอกซิลของไฮโดรคอลลอยด์จะจับกับน้ำภายในโครงข่ายโดพาสต้าทำให้สามารถช่วยดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างหลังจากการปรุงสุกได้ [11,12]

จากการศึกษาคุณภาพการปรุงสุกของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวสังข์หยดที่เติมแซนแทนกัมที่ระดับร้อยละ 0, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 โดยน้ำหนักของแป้งข้าวสังข์หยด (ตารางที่ 3) พบว่าระยะเวลาในการปรุงสุก (cooking time) ของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับแซนแทนกัมเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 คุณภาพการปรุงสุกของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวสังข์หยด

แซนแทนกัม (ร้อยละ)	ระยะเวลา ในการ ปรุงสุก (นาที)	น้ำหนักหลัง ปรุงสุก (ร้อยละ)	การสูญเสีย ระหว่าง ปรุงสุก (ร้อยละ)
0.0	6.50± 0.08 ^c	175.98± 4.67 ^d	3.37± 0.27 ^a
1.0	6.52± 0.10 ^c	202.84± 6.90 ^c	3.43± 0.25 ^a
1.5	6.55± 0.05 ^c	202.12± 3.064 ^c	2.58± 0.23 ^b
2.0	8.00± 0.11 ^b	221.08± 3.01 ^b	2.41± 0.25 ^b
2.5	8.50± 0.18 ^a	235.40± 3.24 ^a	2.55± 0.06 ^b

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

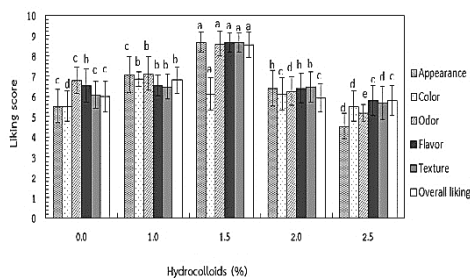
ทั้งนี้เนื่องจากแซนแทนกัมมีคุณสมบัติในการดูดซับได้ดีประกอบกับการเกิดอันตรกิริยาระหว่างแซนแทนกัมและโปรตีน ทำให้โครงข่ายโพลีพาสต้ามีความแข็งแรงมากขึ้น เมื่อระดับแซนแทนกัมมากขึ้น [11,12] ส่งผลให้เส้นพาสต้ามีเวลาในการปรุงสุกเพิ่มขึ้นเมื่อเติมแซนแทนกัมที่ระดับสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาน้ำหนักหลังปรุงสุก (cooking weight) และการสูญเสียระหว่างปรุงสุก (cooking loss) ของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตน พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นและลดลง

ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเติมแซนแทนกัมที่ระดับสูงขึ้น เนื่องจากแซนแทนกัมมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและกักเก็บน้ำระหว่างการปรุงสุกให้สูงในน้ำเดือด โดยลักษณะผลิตภัณฑ์พาสต้าที่ต้องการ คือน้ำหนักหลังปรุงสุกสูงและการสูญเสียระหว่างปรุงสุกน้อย แต่ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการปรุงสุกแล้วต้องไม่เปื่อยยุ่ย [13]

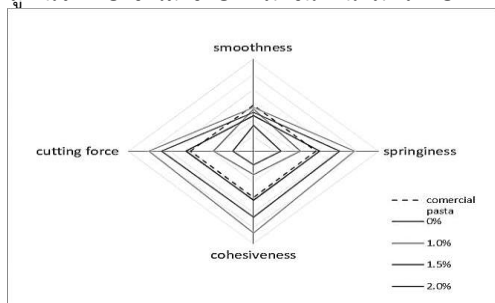
เมื่อทำการทดสอบคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวสังข์หยดที่มีการปรับปรุงคุณภาพ โดยการเติมแซนแทนกัม โดยการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนจากข้าวสังข์หยด (ภาพที่ 4) พบว่าเมื่อระดับแซนแทนกัมสูงขึ้น ผู้ทดสอบให้คะแนนในด้านคุณลักษณะต่าง ๆ เพิ่มขึ้นโดยมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดที่ระดับการเติมแซนแทนกัมร้อยละ 1.5 แต่จะลดลงที่ระดับการเติมแซนแทนกัมร้อยละ 2 และ 2.5 เนื่องจากเมื่อเติมแซนแทนกัมในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ลักษณะปรากฏของเส้นมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติในการดูดซับน้ำของแซนแทนกัม จึงทำให้เส้นพาสต้ามีการดูดซับน้ำมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น ในขณะเดียวกันแซนแทนกัมมีกลิ่นเฉพาะตัว เพราะฉะนั้นการเติมแซนแทนกัมในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลต่อการขยายขนาดของเส้น และกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผู้บริโภคมีความพึงพอใจลดน้อยลง

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงคุณภาพแบบ Multi-sample difference test ของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวสังข์หยดที่เติมแซนแทนกัมที่ระดับต่าง ๆ (ภาพที่ 5) พบว่าความเรียบเนียน (smoothness) ความยืดหยุ่น

(springiness) และความเหนียว (cohesiveness) เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เมื่อมีการเติมแซนแทนกัมที่ระดับสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันส่งผลให้ความสามารถในการกัดขาด (cutting force) มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากแซนแทนกัมมีคุณสมบัติในการให้ความหนืดแก่ผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อมีการเติมแซนแทนกัมในปริมาณมากเกินไปจะส่งผลให้เส้นพาสต้ากัดขาดได้ยาก ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่าเมื่อมีการเติมแซนแทนกัมที่ระดับสูงขึ้นที่ระดับร้อยละ 2 และ 2.5 ผู้ทดสอบชิมจะให้ความชอบลดลง ทั้งนี้เนื่องจากคุณลักษณะความเรียบเนียน ความเหนียว และความสามารถในการกัดขาด ส่งผลต่อความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้า



ภาพที่ 4 คะแนนประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ ของพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวสาลีหยาบเติมแซนแทนกัมที่ระดับต่าง ๆ



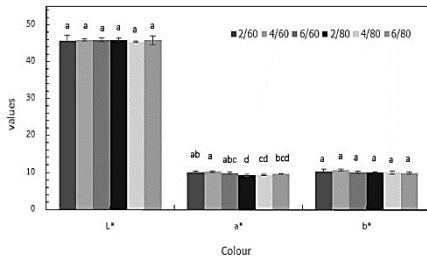
ภาพที่ 5 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ Multi-sample difference test ของพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวสาลีหยาบเติมแซนแทนกัมที่ระดับต่าง ๆ

3.2 ผลการศึกษาระยะเวลาในการให้ความร้อนเบื้องต้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบ เส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนแบบแห้ง

นำเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนที่ผลิตได้จากข้อ (3.1) มาทำการให้ความร้อนเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาทีแล้วนำเส้นมาม้วนเป็นก้อนกลม ๆ อบขึ้นต้นที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเส้นพาสต้ามีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13 แล้วทำการศึกษาคูณลักษณะของเส้นพาสต้าปรุงสุกดังนี้

3.2.1 คุณลักษณะทางกายภาพ

จากการวัดค่าสี L^* , a^* และ b^* ของเส้นพาสต้าหลังปรุงสุก (ภาพที่ 6) พบว่าค่า L^* (ความสว่าง) และค่า b^* (ความเป็นสีเหลือง) ของเส้นพาสต้าที่สภาวะต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ส่วนค่า a^* หรือค่าความเป็นสีแดงของเส้นพาสต้า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่เวลาในการให้ความร้อนเบื้องต้นต่างกันไม่มีผลต่อค่าสีของเส้นพาสต้า ($p \geq 0.05$) แต่เมื่ออบเส้นพาสต้าที่อุณหภูมิสูงขึ้นพบว่าส่งผลให้เส้นพาสต้ามีค่าความเป็นสีแดงลดลง เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะช่วยยับยั้งการเกิด ปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดสีน้ำตาลในเส้นพาสต้าและยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ทำให้เส้นพาสต้ายังคงมีสีเหลือง [10] ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัย [10] พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง 80-90 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เส้นพาสต้ามีคะแนนความชอบด้านค่าสีมากที่สุด



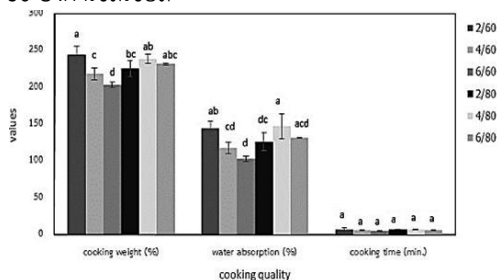
ภาพที่ 6 ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนที่ผ่านการให้ความร้อนเบื้องต้นที่ระยะเวลา 2, 4 และ 6 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส

3.2.2 คุณภาพการปรุงสุกของเส้นพาสต้า

จากการศึกษาระยะเวลาในการปรุงสุก (cooking time) น้ำหนักหลังการปรุงสุก (cooking weight) และความสามารถในการดูดซับน้ำ (water absorption) ของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตน หลังจากการให้ความร้อนเบื้องต้นที่ 2, 4 และ 6 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 7) พบว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนเบื้องต้น เส้นพาสต้าไม่มีผลต่อระยะเวลาในการปรุงสุกของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตน แต่มีผลต่อน้ำหนักหลังการปรุงสุกและความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นพาสต้า หลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเบื้องต้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำหนักหลังปรุงสุกและความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการให้ความร้อนเบื้องต้นเส้นพาสต้าด้วยเวลาที่นานขึ้น ส่งผลให้แป้งเกิดเจลละตินในเซชัน (gelatinization) มากขึ้น ทำให้เส้นพาสต้าสูญเสียองค์ประกอบอะไมโลสออกจากโครงข่ายโดพาสต้ามากกว่า ทำให้น้ำหนักหลังการปรุงสุก และร้อยละการดูดซับน้ำน้อยลงหลังจากปรุงสุก อย่างไรก็ตามหากพาสต้ามีโปรตีนกลูเตนเป็นองค์ประกอบจะส่งผลให้โครงข่ายโดพาสต้าในเส้นพาสต้ามีความหนาแน่น และเกิดการจับตัวกันของโครงข่ายที่

แข็งแรงขององค์ประกอบไขมันและอะไมโลส (lipid-amylose complex) ภายหลังจากอบแห้ง [14] ทำให้เส้นพาสต้า มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้น้อยลง ในระหว่างการปรุงสุก และส่งผลให้น้ำหนักหลังปรุงสุก ลดน้อยลงเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเบื้องต้น เส้นพาสต้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อน้ำหนักหลังปรุงสุกและความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นพาสต้าที่ผ่านการให้ความร้อนเบื้องต้นด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งเส้นพาสต้าด้วยอุณหภูมิสูง 80 องศาเซลเซียส ส่งผลให้แป้งเกิดการเจลละตินในเซชันที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ประกอบกับการจับกันเป็นโครงข่ายที่แข็งแรงระหว่างโปรตีนกับองค์ประกอบอะไมโลสภายในเส้นพาสต้า ทำให้เส้นพาสต้าที่ได้มีความแข็งแรงอีกทั้งการจับตัวกันอย่างหนาแน่นของโครงข่ายโดพาสต้ายังส่งผลให้น้ำหนักหลังการปรุงสุกและความสามารถในการดูดซับน้ำหลังการปรุงสุกของเส้นพาสต้าที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าเส้นพาสต้าที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งผ่านการให้ความร้อนเบื้องต้น 2 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามมีน้ำหนักหลังปรุงสุกและความสามารถในการดูดซับน้ำที่มากกว่าเส้นพาสต้าที่ผ่านการให้ความร้อนเบื้องต้นเป็นเวลา 4 และ 6 นาที ที่สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับงานวิจัย [10] พบว่าน้ำหนักหลังการปรุงสุกและความสามารถในการดูดซับน้ำ ของพาสต้าหลังปรุงสุกจะมีค่าลดลงเมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง โดยการตกตะกอนของโปรตีนกลูเตนจับตัวกันเป็นโครงข่ายที่แข็งแรงของเส้นพาสต้าจากแป้งสาลีก่อนการปรุงสุกนั้นจะถูกชักนำโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะเส้นพาสต้าที่มีปริมาณโปรตีนกลูเตนน้อยจะมีความแข็งแรงของเส้นพาสต้ามากขึ้นเมื่ออบแห้งที่

อุณหภูมิสูง แต่ขณะเดียวกันการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงไม่ได้มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นพาสต้าที่มีปริมาณโปรตีนกลูเตนสูง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณโปรตีนสามารถปรับปรุงคุณภาพ การปรุงสุกของเส้นพาสต้าได้นอกจากนี้การเติมโปรตีนชนิดอื่น เช่น โปรตีนไข่ขาว ยังสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพการปรุงสุกของเส้นพาสต้าให้ดีขึ้นได้ โดยส่งผลให้เส้นพาสต้ามีความแน่นเนื้อ (firmness) ยืดหยุ่น (elastic) และลดการสูญเสีย น้ำหนักระหว่างการปรุงสุกของเส้นพาสต้า ซึ่งสามารถนำมาปรับใช้ได้ดีกับพาสต้า ปราศจากกลูเตนได้นอกจากนี้การอบแห้งเส้นพาสต้าด้วยอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้อุณหภูมิในการปรุงสุก (pasting temperature) ของเส้นพาสต้าสูงขึ้น [15] ทำให้อุณหภูมิในการปรุงสุกของเส้นพาสต้าที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

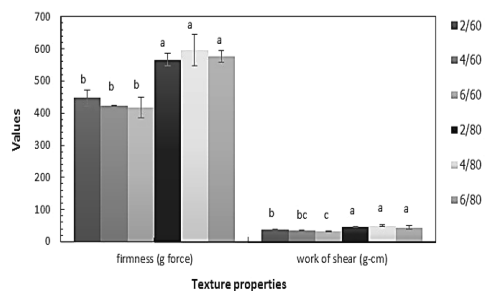


ภาพที่ 7 คุณภาพการปรุงสุกของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนหลังปรุงสุก

3.3.3 คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส

จากการทดสอบคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสโดยการวัดค่าความแข็ง (hardness) และแรงในการตัดขาด (work of shear) ของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนที่สภาวะการผลิตต่าง ๆ (ภาพที่ 8) พบว่าเวลาในการให้ความร้อนเบื้องต้นไม่มีผลต่อความแข็ง และแรงในการตัดขาดของเส้นพาสต้า แต่เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้เส้นพาสต้ามีความแข็งแรง

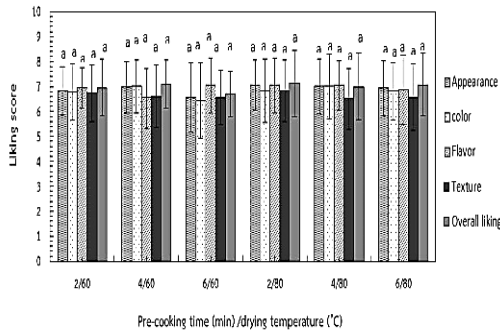
ขึ้นทำให้แรงในการตัดขาดสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้โครงข่ายภายในเส้นพาสต้ามีความหนาแน่น และเกิดการจับตัวกันของโครงข่ายที่แข็งแรงภายหลังการอบแห้ง [14] สอดคล้องกับงานวิจัย [10] พบว่าความแข็งของเส้นพาสต้าจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้เส้นพาสต้าที่ได้มีเกิดโครงข่ายที่แข็งแรงของโครงข่ายโปรตีน และเม็ดแป้งทำให้มีค่าแรงต้านทานการแตกหักที่สูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ



ภาพที่ 8 ค่าความแข็ง (firmness) และค่าแรงในการตัดขาด (work of shear) ของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนหลังปรุงสุก

3.3.4 ศึกษาคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัส

จากการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) พบว่าเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนที่ทุกสภาวะการผลิตมีคะแนนลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.5$) อย่างไรก็ตามเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มของคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.00-7.13 คะแนน) แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 คะแนนประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนแบบแห้ง

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวสังข์หยด โดยการเติมแทนแทนกับพบว่าแทนแทนสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพการปรุงสุกของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนได้ ซึ่งระดับการเติมที่เหมาะสม คือระดับสูงสุดร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้งข้าวสังข์หยด และเมื่อศึกษาสภาวะในการอบแห้ง พบว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนเบื้องต้นที่เหมาะสมที่สุด คือ 4-6 นาที เนื่องจากทำให้เส้นพาสต้าเกิดเจลและขาดยากในขั้นตอนการม้วน และไม่แตกหักในระหว่างการอบแห้ง โดยอุณหภูมิการอบแห้งที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยให้ลักษณะเส้นพาสต้าที่แข็งแรง และมีคุณภาพการปรุงสุกที่ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสโดยมีน้ำหนักหลังปรุงสุก และความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่า นอกจากนี้ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและความชอบ มากกว่าเนื่องจากเส้นพาสต้าที่ได้มีความหนาแน่น และมีความแข็งแรงกว่าการอบที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้เส้นพาสต้าอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีคะแนนความชอบด้านคุณภาพโดยรวมสูง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Marachai W., Kwangpan S., Phimolsiripol Y., Glycemic index and certain qualities of macaroni containing lablab flour (Dolichos lablab). Food and Applied Biosci J 2013; 1(3):146-159.
- [2] Giuberti G., Antonio G., Carla C., et al. Cooking quality and starch digestibility of gluten free pasta using new bean flour. Food Chem 2015; 175:43-49.
- [3] Mirhosseini H., Abdul Rashid NF., Amid BT., et al. Effect of partial replacement of corn flour with durian Seed flour and pumpkin flour on cooking yield, texture properties, and sensory attributes of gluten free pasta. LWT-Food Sci and Tech 2015; 63:184-190.
- [4] Sila MRF., Ana Paula M., Mônica CRA., et al. Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta. Food Chem 2016; 191:147-151.
- [5] Udachan IS., Sahoo AK.. Effect of hydrocolloids in the development of gluten free brown rice pasta. Int J ChemTech Res 2017; 10(6):407-415.
- [6] Gambus H., Sikora M., Ziobro R. The effect of composition of hydrocolloids on properties of gluten-free bread. Acta Sci. Pol., Technol. Aliment 2007; 6(3):61-74.

- [7] AOAC. Official Method of Analysis of the Association of Official Analysis Chemistry. 16th ed. AOAC International: Washington: USA; 2000.
- [8] Bergman CJ., Gualberto, DG., Weber CW. Development of a high-temperature dried soft wheat pasta supplemented with cowpea (*Vigna unguiculate*(L.)) cooking quality, color, and sensory evaluation. *Cereal Chem* 1994; 71:523-527.
- [9] Wang N., Bhirud PR., Sosulski FW., et al. Pasta-like product from pea flour by twin screw extrusion. *J Food Sci* 1999; 64:671-678.
- [10] Padalino L., Caliandro R., Chita G., et al. Study of drying process on starch structural properties and their effect on semolina pasta sensory quality. *Carbohydrate Polymers* 2016; 153: 229–235.
- [11] Guarda A., Rosell CM., Benedito C., et al. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids* 2004; 18:241–247.
- [12] Rosell CM., Rojas JA., Benedito C. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids* 2001; 15:75-81.
- [13] Smewing J. Analyzing the texture of pasta for quality control. *Cereal Foods World* 1997; 42:8-12.
- [14] Zhang L., Nishizu T., Hayakawa S., et al. Effects of different drying conditions on water absorption and gelatinization properties of pasta. *Food and Bioprocess Technol* 2013; 6(8):2000-2009.
- [15] D'Amico S., Maschle, Jekle M., et al. Effect of high temperature drying on gluten-free pasta properties. *Food Sci and Technol* 2015; 63:391-399.

The effect of the Kinesio taping at the leg on compensatory movement during walking in individuals with stroke

Anecha Horasart¹, Sunee Bovonsunthonchai^{1*}, Wanalee Klomjai¹

¹Faculty of Physical therapy Mahidol University, Salaya, Phutthamonthon,
Nakhon Pathom, 73170, Thailand

*Corresponding author. Tel.: +668 9812 8744, E-mail: sunee.bov@mahidol.edu

ABSTRACT

In walking of individuals with stroke, they usually present compensatory movement of the hip, knee, and ankle, instead of having normal movement. These problems may reduce the ability of daily living activities and increase the risk of fall. Therefore, present study aimed to investigate the effect of the Kinesio taping at the leg on compensatory movement during walking in individuals with stroke. Fourteen individuals with stroke participated in the study, classified into 11 males and 3 females. Their mean age was 57.42 ± 12.25 years and mean onset was 9.00 ± 5.57 months. Participants were assessed gait performance by using 3D motion analysis system at pre- and post-taping. Techniques of taping included 1) functional correction technique for the ankle dorsiflexion and pronation 2) inhibition technique at the ankle plantarflexors muscle. Averaged data from 3 gait trials were used in the analysis. The results showed significant improvement ($p < 0.05$) of gait speed, affected step length, single support time, and the ankle dorsiflexion after applying kinesio taping. In conclusion, the Kinesio taping may improve some gait performance but may not enough to reduce gait compensation significantly. Hence, a larger number of participants and long-term study is needed to investigate the effect of KT.

Keywords: Stroke, Gait, Compensatory movement, Kinesio Taping

1. INTRODUCTION

Stroke is a cerebrovascular disease caused by ischemic or hemorrhagic stroke. It leads to bodily functional loss that being control by the brain [1]. Stroke is a major health burden worldwide and in Thailand. It common cause of disability among elderly people, often resulting dependence in activities of daily living [2]. After a stroke, more than eight percent of individuals with stroke have motor impairments of lower extremity including muscle weakness, altered muscle tone, and abnormal

synergistic pattern. These impairments can contribute to the development of compensatory movement [3].

Gait deviation can observe in stance and/or swing phases. The most common gait compensation pattern of individuals with stroke was circumduction gait that increased hip abduction and external rotation. In addition, knee hyperextension at the terminal stance and ankle supination during swing and stance phases were found. These compensations assist toes clearance during a swing phase

Received 29-08-2018

Revised 24-10-2018

Accepted 31-10-2018

of gait [1, 3, 4]. Although the compensatory movement may help individuals with stroke to be able to perform daily activities, it can cause mal-adaptive brain plasticity in long-term of motor recovery and increased energy expenditure [Takeuchi, 2012 #257][5]. This abnormality results from weakness of ankle dorsiflexor muscles and/or excessive activity of ankle plantarflexor muscle. The ankle joint plays an important role in locomotion function not only supports the body during weight loading but also provides sensory information during walking. Therefore, strengthening of muscle and improvement of range of motion of the ankle are required to improve balance and gait ability [6].

Main goals of individuals with stroke and caregivers are able to walk and perform activity daily living independently. Thus, many rehabilitation programs have been used, focusing on gait improvements such as bobath technique, proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF), treadmill gait training, robotic gait training, functional electrical stimulation (FES), and assistive device application [7]. However, limitations of these rehabilitation techniques may include high cost, a range of motion limitation, and specialist dependency.

Recently, the Kinesio taping (KT) is another technique to improve proprioception, muscle activity, and joint alignment adjustment. It can be useful and have been proved for functional improvement and disability reduction [8]. KT frequency uses in sports, musculoskeletal, and neurological conditions [9]. In the previous study, application of KT has been reported to improve balance ability and gait performance [10]. In 2015, Kim et al. studied the effect of KT which applied around ankle joint compared with ankle-foot orthosis (AFO) on gait ability in individuals with stroke who have foot drop. Improvement in muscle activities of tibialis anterior and rectus femoris muscles

and increased ankle joint angle in the KT group were found. The authors described that KT application improved range of motion in the attachment areas and improvements of ankle joint stability and muscle activity [11]. In addition, Park et al. found improvement in gait ability after taping immediately on the quadriceps and tibialis anterior muscles [12].

Even though the improvements of cadence, gait speed, stride length, and ankle joint angle were found in the previous studies, but lack of information about the decrement of compensatory movement. Therefore, this study aimed to investigate the reduction of compensatory movement after applying Kinesio taping at the leg in individuals with stroke.

2. MATERIALS AND METHODS

The study design was a pre-post study design. Individuals with stroke were recruited from the Physical Therapy Center, Faculty of Physical Therapy, and Mahidol University. Prior to participating in the study, participants signed the informed consent which was approved by the institutional ethical committee (MU-IRB 2017/010.1701).

The inclusion criteria were age between 20-80 years, first stroke with onset between 1 month to 2 years, present observable gait problems such as insufficient ankle dorsiflexion, toe drag, abnormal foot supination during swing or stance phases of gait, mild spasticity of ankle plantarflexors, ankle invertors, hip adductor, and hip extensor muscles testing by the Modified Ashworth Scale ($MAS \leq 2$ scores), ability to walk at least 10 meters with or without using a cane, understand instructions and follow the research protocols, no cognitive impairment testing by the Thai Mental State Examination (TMSE > 23 scores), normal or partial impairment of proprioceptive sense at the

ankle joint and exteroceptive sense at foot and leg areas. Participants were excluded if they have visual deficits, ankle joint contracture, opened wound at the shank, calf, and foot, and have other neurological conditions.

Screening following the criteria, demographic recording, and physical examination was performed before beginning data collection.

2.1 Data collection protocol

Walking data were collected twice which were before and immediately after applied KT by 10 cameras of the ViconTM Motion Analysis System (T20-series). Prior to data collection, system and participant calibrations were performed. Sixteen retro-reflective markers were attached to the participants' body following the lower body Plug-in-gait model.

Participants walked with their bare feet along the 8 meters walkway. They were asked to walk through the capture area at their own comfortable speed for 3 trials. All walking data were recorded with a frequency of 100 Hz. A physical therapist walked beside the participants to prevent falling or any hazardous situation.

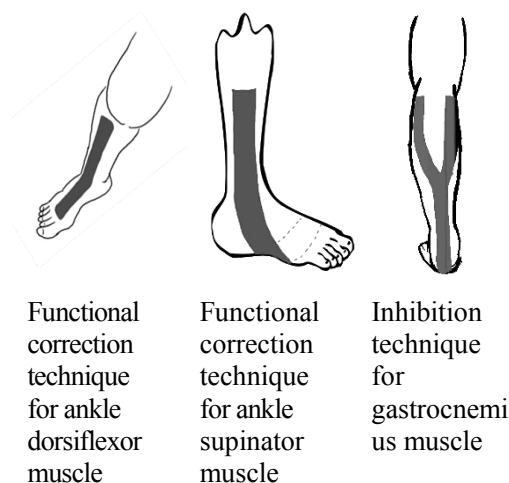


Figure 1. The Kinesio Tape application around the ankle joint.

KT with 5 cm dimension was used in this study. KT with functional correction technique was attached to ankle dorsiflexor and pronator muscles and inhibition technique was attached to gastrocnemius muscle (Figure 1).

2.2 Data processing and deduction

Gait data were selected at the middle part of walkway and gait events were tracked in accordance with foot markers. Butterworth filtering technique with cut off frequency at 6 Hz was applied. Kinematic variables were processed using the Nexus software.

2.3 Outcome variables

The values of temporo-spatial variables and kinematic variables were determined. For temporo-spatial variables included the step length (m), gait speed (m/s), single support time (% Gait Cycle: %GC) and double support time (%GC). For kinematic, variables included peak hip flexion (degree) at mid-swing, peak hip extension (degree) at pre-swing, peak hip abduction (degree) at mid-swing, peak hip external rotation (degree) at mid swing, peak knee flexion (degree) at mid-swing, peak knee extension (degree) at terminal stance, peak ankle dorsiflexion (degree) at initial contact, peak ankle plantarflexion (degree) at pre-swing, peak ankle supination (degree) at initial contact.

2.4 Data Analyses

The sample size is calculated based on our own pilot study ($n = 5$), with a set of 80 % statistical power and 5 % significance level and showing the number of the participant of 14.

The Kolmogorov Smirnov Goodness of Fit test was used to assess the distribution of the data and expressed with non-normality. The Wilcoxon Signed Rank test was used to

compare the data between before and immediately after applied KT. All data were tested with statistical significance at $p < 0.05$.

3. RESULTS

Demographic data are presented in Table 1. Fourteen patients with stroke participated in the study. They were eleven males and three females classified into the right ($n = 2$) and left ($n = 12$) sides affected. Their averaged age was 57.42 ± 12.25 years and stroke onset was 9.00 ± 5.57 months. Averaged TMSE and Fugl Myer Assessment (FMA) were 29.21 ± 0.97 and 28.71 ± 4.15 scores. The MAS scores of hip adductor, hip extensor, knee extensor, ankle plantarflexors, and ankle invertor muscles were 0.28 ± 0.61 , 0.28 ± 0.61 , 0.71 ± 0.73 , 1.35 ± 1.33 , 0.57 ± 0.64 , respectively.

Table 1. Demographic characteristic of participants.

Variables	Values (number or mean $\pm$ SD)
Male/Female (n)	11 / 3
Affected side (Rt. / Lt.) (n)	2 / 12
Age (years)	57.42 ± 12.25
Onset (months)	9.00 ± 5.57
TMSE (scores)	29.21 ± 0.97
FMA (scores)	28.71 ± 4.15
MAS of hip adductor (scores)	0.28 ± 0.61
MAS of hip extensor (scores)	0.28 ± 0.61
MAS of knee extensor (scores)	0.71 ± 0.73
MAS of ankle plantarflexors (scores)	1.35 ± 1.33
MAS of ankle invertor (scores)	0.57 ± 0.64

TMSE: Thai Mental State Examination,
FMA: Fugl Meyer Assessment scale,
MAS: Modified Ashworth Scale

Table 2 shows the comparison of temporo-spatial variables between before and after immediately applied KT. There were significant differences of the step length ($p = 0.003$), gait speed ($p = 0.030$) and single support time ($p = 0.002$) between before and immediately after applied KT.

Table 2. Comparison of temporo-spatial variables between before and after immediately applied KT

Variables	Before applied KT (Mean $\pm$ SD)	After immediately applied KT (Mean $\pm$ SD)	p-value
Gait speed (m/s)	0.41 ± 0.26	0.46 ± 0.25	0.003*
Step length (s)	0.31 ± 0.12	0.34 ± 0.10	0.030*
Single support time (%GC)	21.63 ± 8.00	24.29 ± 7.62	0.002*
Double support time (%GC)	42.10 ± 12.50	39.35 ± 11.72	0.060

*Significant difference tested by the Wilcoxon signed rank test at $p < 0.05$

Table 3 shows the comparison of kinematic variables in sagittal plane between before and immediately after applied KT. There were significant differences in the peak ankle dorsiflexion ($p = 0.011$).

Table 3. Comparison of kinematic variables in sagittal plane between before and immediately after applied KT.

Sagittal plane	Before applied KT (Mean $\pm$ SD)	After immediately applied KT (Mean $\pm$ SD)	p-value
Peak hip flexion	12.43 $\pm$ 7.82	12.11 $\pm$ 7.85	0.826
Peak hip extension	16.54 $\pm$ 8.84	17.09 $\pm$ 8.89	0.433
Peak knee flexion	28.36 $\pm$ 17.37	28.27 $\pm$ 16.56	0.975
Peak knee extension	5.74 $\pm$ 6.17	5.64 $\pm$ 6.43	0.975
Peak ankle dorsiflexion	12.28 $\pm$ 7.26	15.15 $\pm$ 8.44	0.011*
Peak ankle plantar flexion	8.19 $\pm$ 9.99	6.39 $\pm$ 10.08	0.109

*Significant difference tested by the Wilcoxon signed rank test at $p < 0.05$

Table 4 shows the comparison of compensatory movement between before and immediately after applied KT. There was no significant difference in the peak hip abduction, peak hip external rotation, peak knee extension, and peak ankle supination ($p > 0.05$).

Table 4. Comparison of compensatory movement between before and immediately after applied KT.

Sagittal plane	Before applied KT (Mean $\pm$ SD)	After immediately applied KT (Mean $\pm$ SD)	p-value
Peak hip abduction	3.30 $\pm$ 3.30	3.17 $\pm$ 3.91	0.363
Peak hip external-rotation	16.31 $\pm$ 19.37	16.31 $\pm$ 19.73	0.331
Peak knee extension	5.74 $\pm$ 6.17	5.64 $\pm$ 6.43	0.975
Peak ankle supination	6.27 $\pm$ 19.09	5.02 $\pm$ 22.59	0.778

*Significant difference tested by the Wilcoxon signed rank test at $p < 0.05$.

4. DISCUSSION

The aim of this study was to investigate the reduction of compensatory movement after applying KT at the leg in individuals with stroke. We hypothesized that the compensatory movement may be reduced after KT application. However, the results showed no significant reduction of compensatory movements during walking after KT application. Considering the alterations of temporo-spatial and kinematic data during gait, we found the improvements of gait speed, step length, single support time, and peak ankle dorsiflexion after applied KT.

For the improvements of temporo-spatials, this was supported by the study of Shirazi et al. in 2015 [13]. They applied KT

on the ankle joint to correct excessive ankle supination and found that postural balance and function were improved. They concluded that KT may provide cutaneous cues while talipes equinovarus was corrected, then the joint ROM and function were improved. Moreover, KT may explain by better co-contraction of the muscles around the ankle and increase ankle muscle strength which led to the improvement of postural control [6]. In addition, KT may improve the heel to contact and reduce the duration of the step and the swing phases, with the reduction of the overall duration of the gait cycle in consequently [14]. Therefore, the benefit of KT may provide improvements of gait speed, step length, and single support time. For the improvements of the kinematics, only the peak ankle dorsiflexion at initial contact was significantly improved. Whereas, peaks of hip flexion, hip extension, knee flexion, knee extension, and ankle plantar flexion did not found the change. The Functional correction may provide sensory stimulation in order to assist movement and acted as passive assist on taping target [8]. According to Callaghan et al. [15] study, they reported the improvements of ROM depended on attachment area of KT application. This happening may come from improvements of proprioceptive sensation and muscle activity. KT stimulated skin mechanoreceptors through stretch and pressure that increase cutaneous fusimotor reflex and then activated afferent sensory nerve activity [16]. Improvement of muscles activity was occurred by excitation of gamma motor nerves in skeletal muscle, as the tension of the fiber was raised at the taping area [17].

The previous study found that ankle dorsiflexion was importance to walk as a normal gait pattern [18]. To

achieve foot clearance, compensatory movement such as hip abduction during swing phase was used during gait and excessive circumduction movement occurred during fast walking speed [18]. Zollo et al. in 2015 [19] applied the AFO in individuals with stroke who had foot drop. They found that compensatory movement was reduced but no significant difference between control and AFO group. Similar to this study, there was no significant reduction of compensatory movements (peak hip abduction, peak hip external rotation, peak knee extension, peak ankle supination) after KT application. However, we found the only minor tendency of compensatory movement reductions of peak ankle supination around 1 degree. This accompanied with significantly increased ankle dorsiflexion angle which very important for foot clearance. Moreover, the result was the immediate effect of KT and taping only on the ankle. Gait behavior with a reduction of reduced compensation may require more time to enhance.

5. CONCLUSION

The findings of this study indicated that the KT applications with functional correction technique for ankle dorsiflexion and pronation and inhibition technique at gastrocnemius muscle were effective for improvement of gait speed, affected step length, single support time and ankle dorsiflexion but the evidence was insufficient to reduce gait compensation in individuals with stroke. Therefore, a larger number of samples and longer duration of application may need to investigate the effect of KT.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This study supported by the National Research Council of Thailand

grant, 2018 and Mahidol University. The authors would like to thank all patients for participating in the study. Moreover, the authors would like to thank all staffs from Physical Therapy center, Faculty of Physical Therapy, Mahidol University for their kindness throughout the study.

7. REFERENCES

- [1] Perry J., Burnfield JM. Gait Analysis: Normal and Pathological Function. 2nd ed. Thorofare: SLACK incorporated; 2010.
- [2] Balaban B., Tok F. Gait disturbances in patients with stroke. *PM&R* 2014; 6(7):635-42.
- [3] Yavuzer MG. Walking After Stroke: Interventions to restore normal gait pattern: Erasmus University Rotterdam; 2006.
- [4] Murray E. Stroke rehabilitation. Baltimore: Williams & Wilkins; 1987.
- [5] Takeuchi N., Izumi S. Maladaptive plasticity for motor recovery after stroke: mechanisms and approaches. *Neural plast* [internet]. 2012 [cited 2018 oct 20]; 359728-9. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22792492>.
- [6] Bae YH., Kim HG., Min KS., et al. Effects of lower leg kinesiology taping on balance ability in stroke patients with foot drop. *Evid Comple Altern Med* [internet]. 2015 [cited 2018 oct 20]; 125629-5. Available from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4633546/>.
- [7] Belda-Lois JM., Mena-del Horno S., Bermejo-Bosch I., et al. Rehabilitation of gait after stroke: a review towards a top-down approach. *J Neuroeng Rehabil* 2011; 8:66.
- [8] Kase K., Wallis J., Kase T. Clinical therapeutic applications of the kinesio taping method. 2nd edition. Tokyo, Japan: Ken Ikai Co. Ltd.; 2003.
- [9] Morris D., Jones D., Ryan H., et al. The clinical effects of Kinesio(R) Tex taping: A systematic review. *Physiother Theory Pract* 2013; 29(4):259-70.
- [10] Choi Y-K., Park Y-H., Lee J-H. Effects of Kinesio taping and McConnell taping on balance and walking speed of hemiplegia patients. *J Phys Ther Sci* 2016; 28(4):1166-9.
- [11] Kim WI., Park YH., Sung YB., et al. Effects of kinesio taping for ankle joint and ankle-foot orthosis on muscle stimulation and gait ability in patients with stroke suffering foot drop. *Adv Sci Technol* 2015; 116:261-265.
- [12] Park SJ. The immediate effects of proprioceptive neuromuscular facilitation with taping on gait parameters in patients with chronic stroke. *J Phys Ther Sci* 2017; 29(11):2018-21.
- [13] Rojhani SZ., Amirian S., Meftahi N. Effects of Ankle Kinesio Taping on Postural Control in Stroke Patients. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2015; 24(11):2565-71.
- [14] Magalhães HCdG., Menezes KKPd., Avelino PR. Efeitos do uso do Kinesio® Taping na marcha de indivíduos pós-acidente vascular encefálico: uma revisão sistemática com metanálise. *Fisioterapia e Pesquisa* 2017; 24:218-28.
- [15] Callaghan MJ., Selfe J., Bagley PJ., et al. The Effects of Patellar Taping on Knee Joint Proprioception. *J Athl Train* 2002; 37(1):19-24.
- [16] Allah Rastil Z., Shamsoddini A., Dalvand H., et al. The Effect of Kinesio Taping on Handgrip and

- Active Range of Motion of Hand in Children with Cerebral Palsy. Iran J Child Neurol. 2017; 11(4):43-51.
- [17] Kim WI., Choi YK., Lee JH., et al. The effect of muscle facilitation using kinesio taping on walking and balance of stroke patients. J Phys Ther Sci. 2014; 26(11):1831-4.
- [18] Stanhope VA., Knarr BA., Reisman DS., et al. Frontal plane compensatory strategies associated with self-selected walking speed in individuals post-stroke. Clinical biomechanics (Bristol, Avon). 2014; 29(5):518-22.
- [19] Zollo L., Zaccheddu N., Ciancio AL., et al. Comparative analysis and quantitative evaluation of ankle-foot orthoses for foot drop in chronic hemiparetic patients. Eur J Phys Rehabil Med. 2015; 51(2):185-9.

The results from applying statistical technology software into classroom in comparison against the lecturer's traditional calculation by hand

Komm Pechinthorn

Marketing Department, International College, Rajamangala University of Technology Krungthep
2 Nang Linchi Road, Thung Maha Mek, Sathorn, Bangkok, Thailand 10120

*Corresponding author. Tel: +66 2287 9600, Email: komm.p@mail.rmuk.ac.th

ABSTRACT

The purpose of this research was to find out whether or not technology which has impact on the student's motivation, interested way of learning, understanding, ability to apply after graduation, effectiveness and should be applied again in the statistic subject. Our procedure involved the completion of one real classroom over the course of 15 weeks study. The entire class was designed to learn by the traditional way along with the computer-based statistical software to calculate the complicated numbers in statistics subject in order to compare the differences. Likert scale questionnaire and before-after-statistical test were used as tools to collect and analyze the data respectively. In addition, in-depth interview was also included to ensure the quality of quantitative findings. Results of this research indicated the idea that when applying technology into classroom at university level, students evidently and strongly prefer the technology rather than the traditional method where calculations take long time and are done by hand on the board.

Keywords: Applying statistical technology software, Traditional calculation by hand, Benefit of using technology

1. INTRODUCTION

Technology is now the forefront of the modern world to create new jobs, innovations, and networking sites to allow individuals to connect globally. Computer software and Internet are among the fastest growing and most important in education nowadays [1]. Evidently, companies accept and hire employees from online graduates to work for them not only from the traditional curriculum universities. This is a strong indication that students can benefit from technology learning process [2]. Undoubtedly, the educational leaders and policy makers are having difficulty managing the young students and preparing them for the 21st century. Innovative use of modern technology is one way to improve

the vision of schooling [3]. Hence, an attempt to introduce the technology into classroom and to measure the effectiveness might be worthwhile and could alleviate the difficulties for educational policy makers in Higher Education.

There is strong evidence indicating for using technology leading to higher score of standardized tests [4], nonetheless the noticeable emphasis should not be limited on the test score of that specific course. Instead, how to increase their motivation, enable those who cannot perform in traditional classes, make them more positive toward education with new technology should be carefully discussed by educational researchers [4]. There has been research finding that classroom is the place where students spend their learning

Received 03-07-2018

Revised 25-10-2018

Accepted 31-10-2018

times. Generally, students feel bored and have less contributions in traditional classroom without technology support. Teachers are not able to motivate the students. Therefore, it is a huge barrier to increase the quality of education [5].

Therefore, this research has been formed to reveal and answer questions to those challenges by testing in statistics class in International College of Rajamangala University of Technology Krungthep (ICRMUTK), a public university located in the central of Bangkok, Thailand. Traditional calculation by hand from mathematicians and university teachers on the board is the traditional way in class making students feel highly complicated and extremely bored. It also makes students who are not smart in mathematic often feel discouraged, lose focus and try to pass with minimum effort. In addition, the expected beneficiaries of this research are teachers who recognize themselves as furthering the improvement of the classroom and eliminating complications and boredom in statistic and related classes.

1.1 Literature Review

Educational results were identified in Pittsburgh, Iowa where an algebra curriculum that combined the traditional approach with the use of technological computer tools. Koedinger et al. [6] found that there was a 15% increased score on the Iowa Algebra Aptitude Test, which was significantly higher than the comparison group without such tools. Angrist and Lavy [7] presented a similar research finding that not only technology improve students' accomplishment on test scores, it also increases their GPA eventually. The empirical research finding show that technology integration in teaching field is encouraged for many reasons which include academic ability improvement, more engagement and better collaborative learning enhancement [8].

Furthermore, Morgan and Ritter [9] conducted an educational research on technology with Mathematics subjects in Oklahoma, United States. By choosing many ethnicities and both sexes to represent the data, they discovered the students in computer-based curriculum outscored the students registered for the traditional math curriculum in 5 of the junior high school within the testing area. Moreover, Harandi [10] strengthens the use of new technology, for instance, websites, computers, internet and electronic media in classroom and shows the results lead to successful learning process for students in university level. Technology does not limit itself into helping educational industry. In medical industry, it is also used in various fields to help people disabilities. One medical study found that reading disorder called Dyslexia prevents students to read quickly, spell and pronouncing words correctly can be improved significantly by using the computer remediation program. The score is much higher and rises above the normal range [11]. Even for country that is considered behind in Information technology, it is a powerful tool for the development of quality and must be ensured for maximized use in teaching and learning system [12].

Despite those successful in applying technology to students, many research findings said otherwise. Funkhouser [13] argues that some studies did not find significant differences in motivation, student attitude and improvement towards using technology even though most of the researches usually back up the correlation of improved attitude with applying technology in class. As one research concluded, Norton et al. [14] disagree with the claim that simply using technology or putting computers in the classroom is likely to lead the students to such positive changes in learning outcome. In fact, it would depend on many uncontrollable internal and external factors. Although

the students gain many benefits of using technologies, downloadable class materials, instant messaging, lack of engagements, technological cheating opportunities and the social network are considered the disruptions in classroom [15]. Lack of access, lack of effective training, students' attitude, and teachers' attitude were identified as barriers to hinder the use of technology [16]. Meanwhile, Younes and Al-Zoubi [17] conducted a research on exploration of pros and cons of the internet network which include several part of exchanging information, entertainment and communication. Apparently, over 90% of the respondents have strong desire to use the internet. However, their finding revealed the negative impacts on using internet such as ethical, social and health problems when overconsuming. Moreover, Younes and Al-Zoubi [17] point out that the value of oriented family interaction was eroded by negative impact of media and technology. Therefore, applying statistical technology software must be implemented in class with prudent consideration.

2.METHODOLOGY

2.1 Research Population and Data Collection

The 4th year undergraduate students in ICRMUTK with the total of 37 are the research populations. There are 17 male and 20 female students with the age range of 22 to 25 years old who already have some knowledge about statistic from hand-calculated General Mathematics and Quantitative Analysis subjects throughout the first three years of the university. They were approached by the researcher inside the classroom since week 1 given the 15 weeks long in one semester. International Business Research is a required class as a core subject for the students in the last year prior to graduation which includes

many types of complex hand calculations. Therefore, this research selected and tested in International Business Research subject.

To actively approach the students who were used as samples, clear explanation and instructions by the researcher were informed repeatedly about the goal and benefit of this research since week 2 and later on. After week 15, the researcher asked them to complete the questionnaires by comparing the hand calculation against the applying the technology of statistical software. To assure the most accurate data, the questionnaires have been screened by the researcher and 2 assistants to avoid simple mistakes. In addition, qualitative data were obtained from in-depth interview from some students.

Prior to commencing the testing, the researchers determined the significant level at 0.05. The 5-point Likert-type scale has been put in the questionnaires to make it applicable for respondents when filling the information. The range of score from the respondents is 1 to 5 with indication of strongly disagree to strongly agree respectively with 3 as neutral in order to ensure the accuracy and standard when data collecting.

2.2 Actual classroom procedures

Multiple functions in statistical software namely SPSS, Excel and Minitab. are calculated and shown on the board to the 37 students as shown in Table 1. Due to the fact that each software does not have all calculation functions to cover different types of statistical knowledge, the researcher applies 2 software to make the class as effective as possible

Meanwhile, the class usually starts with hand calculation before applying statistical technology software. For that reason, the students perceive the sense of comparison throughout the semester.

Table 1. Completed details of function buttons demonstrated in real classroom

Statistical software program	Direction: Click the buttons below in order			Student's learning objective
SPSS	Analyze=>	Descriptive Statistics =>	Explore	Normality of the data
	Analyze=>	Compare Means=>	One Sample T-test	Significant level of data
Excel	Data=>	Data Analysis =>	Anova: Single Factor or Anova: Two Factor	Analysis of variance of data with single and two factors
Minitab	Stat=>	Basic Statistics =>	Normality Test	Normality of the data
	Stat=>	Nonparametric=>	1-Sample Sign	Significant level of data
	Stat=>	Regression=>	Fit Regression Model	Significant level data with regression model

2.3 Research Hypothesis

To measure the internal consistency for Likert-type data collected, Cronbach's Alpha will be tested to check the reliability before further analyzing data.

The hypothesis of the normality of the collected data

Two separate hypotheses are presented below for this research. Secondly, the normality test of the collected data will be tested to find out whether or not they are normally distributed in order to select the most accurate statistical running software. The Kolmogorov-Smirnov test by Minitab is applied for this hypothesis.

H₀: the collected data from this class has normal distribution

H₁: the collected data from this class does not have normal distribution

The hypothesis of positive implication

Last, the attempt to test positive implication by using **Before** (traditional hand calculation method) against **After** (using statistical software/technology application in the subject). The hypothesis is seeking the result for testing in six different categories including motivation, interesting way of learning, understanding, ability to apply after graduation, effectiveness and technology continuation in the statistic subject.

H₀: **After** applying Technology in class, it does not have positive impacts to the students than **before**.

H₁: **After** applying Technology in class, it has positive impacts to the students than **Before**.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Table 2. Reliability Statistics by SPSS

Item-Total Statistics		
Category of Testing	Scale mean if item deleted	Cronbach's Alpha if item deleted
Motivation (Q1)	5.6757	0.854
Interesting way of learning (Q2)	5.5135	0.818
Understanding (Q3)	6.2162	0.842
Ability to apply after graduation (Q4)	5.4865	0.849
Effectiveness (Q5)	5.5135	0.814
Technology continuation (Q6)	5.7838	0.821

The Cronbach's Alpha scores from question 1 to 6 from Table 2 above are all high with the lowest score of 0.814. It can be anticipated that the data has acceptable reliability since the reliability coefficient of 0.70 or higher is considered to be qualified in most researches.

Table 3. Tests of Normality of Collected Data by SPSS

Category of Testing	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	N	Significant Level
Q1	0.184	37	0.003
Q2	0.199	37	0.001
Q3	0.183	37	0.003
Q4	0.178	37	0.004
Q5	0.216	37	0.000
Q6	0.199	37	0.001

Before running the data by using statistical software of Minitab, the raw data is required to test their normality in order to have the most accurate research finding. As presented in Table 3, the numbers of P-value or significant level are all less than 0.05 and stay near 0.00 which reject the hypothesis. These indicate the data collected from the questionnaires is not normally distributed. Therefore, statistic function such as One Sample T-test from SPSS is ignored, and the nonparametric 1-sample Sign Test from Minitab software is chosen.

Table 4: Descriptive statistics by Minitab software version 18

Sample	N	Mean	Standard Deviation	Std. Error Mean
Q1	37	1.1622	1.40463	.23092
Q2	37	1.3243	1.39551	.22942
Q3	37	0.6216	1.60470	.26381
Q4	37	1.3514	1.29564	.21300
Q5	37	1.3243	1.27048	.20887
Q6	37	1.0541	1.15340	.18962

Table 5. The nonparametric Sign Test by Minitab software version 18

Sign Test for Median: Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6
 η : median of Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6

Null hypothesis		$H_0 : \eta = 0$		
Alternative hypothesis		$H_1 : \eta > 0$		
Sample	Number < 0	Number = 0	Number > 0	P-Value
Q1	7	9	21	0.006
Q2	7	6	24	0.002
Q3	10	7	20	0.049
Q4	5	10	22	0.001
Q5	7	6	24	0.002
Q6	3	11	23	0.000

After running the data by using nonparametric test of Minitab on Table 4, the descriptive all 6 questions are presented with number of respondents, mean, standard deviation and standard error. On Table 5, the results tend to be in the same direction representing all numbers of P-value or significant level at less than 0.05. These rejected the hypothesis. Therefore, After applying Technology in class, it has positive impacts to the students than Before. However, question 3 presented to P-value of 0.049, which is the nearest to not being rejected at >0.05 . For this question, the respondents are doubting whether they have better understanding when applying technological statistical software in class against the calculation by hand. In fact, calculation by hand remains the fundamental of mathematical and statistic subject by most teachers.

Overall, the findings in this research indicate that applying technology in statistic related subject is moving toward benefits rather than negative which is related to work done by [12]. Technology provides the amazing potential to deepen skills, accelerate, engage and enrich students. Furthermore, better school experience, strengthening teaching and helping positive changes are the result of applying technology [12]. The respondents apparently demand more technology which is associated with the finding of McIntyre et al. [8] where they point out the trend of the students are quite hungry for greater autonomy, independence and technology in classroom learning more than they commonly receive from teachers.

From study's in-depth interviews, it was found that statistical technology software such as SPSS, Excel and Minitab made students feel more motivated, interested and effective because it provided the easiness and saved

substantial amount of time from the hand calculation by teachers. Students can play on their phones and lose focus any moment during class. They realized and agree with the fact that once they have jobs after graduation, there is a possibility to use these statistical functions to calculate real data. In fact, they cannot do the same with the complicated hand calculations. The qualitative data reveal clear implication about the level of understanding of the selected subject in this research. Despite the fact that 21st century students are likely to take shortcut and prefer the easiest way to pass the class, they realized and informed the understanding of statistic related class must come from calculation by hand. From the quantitative and qualitative interpretation, researchers have to continue the testing and investigation on how much value of technology to education in the hope of significantly outscoring the barriers [18].

4. CONCLUSIONS

This group of 4th year student prefers using technology in the statistics class and demand more technology in the future. Undoubtedly, the benefit of using technology in teaching the classroom is significant and technology itself has potential to be a powerful tool in education. Nevertheless, there are controversies in this topic and By evaluating this research findings and reviewing many technology-based learning and teaching research, educators and teachers need to realize that benefit of using technology does not solely determine by its effectiveness instead it is the pedagogy who does. To make a smooth transition from traditional teaching method to highly enriched-technological method, teachers are obligated to monitor, adapt and alter their teaching approaches to

achieve the near perfect results. That notion implies more additional outside-of-class work for teachers along with more sacrifices in their professions.

5. RESEARCH SUGGESTIONS

To get more thoroughly accurate research finding, the data based on the sex of the respondents should be separately collected. So, the research could see the differences and test whether they are significant. Furthermore, group of respondents should not only be limited within the International College ICRMUTK. Different majors such as engineers, liberal art, tourism, education, business Thai program and textiles are available to research.

6. REFERENCES

- [1] Grubler A., Technology and Global Change. Cambridge: Syndicate of the University of Cambridge; 2003.
- [2] O'Donoghue J., Singh G., Green C. A Comparison of the Advantages and Disadvantages of IT Based Education and the Implications upon Students. Interactive Educational Multimedia 2004; 9:63-76.
- [3] Ball DL., Forzani FM. The Work of Teaching and the Challenge for Teacher Education. Journal of Teacher Education. 2009; 60(5):497-511.
- [4] Saba A. Benefits of Technology Integration in Education. Synthesis paper, Boise: EducationTech 501; 2009.
- [5] Tas S. According to Candidate Teachers Views Classroom Management Problems of Teachers in Traditional and Technology-supported Classrooms. Universal Journal of Educational Research 2017; 5(11):2005-15.
- [6] Koedinger K., Anderson JR., Hadley W.H., et al. Intelligent tutoring goes to school in the big city. International Journal of Artificial Intelligence in Education 1997; 1(8):30-43.
- [7] Angrist J., Lavy V. New evidence on classroom computers and Pupil learning. The Economic Journal 2002; 112:735-65.
- [8] McIntyre D., Pedder D. and Rudduck J. Pupil voice: comfortable and uncomfortable learnings for teachers. Research Papers in Education 2005; 20(2):149-68.
- [9] Morgan P., Ritter S. An experimental study of the effects of Cognitive Tutor® Algebra 1 on student knowledge and attitude. Pittsburgh: Carnegie Learning, Inc.; 2002.
- [10] Harandi SR. Effects of e-learning on students' motivation. Procedia-Social and Behavioral Sciences 2015; 181: 423-30.
- [11] Temple E., Deutsch G., Poldrack R., et al. Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: Evidence from functional MRI. Proceedings from the National Academy of Sciences 2003; 100(5):2860-5.
- [12] Yusuf MO. Information and communication education: Analyzing the Nigerian national policy for information technology, International Education Journal 2005; 6(3):316-21.
- [13] Funkhouser C. The Effect of Computer-Augmented Geometry Instruction on Student Performance and Attitudes. Journal of Research on Technology in Education 2002; 35(2):163-75.
- [14] Norton S., McRobbie CJ., Cooper TJ. Exploring Secondary Mathematics Teachers' Reasons for not using Computers in Their

- Teaching: Five Cases Studies. Journal of Research on Computing Education 2000; 33(1):87-110.
- [15] Nworie J., Haughton N. Good intentions and unanticipated effects: The unintended consequences of application of technology in teaching and learning environments. Tech Trends 2008; 5(5):52-8.
- [16] Riasati MJ., Allahyar N., Tan K. Technology in Language Education: Benefits and Barriers. Journal of Education and Practice 2012; 3(5): 25-30.
- [17] Younes MB., Al-Zoubi S. The Impact of Technologies on Society: A Review. IOSR Journal of Humanities and Social Science 2015; 20(2):82-6.
- [18] Davies TL., Lavin AM., Korte L. Student perceptions of how technology impacts the quality of instruction and learning. Journal of Instructional Pedagogies 2009; 1:2-16.

การสร้างฐานข้อมูลด้วยไมโครซอฟท์เอ็กเซลสำหรับการคำนวณแรงดันตกตามมาตรฐาน
การติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ด้วยซีพลัสพลัสบิวเดอร์
Database Building with Microsoft Excel for Voltage Drop Calculation according
to Thai Electrical Code 2013 with C++ Builder

ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย^{1*}, ประเสริฐ เผ่าชู², เอกพล อนุสุเรนทร์¹

ชูศักดิ์ กมลขันดิษฐ์¹, วินัย เมธาวิตต์¹, วิริยะ ศิริชานนท์²

Chainarong Wisassakwchai^{1*}, Prasert Phaochoo², Ekkapol Anusurain¹

Choosak Kamonkhanthithorn¹, Winai Methavithit¹, Wiriya Sirichanon²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

²สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

¹Division of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep

²Division of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep

*Corresponding author. Tel.: +668 1343 7693, E-mail: chainarong.w@mail.rmuk.ac.th

บทคัดย่อ

การออกแบบระบบไฟฟ้าให้เป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้ง จะมีความเกี่ยวข้องกับตารางข้อมูลตัวเลขจำนวนมากสำหรับใช้ประกอบการคำนวณให้เป็นไปตามข้อกำหนด บทความนี้จะนำเสนอการพัฒนาวิธีการทางคอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณแรงดันตกในสายไฟฟ้าของงานออกแบบระบบไฟฟ้า ด้วยการใช้ตารางข้อมูลแรงดันตกของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ทำการสร้างแบบจำลองตารางเชิงนามธรรม (abstract table model) ให้กับตารางข้อมูลแรงดันตกในรูปของเซตป้ายกำกับ (labeled set) โดยสามารถนำโดเมนป้ายกำกับ (labeled domain) ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปจัดระบบฐานข้อมูลรูปแบบไฟล์ของไมโครซอฟท์เอ็กเซล เพื่อให้สามารถใช้เทคโนโลยีซีโอเอ็ม (COM; component object model) ของไมโครซอฟท์ สำหรับการประมวลผลระบบฐานข้อมูลในการคำนวณแรงดันตกด้วยภาษาการโปรแกรมซีพลัสพลัส (C++ programming language) ของซอฟต์แวร์ซีพลัสพลัสบิวเดอร์ (C++ Builder) จึงทำให้สามารถใช้เทคนิคการโปรแกรมเชิงวัตถุ (object-oriented programming; OOP) และการโปรแกรมด้วยวีซีแอล (VCL; visual component library) พัฒนาโปรแกรมประยุกต์คำนวณแรงดันตก ให้ทำงานแบบจิวไอ (GUI; graphical user interface) บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์

คำสำคัญ: การออกแบบระบบไฟฟ้า แรงดันตก แบบจำลองตารางเชิงนามธรรม เซตป้ายกำกับ โดเมนป้ายกำกับ ระบบฐานข้อมูล ไฟล์ข้อมูลแบบไมโครซอฟท์เอ็กเซล การโปรแกรมเชิงวัตถุ

Received	11-10-2018
Revised	23-11-2018
Accepted	26-11-2018

Abstract

Electrical system design according to installation standard complies with an electrical code which concerns about numeric values of tabular data to use in the design calculations. This paper presents the development of computational methods for voltage drop calculation of circuit conductors in the electrical system design by using the tables of voltage drop of Thai Electrical Code 2013. The tables of voltage drop will be modeled by abstract tables that express as labeled sets. Their labeled domains can be used to create database system in the file format of Microsoft Excel for the data processing through component object model (COM) technology of Microsoft. This data processing of voltage drop calculation is implemented by C++ programming language of C++ Builder software then the object-oriented programming (OOP) and visual component library (VCL) can be used to develop graphical user interface (GUI) application on Windows operating system.

Keywords: electrical system design, voltage drop, abstract tables, labeled sets, labeled domains, database system, file format of Microsoft Excel, object-oriented programming

1. บทนำ

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ได้กำหนดค่าแรงดันตกในรูปแบบของตารางตัวเลขของค่าแรงดันตก เพื่อใช้ในการออกแบบระบบไฟฟ้า โดยค่าแรงดันตกของตารางขึ้นอยู่กับระบบไฟฟ้า ลักษณะการติดตั้ง และขนาดของสายไฟฟ้า การนำคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือช่วยคำนวณแรงดันตกจึงมีอุปสรรคเพราะการอ่านค่าจากตารางแรงดันตก ที่ขึ้นกับหลายปัจจัยดังกล่าวโดยคอมพิวเตอร์ทำได้ยาก แต่โดยแนวคิดของตารางเชิงนามธรรม [1] ทำให้สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตารางข้อมูลที่สามารถนำไปสู่การสร้างขั้นตอนวิธีสำหรับใช้คอมพิวเตอร์ ประมวลผลได้โดยอาศัยภาษาการโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ซอฟต์แวร์ซีพลัสพลัสบิวเตอร์ถูกนำมาใช้พัฒนา โปรแกรมช่วยคำนวณทางวิศวกรรมอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน เห็นได้จากเป็นเครื่องมือช่วยคำนวณสำหรับแบบจำลองการขับเคลื่อนเชิง

คณิตศาสตร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส [2] เพื่อให้ได้ข้อมูลวิเคราะห์สภาพการทำงานทั้งในภาวะชั่วคราวและสถานะอยู่ตัว ศักยภาพด้านงานคำนวณของซอฟต์แวร์ซีพลัสพลัสบิวเตอร์เป็นผลโดยตัวเองของความเป็นภาษาการโปรแกรมซีพลัสพลัส จึงถูกนำไปพัฒนาโปรแกรมจำลองสถานการณ์ทางวิศวกรรมไฟฟ้า [3-4] และไม่เพียงความสามารถในการคำนวณ แต่ยังมีสภาพแวดล้อมของการโปรแกรมเชิงภาพ (visual programming environment) สำหรับพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ตามแนวคิดแบบอาร์เอดี (rapid application development, RAD) ที่จะสื่อสารกับผู้ใช้ในแบบจียูไอ [5-6] ด้วยคุณลักษณะเด่นข้อนี้ จึงได้มีการนำไปพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ ในส่วนของสถานีเฝ้าติดตามและสถานีควบคุมของระบบวัดแบบกระจายตัวในงานเฝ้าติดตามคุณภาพกำลังไฟฟ้าของระบบส่งจ่าย [7] นอกจากการใช้ซอฟต์แวร์ภาษาการโปรแกรมยังมีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเป็นเครื่องมือ

ช่วยคำนวณทางวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งพบว่า ไมโครซอฟต์แวร์อิเล็กทรอนิกส์ถูกนำไปดำเนินงานในระเบียบวิธีออกแบบวงจรแปลงผัน แบบบัค (buck converter) ที่ใช้ดีเอสพี (DSP; digital signal processor) เป็นฐาน [8] และแม้แต่ในการวิเคราะห์ระบบกำลังไฟฟ้าขนาดใหญ่ของปัญหาการไหลของภาระ (load flow) [9] ก็ไม่ได้ เป็นข้อจำกัด

เป้าหมายของงานในที่นี่คือ วิธีการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ที่เป็นผลการทำงานของทั้ง ซอฟต์แวร์ภาษาการโปรแกรมซิปส์พลัสบิวดอร์ และโปรแกรมสำเร็จรูปไมโครซอฟต์แวร์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกันด้วยเทคนิคของระบบอัตโนมัติโอแอลอี (object linking and embedding, OLE) ในการนี้สมุดงานของไมโครซอฟต์แวร์อิเล็กทรอนิกส์ จะถูกใช้จัดฐานข้อมูลสำหรับข้อมูลตาราง ของการคำนวณแรงดันตก ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 และใช้ซีแอลของซิปส์พลัสบิวดอร์ เป็นกลไกสร้างความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับวัตถุเชิงโปรแกรมต่าง ๆ (programmable objects) กับชุดซอฟต์แวร์ไมโครซอฟต์แวร์ออฟฟิศ โดยเทคโนโลยีซีไอเอ็มของไมโครซอฟต์แวร์ ด้วยเทคโนโลยีนี้จะทำให้ไมโครซอฟต์แวร์อิเล็กทรอนิกส์สามารถทำงานได้ผ่านทางตัวแบบของการโปรแกรม สำหรับการคำนวณแรงดันตกด้วยการโปรแกรมเชิงวัตถุบนซิปส์พลัสบิวดอร์

1.1 หลักการที่เกี่ยวข้อง

ภาคผนวก ก. ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 [10] ได้เสนอข้อแนะนำสำหรับการคำนวณแรงดันตก โดยมีตารางข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 4 ตาราง ได้แก่ ตารางที่ ฐ.1 ถึง ฐ.4 ลักษณะของตารางแสดงดังภาพที่ ก1. ใน

ภาคผนวก ก. ทั้งหมดสามารถจำลองให้อยู่ในรูปของตารางเชิงนามธรรมดังต่อไปนี้

1.1.1 แบบจำลองของตารางข้อมูล

ตารางข้อมูล สามารถเขียนแสดงออกมาในรูปของเซตป้ายกำกับที่มีลักษณะเป็นคู่อันดับ (ordered pair) ทั้งนี้ป้าย (label) อาจเป็นสายอักขระของตัวอักษรและสัญลักษณ์ หรือเป็นสายอักขระว่างเปล่า (empty string) ก็ได้โดยการใช้คู่อันดับ (l, set) แสดงถึงเซตป้ายกำกับ และถ้าเซตในเซตป้ายกำกับเป็นเซตว่างแล้ว ($l, \emptyset$) คือเซตว่างป้ายกำกับ (labeled empty set) โดยจะเรียกใหม่ว่าโดเมนป้ายกำกับ Wang [11] ได้นิยามโดเมนป้ายกำกับในเชิงอุปนัย ดังต่อไปนี้

1. เซตว่างป้ายกำกับ ($l, \emptyset$) คือโดเมนป้ายกำกับ
2. เซตป้ายกำกับของโดเมนป้ายกำกับในลักษณะที่ป้ายต่าง ๆ ของโดเมนป้ายกำกับมีความแตกต่างกันทุกคู่ (pairwise distinct) จะเป็นโดเมนป้ายกำกับด้วย
3. เฉพาะโดเมนป้ายกำกับที่สร้างขึ้นจากกฎเกณฑ์ในข้อ 1. และ 2. เท่านั้น จึงถูกต้องตามหลักการ

ด้วยเหตุนี้โดเมนป้ายกำกับ D ใด ๆ จึงเขียนออกมาได้ในลักษณะ

$$D = (l, s)$$

ทำการพิจารณาภาพลักษณะของตาราง ฐ.1. ในภาคผนวก ก. จะสามารถกำหนดโดเมนป้ายกำกับได้ดังต่อไปนี้

$$D_1 = (l_1, s_1)$$

เมื่อ l_1 คือ “ขนาดสาย(mm²)” โดยที่

$$s_1 = \{("1.0", \emptyset), K, ("500", \emptyset)\}$$

และ

$$D_2 = (l_2, s_2)$$

เมื่อ l_2 คือ “1 เฟส AC(mV/A/m)” โดยที่

$$s_2 = (l_3, s_3)$$

เมื่อ l_3 คือ “รูปแบบการติดตั้ง” โดยที่

$$s_3 = \{(l_4, \Phi), (l_5, s_5)\}$$

เมื่อ l_4 คือ “กลุ่มที่ 1,2” และ l_5 คือ “กลุ่มที่ 3,7” โดยที่

$$s_5 = \{(l_6, \Phi), (l_7, \Phi)\}$$

เมื่อ l_6 คือ “Touching” และ l_7 คือ “Spaced”
ทำให้ได้ว่า

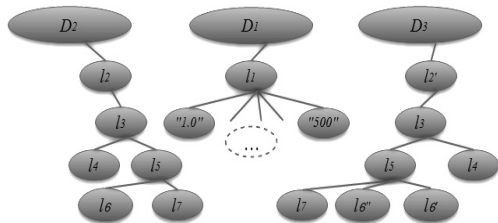
$$D_1 = (l_1, ("1.0", \Phi), K, ("500", \Phi))$$

$$D_2 = (l_2, \{(l_3, \{(l_4, \Phi), (l_5, \{(l_6, \Phi), (l_7, \Phi)\})\})\})$$

ในการทำงานเดียวกันหากกำหนดให้ l_2' คือ “3 เฟส AC(mV/A/m)” l_6' คือ “Trefoil” และ l_6'' คือ “Flat” ก็จะสามารถกำหนดโดเมนป้ายกำกับให้ส่วนที่เหลือของภาพลักษณะของตาราง รูป.1 คือ

$$D_3 = (l_2', \{(l_3, \{(l_4, \Phi), (l_5, \{(l_6', \Phi), (l_6'', \Phi), (l_7, \Phi)\})\})\})$$

โดเมนป้ายกำกับทั้งหมด สามารถเขียนอธิบายด้วย
ด้วยแผนภาพต้นไม้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพต้นไม้ของโดเมนป้ายกำกับของ
ภาพลักษณะตาราง รูป.1

การระบุเอกลักษณ์ให้กับโดเมนย่อยป้ายกำกับต่าง ๆ (labeled subdomains) ภายในโดเมนป้ายกำกับจะใช้สิ่งที่เรียกว่า ลำดับของป้าย (label sequences) ดังนี้ โดยการกำหนดว่า l เป็นลำดับของป้าย ระบุเอกลักษณ์ให้กับโดเมนป้ายกำกับ $D = (l, s)$ ดังนั้นหากขยายแนวคิดนี้ออกไปถึง

โดเมนป้ายกำกับที่ประกอบด้วยโดเมนป้ายกำกับที่บรรจุเซตของโดเมนป้ายกำกับต่าง ๆ

$$s = \{(l_1, s_1), K, (l_r, s_r)\}$$

และทำการใช้สัญกรณ์ดิวอี้ (Dewey notation) จะได้ $l.l_i$ คือ ลำดับของป้ายระบุเอกลักษณ์ให้กับโดเมนย่อยป้ายกำกับ (l_i, s_i) ทำการพิจารณา โดเมนป้ายกำกับ D_2 เป็นกรณีตัวอย่างจะได้ว่า $l_2.l_3.l_5$ คือ ลำดับของป้ายใช้ระบุเอกลักษณ์ให้กับโดเมนย่อยป้ายกำกับ $(l_5, \{(l_6, \Phi), (l_7, \Phi)\})$ ในการนิยามแบบจำลองตารางข้อมูลเชิงนามธรรมจะนิยามโดยใช้ลำดับของป้ายสุดขอบเขต (frontier label sequences) ซึ่งก็คือลำดับของป้ายที่ระบุเอกลักษณ์ให้กับเซตว่างโดเมนป้ายกำกับ ทั้งนี้ขอบเขต (frontier) ของโดเมนป้ายกำกับ D คือเซตของทุก ๆ ลำดับของป้ายสุดขอบเขตของ D และเขียนแสดงด้วย $f_r(D)$ โดยการขยายแนวคิดออกไปสำหรับโดเมนป้ายกำกับ C ใด ๆ จะได้ว่า

$$f_r(C) = \{f_r(D) \mid D \in C\}$$

และจะใช้ $\otimes f_r(D)$ แสดงถึงผลคูณคาร์ทีเซียนไม่จัดอันดับ (unordered Cartesian product) $\otimes f_r(C) = f_r(D_1) \otimes f_r(D_2) \otimes K \otimes f_r(D_n)$ เมื่อ $C = \{D_1, D_2, K, D_n\}$ ทั้งหมดนี้ไปสู่การนิยามตารางเชิงนามธรรม [11] ด้วยคู่อันดับ (C, δ) ในที่ซึ่ง

1. C คือเซตจำกัด (finite set) ของโดเมนป้ายกำกับ

2. δ คือการส่ง (map) จาก $\otimes f_r(C)$ ไปยังเอกภาพของค่าที่เป็นไปได้

ดังนั้นตารางที่ รูป.1 จะสามารถเขียนแสดงแทนด้วยตารางเชิงนามธรรมดังนี้

$$T_1 = \{(C_1, \delta^1), (C_2, \delta^2)\}$$

เมื่อ $C_1 = \{D_1, D_2\}$ และ $C_2 = \{D_1, D_3\}$
โดยที่

$$\delta^1(\otimes f_r(C_1)) = \delta^1(f_r(D_1) \otimes f_r(D_2))$$

$$\delta^1(\otimes f_r(C_1)) = \begin{bmatrix} 44 & 44 & 44 \\ & M & \\ 0.23 & 0.17 & 0.21 \end{bmatrix}_{19 \times 3}$$

และ

$$\delta^2(\otimes f_r(C_2)) = \delta^2(f_r(D_1) \otimes f_r(D_3))$$

$$\delta^2(\otimes f_r(C_2)) = \begin{bmatrix} 38 & 38 & 38 & 38 \\ & & M & \\ 0.20 & 0.15 & 0.18 & 0.22 \end{bmatrix}_{19 \times 4}$$

จากที่ $\delta^1(\otimes f_r(C_1))$ มีทั้งหมด 19×3
รายการ (items) ดังนั้นที่รายการหนึ่งใด จะเขียน
แสดงแทนด้วย

$$\langle \delta^1(\otimes f_r(C_1)) \rangle_{i,j}$$

ด้วยเหตุนี้เมื่อ $i=1$ และ $j=1$ จะได้ว่า

$$\langle \delta^1(\otimes f_r(C_1)) \rangle_{1,1} = (l_1, "1.0", l_2, l_3, l_4) = 44$$

แต่ถ้าพิจารณาที่ $i=19$ และ $j=3$ จะได้

$$\langle \delta^1(\otimes f_r(C_1)) \rangle_{19,3} = (l_1, "500", l_2, l_3, l_5, l_7) = 0.21$$

ในทำนองเดียวกัน

$$\langle \delta^2(\otimes f_r(C_2)) \rangle_{1,1} = (l_1, "1.0", l'_2, l_3, l_4) = 38$$

$$\langle \delta^2(\otimes f_r(C_2)) \rangle_{19,4} = (l_1, "500", l'_2, l_3, l_5, l_7) = 0.22$$

เช่นเดียวกับ T_1 ที่เป็นตัวแบบจำลองเชิงนามธรรม
สำหรับตารางที่ ฐ.1 ตัวแบบจำลอง T_2, T_3 และ T_4
สำหรับตารางที่ ฐ.2 ถึงตารางที่ ฐ.4 คือ

$$T_2 = \{(C_3, \delta^3), (C_4, \delta^4)\}$$

เมื่อ $C_3 = \{D_4, D_5\}$ และ $C_4 = \{D_4, D_6\}$
โดยที่

$$D_4 = (l_1, ("1.0", \Phi), K, ("400", \Phi))$$

$$D_5 = (l_2, (l'_3, \Phi))$$

$$D_6 = (l'_2, (l'_3, \Phi))$$

เมื่อ l'_3 คือ “ทุกกลุ่มการติดตั้ง” ทั้งนี้ $l_1,$

l_2 และ l'_2 กำหนดไว้แล้วดังก่อนหน้า

$$\delta^3(\otimes f_r(C_3)) = ([44 \text{ L } 0.17]_{1 \times 18})^T$$

$$\delta^4(\otimes f_r(C_4)) = ([38 \text{ L } 0.15]_{1 \times 18})^T$$

$$T_3 = \{(C_1, \delta^5), (C_2, \delta^6)\}$$

เมื่อ C_1 และ C_2 กำหนดไว้แล้วดังก่อนหน้า

และ

$$\delta^5(\otimes f_r(C_1)) = \begin{bmatrix} 48 & 44 & 46 \\ & M & \\ 0.23 & 0.17 & 0.21 \end{bmatrix}_{19 \times 3}$$

$$\delta^6(\otimes f_r(C_2)) = \begin{bmatrix} 40 & 40 & 40 & 40 \\ & & M & \\ 0.20 & 0.15 & 0.16 & 0.20 \end{bmatrix}_{19 \times 4}$$

$$T_4 = \{(C_3, \delta^7), (C_4, \delta^8)\}$$

เมื่อ

$$\delta^7(\otimes f_r(C_3)) = ([46 \text{ L } 0.19]_{1 \times 18})^T$$

$$\delta^8(\otimes f_r(C_4)) = ([40 \text{ L } 0.16]_{1 \times 18})^T$$

1.1.2 การคำนวณแรงดันตกของมาตรฐาน การติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556

ภาคผนวก ฐ. ของมาตรฐานการติดตั้งทาง
ไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ได้กำหนดค่า
แรงดันตกในพจน์ของระบบไฟฟ้าเฟสเดียวและสาม
เฟสดังนี้

$$V_{D1\phi} = 2IL(R \cos(\theta) + X_L \sin(\theta))$$

$$V_{D3\phi} = \sqrt{3}IL(R \cos(\theta) + X_L \sin(\theta))$$

เมื่อ I คือกระแสในสายไฟฟ้า L คือความยาว R คือ
ความต้านทานและ X_L คือรีแอกแตนซ์เหนี่ยวนำของ
สายไฟฟ้า โดยที่ θ คือตัวประกอบกำลัง แต่เนื่องจาก
ความยุ่งยากในการกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ของสายจึง
ทำการคำนวณแรงดันตกโดยใช้ตารางแทนการใช้สูตร

ข้างต้น โดยจะแปรค่าตามชนิดของสายไฟฟ้า ขนาด และลักษณะการติดตั้งของสายไฟฟ้า ในส่วนชนิดของสายไฟฟ้าได้ทำการสร้างแบบจำลองข้อมูลเชิงนามธรรมไว้แล้วคือ T_1 , T_2 , T_3 และ T_4 ขณะที่ขนาดของสายไฟฟ้าจะใช้โดเมนป้ายกำกับ D_1 และ D_4 และสุดท้ายคือลักษณะการติดตั้ง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 ได้กำหนดไว้ดังภาพที่ ก2. ในภาคผนวก ก.

1.1.3 วัตถุของภาษาการโปรแกรม

ภาษาการโปรแกรมซีพลัสพลัส ได้อำนวยให้สามารถจำลองการประมวลผลข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ด้วยตัวแบบข้อมูลเชิงนามธรรม (abstract data) รู้จักในนามคลาส (class) ที่จะผูกทั้งข้อมูลและฟังก์ชันเข้าไว้ด้วยกัน ดังนั้นสมาชิกของคลาสจึงประกอบด้วย สมาชิกข้อมูล (data members) และระเบียบวิธี (methods) มีรูปทั่วไปดังภาพที่ ก3. ของภาคผนวก ก. ในส่วนของคลาสที่อยู่ด้านบนของภาพจะเป็นส่วนของการประกาศ (declarations) สำหรับตัวแปรหน่วยความจำและฟังก์ชันต่าง ๆ ที่เป็นสมาชิกของคลาสนี้มี 2 ประเภทคือ แบบเฉพาะตัว (private) และแบบสาธารณะ (public) ฟังก์ชันที่ประกาศไว้ภายในคลาสนี้คือระเบียบวิธีของคลาสโดยตัวฟังก์ชันที่แท้จริงมีรูปทั่วไปแสดงไว้ในส่วนล่างของภาพข้างต้น และสามารถสร้างขึ้นได้ภายหลังจากการสร้างคลาส ทั้งนี้ตัวแปรหน่วยความจำที่สร้างขึ้นจากคลาส (ตัวแบบข้อมูลเชิงนามธรรม) โดยการใช้ชื่อของคลาสเป็นชื่อชนิดของตัวแปรหน่วยความจำก็คือวัตถุเชิงโปรแกรมของภาษาการโปรแกรมซีพลัสพลัส

1.1.4 สายอักขระแอนซี และฟังก์ชันของไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซล

ซีพลัสพลัสบีเวอร์จัดวิธีซีแอล เพื่อเข้าถึงซีโอเอ็มบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ไว้ในนามวัตถุอัตโนมัติออฟฟิศ 2000 (Office 2000 automation objects)

ประกอบด้วยวัตถุการโปรแกรมเชิงภาพต่าง ๆ ดังภาพที่ ก 4. ของภาคผนวก ก. ด้วยวัตถุเชิงโปรแกรมเหล่านี้ทำให้สามารถใช้ไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซลได้ในลักษณะวัตถุของภาษาการโปรแกรมซีพลัสพลัสบนซอฟต์แวร์ซีพลัสพลัสบีเวอร์ และด้วยการดำเนินงานบนไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซลเป็นการดำเนินงานบนเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ รูปแบบสเปรดชีตมีลักษณะเป็นการกำหนดค่าสายอักขระลงในเซลล์ที่เชื่อมแผ่ขยายไปตามแนวนอนและแนวตั้ง สามารถกำหนดค่าได้โดยตรง โดยฟังก์ชัน หรือโดยนิพจน์คณิตศาสตร์ จึงนับว่าสอดคล้องกับโลบาริมาตรมาตรฐานของภาษาการโปรแกรมซีพลัสพลัสที่ได้จัดสายอักขระอยู่ในรูปวัตถุเชิงโปรแกรมแทนการเป็นแถวลำดับของตัวอักขระปิดท้ายด้วยอักขระเปล่า (null character; '\0') สายอักขระในรูปวัตถุเชิงโปรแกรมนี้คือ แอนซีสตริง (ANSI string; American national standards institution) คลาสของสายอักขระแอนซีจึงประกอบด้วยสมาชิกข้อมูล และระเบียบวิธีที่เกี่ยวข้องจำนวนมากทำให้สามารถใช้สายอักขระแอนซีดำเนินงานบนสเปรดชีตของไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซลได้ลงตัว การสร้างหน่วยวัตถุ (instance) ของสายอักขระแอนซีจะต้องระบุชื่อการประมวลผลเบื้องต้น สำหรับกระบวนการแปลโปรแกรมด้วย

```
#include<string>
```

แล้วจึงทำการสร้างหน่วยวัตถุด้วยข้อความสั่งภายในโปรแกรมมีลักษณะคือ

```
String InstanceName ;
```

เมื่อ String คือคำหลัก (keyword) ของภาษาการโปรแกรม InstanceName คือตำแหน่งระบุชื่อหน่วยวัตถุสายอักขระแอนซีที่ต้องการสร้าง กรณีที่ใช้วิธีซีแอลของซีพลัสพลัสบีเวอร์พัฒนาโปรแกรมหน่วยวัตถุของสายอักขระแอนซีสามารถทำได้โดยตรง ด้วยข้อความสั่งเดียวคือ

```
AnsiString InstanceName ;
```

เนื่องเพราะวิธีอัลของซีพลัสพลัสบิวเดอร์ได้บรรจุคลาสสายอักขระแอนซีไว้แล้ว [12] และจากที่ตาราง ฐ.1 สำหรับการคำนวณแรงดันตกมีแบบจำลองเชิงนามธรรมคือ $T_1 = \{(C_1, \delta^1), (C_2, \delta^2)\}$ ดังนั้นด้วยการใช้พิสัยนามกร (name ranges) ของไมโครซอฟต์แวร์เอ็กซ์เซลที่อาจใช้นามว่า Delta1 เพื่อบรรจุสมาชิกของ δ^1 จำนวน 19X3 รายการการอ้างถึงสมาชิกใด ๆ ของ Delta1 ก็จะสามารถทำได้ด้วยฟังก์ชันเอ็กซ์เซล (Excel function) ตามไวยากรณ์ต่อไปนี้

```
INDEX(array, row_num,  
       [column_num])
```

เมื่อพิจารณาต่อไปถึงค่า $\langle \otimes f_r(C_1) \rangle_{i,j}$ ของ δ^1 จะสอดคล้องกับนิพจน์เอ็กซ์เซลดังนี้

```
INDEX(DELTA1 , i, j)
```

เมื่อ $1 \leq i \leq 19$ และ $1 \leq j \leq 3$ นำไปสู่วิธีการเข้าถึงวัตถุเชิงโปรแกรมเอ็กซ์เซล โดยซีพลัสพลัสบิวเดอร์ผ่านสายอักขระแอนซี ด้วยการจัดตั้งหน่วยวัตถุที่สอดคล้องได้แก่

```
AnsiString Cell;  
Cell = "INDEX(DELTA1," +  
       (AnsiString)i + "," +  
       (AnsiString)j + ")";
```

2. วิธีการดำเนินงาน

ค่าแรงดันตก กำหนดตามตารางข้อมูลที่เกี่ยวข้องในภาคผนวก ก. ฐ.1 ถึง ฐ.4 ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 มีหน่วยเป็น mV/A/m จึงทำการใช้ตารางเชิงนามธรรมที่สร้างขึ้น กำหนดสูตรการคำนวณแรงดันตก VD ที่แท้จริงดังนี้

$$VD = \left\langle \delta^m(\otimes f_r(C_n)) \right\rangle_{i,j} \times 10^{-3} \times I \times L$$

เมื่อ I คือกระแสไฟฟ้าในตัวนำและ L คือความยาวของสายไฟฟ้าโดยที่ $1 \leq m \leq 8$ และ $1 \leq n \leq 4$ ในระบบแรงดัน 230/400 เพอร์เซ็นต์แรงดันตกตามข้อแนะนำของภาคผนวก ฐ. ของวงจรสามเฟสกำหนดด้วยสูตร

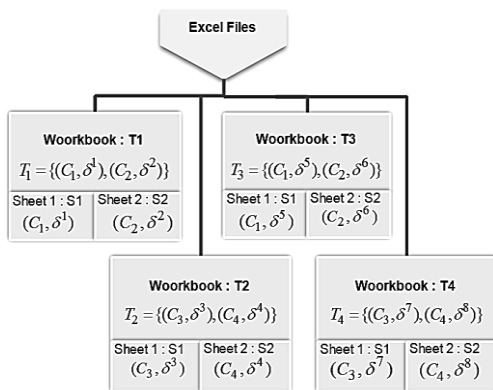
$$\% VD = \frac{VD}{400} \times 100$$

ขณะที่เปอร์เซ็นต์แรงดันตกของวงจรหนึ่งเฟสคือ

$$\% VD = \frac{VD}{230} \times 100$$

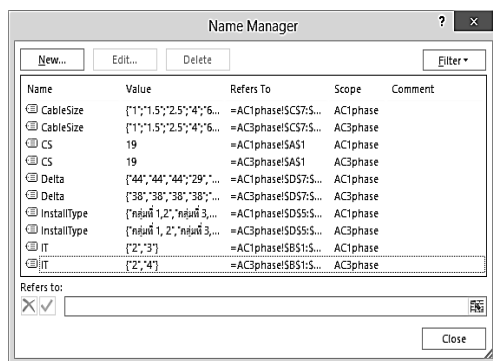
2.1 การจัดระบบฐานข้อมูลสำหรับการคำนวณแรงดันตก

การคำนวณแรงดันตก VD จากสมการข้างต้นจะต้องใช้ค่าจากตารางที่เขียนแสดงแทนด้วย $\delta^m(\otimes f_r(C_n))$ ทำให้มีความจำเป็นในการจัดระบบฐานข้อมูล สำหรับการดำเนินงานด้วยคอมพิวเตอร์จากที่ระบบไฟล์ข้อมูลของไมโครซอฟต์แวร์เอ็กซ์เซลประกอบด้วยไฟล์ สมุดงาน และแผ่นเอกสาร ดังนั้นการจัดระบบฐานข้อมูลตาราง สำหรับการคำนวณแรงดันตกเข้าสู่ระบบไฟล์จะดำเนินงานดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การจัดฐานข้อมูลสำหรับการคำนวณแรงดันตกในระบบไฟของไมโครซอฟท์เอ็กเซล

การจัดระบบฐานข้อมูลจะดำเนินการบนตัวแบบจำลองเชิงนามธรรมของตาราง T_1 ถึง T_4 ที่ดำเนินการไว้ และจากที่แต่ละสมุดงานถูกบันทึกในรูปของไฟล์เอ็กเซล (Excel files) ดังนั้นจะใช้ T_1^* , T_2^* , T_3^* และ T_4^* แสดงถึงไฟล์ของสมุดงานของตัวแบบจำลองเชิงนามธรรม T_1 ถึง T_4 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 พิสัยนามการจัดตั้งขึ้นแต่ละไฟล์เอ็กเซลของระบบฐานข้อมูลการคำนวณแรงดันตก

นอกจากนี้การใช้ไฟล์เอ็กเซลจัดระบบฐานข้อมูลตารางได้กำหนดพิสัยนามกรในแต่ละไฟล์แสดงดังภาพที่ 3

2.2 ระบบประมวลผลข้อมูลตาราง

การประมวลผลระบบข้อมูลตารางในภาพที่ 2 ทำเพื่อนำข้อมูล $\left\langle \delta^m(\otimes_{fr}(C_n)) \right\rangle_{i,j}$ เข้าสำหรับสมการแรงดันตก VD ข้างต้น จากที่ค่า $\delta^m(\cdot)$ เป็นตัวบ่งชี้สมุดงาน ดังนั้นการเข้าถึงจะทำโดยการเลือก T_k^* เมื่อ $1 \leq k \leq 4$ ซึ่งสามารถดำเนินการได้โดยใช้ซีแอลของซีพลัสพลัสบิวเดอร์เป็นกลไกดำเนินงาน และเพื่อให้การเลือกมีความหมายในการดำเนินงานมากขึ้น จะกำหนดให้

T_1^* := “แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ตัวนำฉนวน

PVC แกนเดียวที่ 70°C ”

T_2^* := “แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ตัวนำฉนวน

PVC หลายแกนที่ 70°C ”

T_3^* := “แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ตัวนำฉนวน

XLPE แกนเดียวที่ 90°C ”

T_4^* := “แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ตัวนำฉนวน

XLPE หลายแกนที่ 90°C ”

การจัดให้เกิดการเลือกสามารถใช้หน่วยวัตถุเชิงโปรแกรมกล่องคอมโบ (combo box) ของคลาสชื่อ TComboBox ซึ่งเป็นวัตถุการโปรแกรมเชิงภาพส่วนหนึ่งในซีแอลของซีพลัสพลัสบิวเดอร์มีลักษณะดังข้อความต่อไปนี้

TComboBox *ComboBox η_0 ;

เมื่อ η_0 ท้ายชื่อหน่วยวัตถุคือตัวเลขกำกับลำดับที่ของวัตถุเชิงโปรแกรมกล่องคอมโบที่สร้างขึ้น ดังนั้น การเข้าถึงข้อมูลตารางของแต่ละการส่ง

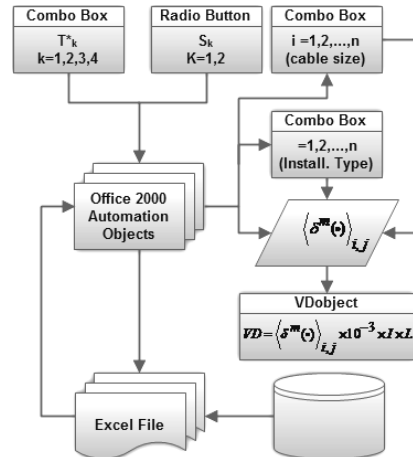
$\delta^m(\cdot)$ จะบ่งชี้ได้โดยวัตถุเชิงโปรแกรมกล่องคอมโบลงบนไฟล์เอ็กซ์เซล T_k^* ยิ่งไปกว่านั้น แต่ละการส่ง $\delta^m(\cdot)$ จะมีผลคูณคาร์ทีเซียนไม่จัดอันดับ $\otimes f_r(C_n)$ เป็นอาร์กิวเมนต์ $\delta^m(\otimes f_r(C_n))$ นิยามค่าอยู่บนระบบฐานข้อมูลดังภาพที่ 2 เห็นได้ชัดว่าประกอบด้วย 8 ชุดข้อมูลขึ้นกับค่า m และ n จากที่ T_k^* บ่งชี้ค่า m จึงเหลือเพียงการบ่งชี้ค่า n สำหรับการเข้าถึงค่าของ $\delta^m(\otimes f_r(C_n))$ และเนื่องจากว่าแต่ละ T_k^* ประกอบด้วย S1(Sheet1) และ S2(Sheet2) การบ่งชี้ค่า n ของแต่ละ T_k^* จึงเหลือเพียง 2 ทางเลือก ทำให้สามารถใช้วัตถุเชิงโปรแกรมกลุ่มของปุ่มวิทยุ (radio button) เพื่อบ่งชี้ค่า n โดยที่หน่วยวัตถุเชิงโปรแกรมปุ่มวิทยุสร้างจากคลาสชื่อ TRadioButton มีลักษณะดังนี้

TRadioButton *RadioButton $\frac{n}{\%}$;

ดังนั้นเมื่อบ่งชี้ T_k^* กับ S1 หรือ S2 ได้ จึงทำให้สามารถใช้วัตถุอัตโนมัติออฟฟิศ 2000 อ่านข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลไฟล์เอ็กซ์เซล ลงในวัตถุเชิงโปรแกรมคอมโบบ็อกซ์ที่สอง เพื่อจัดให้เกิดการเลือกค่า i และ j สำหรับ $\langle \delta^m(\otimes f_r(C_n)) \rangle_{i,j}$ ดังแผนภาพที่ 4

2.3 หน่วยวัตถุเชิงโปรแกรมคำนวณค่าแรงดันตก

ถึงแม้การคำนวณแรงดันตก VD จะใช้เพียงสูตรเดียวดังแสดงไว้ก่อนหน้านี้ แต่ค่าของตัวแปรสำหรับการแทนค่าลงในสมการส่วนหนึ่งได้มาจากกลไกการอ่านชุดข้อมูล จากระบบฐานข้อมูลไฟล์เอ็กซ์เซลที่สร้างขึ้นและอีกส่วนเป็นการรับชุดข้อมูล



ภาพที่ 4 การประมวลผลระบบฐานข้อมูลไฟล์เอ็กซ์เซลสำหรับการคำนวณแรงดันตก

เข้าจากผู้คำนวณ ด้วยเหตุนี้วัตถุเชิงโปรแกรมสำหรับการคำนวณแรงดันตกจึงมีสมาชิกส่วนใหญ่เป็นสมาชิกข้อมูลสำหรับการประมวลผลระบบฐานข้อมูลไฟล์เอ็กซ์เซล เพื่อใช้ในงานคำนวณของระเบียบวิธีของวัตถุเชิงโปรแกรมที่จะสร้างด้วยคลาส ตามภาพที่ 5 เป็นคลาสที่มีเพียงระเบียบวิธีเดียวแต่มีสมาชิกข้อมูลจำนวนมากหลายประเภท ได้แก่ จำนวนเต็มจำนวนทศนิยมสายอักขระแอนซีและประเภทที่จัดตั้งขึ้นแบบโครงสร้างซึ่งได้ใช้ชื่อว่า ExcelTabular ดังภาพที่ 6 การใช้งานคลาส VoltageDrop ร่วมกับวิธีแอลต่าง ๆ ของซีพลัสพลัส

```
class VoltageDrop
{
public:
    ExcelTabular T[4];
    int TableIndex, InstGroupIndex;
    double I_current, Length, delta;
    double VoltDrop, PercentVD;
    AnsiString TypeSystemAC, SizeOfCable,
        InstType, CableType;
    VoltageDrop(void) {};
    double VdropCompute(void);
private:
};
```

ภาพที่ 5 คลาส VoltageDrop สำหรับใช้สร้างวัตถุเชิงโปรแกรมในการคำนวณแรงดันตก

```
struct ExcelSheet
{
    AnsiString CableSize[20];
    AnsiString InstallType[2][4];
    double Delta[20][4];
    AnsiString Frontier[5];
    int CS ,int IT[2];
    int FrontierNo;
};

struct ExcelTabular
{
    ExcelSheet TabAC1P;;
    ExcelSheet TabAC3P;;
};
```

ภาพที่ 6 ชนิดข้อมูลแบบโครงสร้าง (structure) ที่สร้างขึ้นสำหรับสมาชิกข้อมูลของคลาส VoltageDrop

บิวเดอร์ในการประมวลผลระบบฐานข้อมูลไฟล์เอ็กเซลสำหรับคำนวณ แรงดันตกได้อธิบายไว้แล้วด้วยแผนภาพการประมวลผลตามภาพที่ 4 ในนามของวัตถุเชิงโปรแกรมชื่อ VDOBJECT โดยภาพที่ 7 แสดงระเบียบวิธี VdropCompute ของคลาสนี้ เห็นได้ชัดว่าข้อมูลทั้งหมดในสมาชิกข้อมูลของคลาสในภาพที่ 5 แผ่ขยายออกไปในภาพที่ 6 จะได้รับการประมวลผล ผ่านกลไกของวัตถุเชิงโปรแกรมวิชีแอลของซีพลัสพลัสบิวเดอร์ในการเติมเต็มข้อมูลให้กับระเบียบวิธี VdropCompute ทั้งนี้การจัดตั้งหน่วยวัตถุจะใช้ข้อความสั่ง

VoltageDrop VDOBJECT;

```
double VoltageDrop::VdropCompute(void)
{
    VoltDrop = delta*I_current*Length*1e-3;
    if (TypeSystemAC == "AC1Phase")
        PercentVD = VoltDrop/230.0*100.0;
    else
        PercentVD = VoltDrop/400.0*100.0;
    return VoltDrop;
}
```

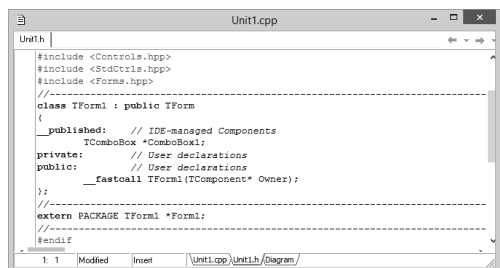
ภาพที่ 7 ระเบียบวิธีของคลาส VoltageDrop

2.4 การโปรแกรมบนสภาพแวดล้อมของการโปรแกรมเชิงภาพซีพลัสพลัสบิวเดอร์

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ แบบจ็อยโอบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ด้วยซีพลัสพลัสบิวเดอร์จะอยู่บนรากฐานของการใช้วัตถุโปรแกรมเชิงภาพที่ถูกเรียกว่าฟอร์ม (Form) ซึ่งเป็นวัตถุเชิงโปรแกรมโดยตัวเอง ที่ซีพลัสพลัสบิวเดอร์เริ่มต้นให้ ในการตั้งค่าเริ่มต้นสำหรับโปรแกรมประยุกต์ ที่จะพัฒนาผลการทำงานของวัตถุโปรแกรมเชิงภาพชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นหน้าต่างสี่เหลี่ยมบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ทำหน้าที่เป็นเจ้าของกิจกรรม (host) แบบจ็อยโอที่จะเกิดขึ้นจากวัตถุโปรแกรมเชิงภาพอื่น ๆ ของวิชีแอลเมื่อถูกวางลงบนฟอร์ม รวมถึงวัตถุเชิงโปรแกรมอื่นที่จัดตั้งภายใต้ขอบเขตคลาสของฟอร์ม มีลักษณะดังภาพภาพที่ 8 โดยจะเห็นได้ชัดที่นั่นว่ามีการสร้างหน่วยวัตถุ

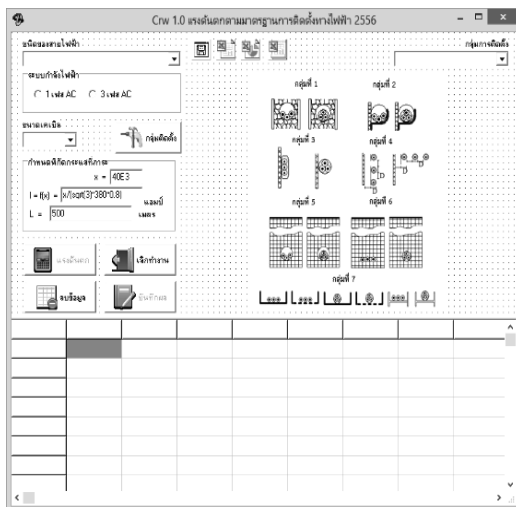
TComboBox *ComboBox1;

ลงบนวัตถุเชิงโปรแกรมฟอร์ม เพื่อจัดกิจกรรมจ็อยโอให้กับฟอร์ม ทั้งนี้ทุกวัตถุโปรแกรมเชิงภาพในวิชีแอลของซีพลัสพลัสบิวเดอร์สามารถตรวจดูรายละเอียดได้ด้วยตัวพินิจวัตถุ (object inspectors) ที่ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนสมบัติ (properties) และส่วนเหตุการณ์ (events) ของวัตถุเชิงโปรแกรม



ภาพที่ 8 คลาสของวัตถุเชิงโปรแกรมฟอร์มในการโปรแกรมด้วยซีพลัสพลัสบิวเดอร์

ดังนั้นการจัดกิจกรรมแบบจียูไอ จึงทำโดยการโปรแกรมด้วยภาษาการโปรแกรมซีพลัสพลัสควบคุมการทำงานให้กับเหตุการณ์ของวัตถุเชิงโปรแกรม รู้จักในนามของการโปรแกรมเชิงเหตุการณ์ (event-driven programming) และเมื่อพิจารณาแผนภาพการประมวลผลดังภาพที่ 4 จึงใช้วัตถุเชิงโปรแกรมฟอร์ม เป็นฐานรองรับวัตถุเชิงโปรแกรมของวิธีแอลอื่น ๆ เพื่อทำการโปรแกรมเชิงเหตุการณ์ในการจัดกิจกรรมจียูไอให้กับฟอร์มดังภาพที่ 9 โดยมี



ภาพที่ 9 วัตถุเชิงโปรแกรมฟอร์มและวัตถุเชิงโปรแกรมอื่น ๆ ของวิธีแอลที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมด้วยซีพลัสพลัสบิวเดอร์คำนวณแรงดันตก

วัตถุเชิงโปรแกรมหลักสำคัญ ใช้จัดกิจกรรมการประมวลผลระบบฐานข้อมูลที่มีโครงสร้างไฟล์เอ็กซ์เซลของการคำนวณแรงดันตกแสดงไว้ในตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 2

ตารางที่ 1 วัตถุเชิงโปรแกรมของวิธีแอลหลักสำคัญคำนวณแรงดันตกบนระบบฐานข้อมูลไฟล์เอ็กซ์เซล

ที่	ชื่อวัตถุวิธีแอล	ภาพลักษณะวัตถุ
Obj1	Form1	
Obj2	ComboBox1	
Obj3	RadioButton1	
Obj4	RadioButton2	
Obj5	ComboBox2	
Obj6	ComboBox3	
Obj7	Excel Application1	
Obj8	Excel Workbook1	
Obj9	Excel Worksheet1	
Obj10	Button1	

2.5 การโปรแกรมเชิงเหตุการณ์

เพื่อให้ผู้ใช้ดำเนินการกิจกรรมบนฟอร์มของโปรแกรมประยุกต์ที่สร้างขึ้น เป็นไปตามลำดับขั้นตอนของการคำนวณค่าแรงดันตก จึงควบคุมการทำงานของวัตถุเชิงโปรแกรม ให้สนองต่อการสื่อสารของผู้ใช้ที่เป็นแบบจียูไอ โดยซีพลัสพลัสบิวเดอร์ได้จัดสิ่งที่เรียกว่า ระเบียบวิธีจัดการเหตุการณ์ (event handler) เพื่อจัดการเหตุการณ์ต่าง ๆ ของแต่ละวัตถุเชิงโปรแกรมรวบรวมไว้ในส่วนเหตุการณ์ของตัวพินิจวัตถุ ตารางที่ 3 แสดงระเบียบวิธีจัดการเหตุการณ์ ของวัตถุเชิงโปรแกรมเฉพาะการจัดกิจกรรมที่เกี่ยวข้องสำคัญ ในการคำนวณแรงดันตกลักษณะการโปรแกรมของระเบียบวิธีจัดการเหตุการณ์แสดงดังภาพที่ 10

ตารางที่ 2 คลาสและกิจกรรมของวัตถุเชิงโปรแกรมของวิธีแอลหลักสำคัญ

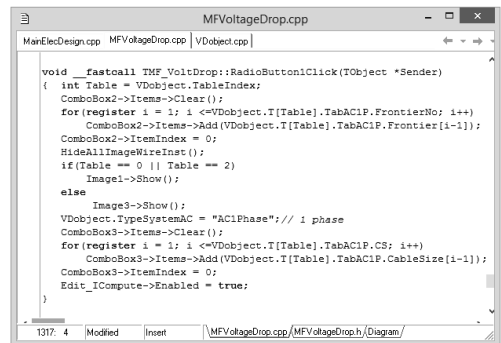
ที่	ชื่อวัตถุวิชีแอล	ชื่อคลาส	กิจกรรม/จิตโย
Obj1	Form1	TForm1	ควบคุมจิตโย
Obj2	ComboBox1	TComboBox	เลือก T_1-T_4
Obj3	RadioButton1	TRadioButton	จัดค่า l_2 ใน D_2
Obj4	RadioButton2	TRadioButton	จัดค่า l'_2 ใน D_3
Obj5	ComboBox2	TComboBox	จัดค่า D_5, D_6 และ s_2 ใน D_2 และ D_3 ,
Obj6	ComboBox3	TComboBox	จัดค่า D_1 และ D_4
Obj7	ExcelAppli cation1	TExcelAppli cation	ติดต่อ EOM (Excel object Model)
Obj8	ExcelWork sheet1	TExcelWork sheet	จัดการทำเอกสาร แผ่นงานเอ็กซ์เซล
Obj9	ExcelWork book1	TExcelWork book	จัดการทำสมุดงาน เอ็กซ์เซล
Obj10	Button1	TButton	เรียกใช้ VDOBJECT

ตารางที่ 3 ระเบียบวิธีจัดการเหตุการณ์ของวัตถุเชิงโปรแกรมเฉพาะส่วนสำคัญเกี่ยวกับการคำนวณแรงดันตก

ที่	ชื่อวัตถุวิชีแอล	ชื่อระเบียบวิธี จัดการเหตุการณ์	กิจกรรม/จิตโย
1	ComboBox1	OnSelect	ควบคุม Obj3, Obj4, Obj5, Obj6, VDObj
2	RadioButton 1	OnClick	ควบคุม Obj5, Obj6, VDOBJECT
3	RadioButton 2	OnClick	ควบคุม Obj5, Obj6, VDOBJECT
4	ComboBox2	OnSelect	ควบคุม VDOBJECT
5	Button1	OnClick	ควบคุม VDOBJECT

3. ผลการวิจัย

ตารางที่ ฐ.1 ถึง ฐ.4 ในภาคผนวก ก. ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ได้ถูกบันทึกลงในไฟล์เอ็กซ์เซลแสดงดังภาพที่ 11 โดยการพิมพ์ข้อมูลปกติด้วยไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซลจัดตั้งโดเมนป้ายกำกับ D_1 ถึง D_6

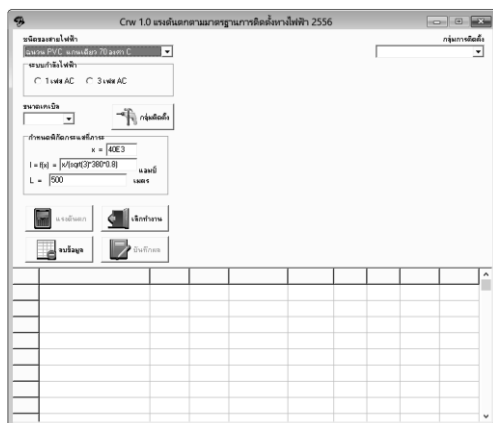


ภาพที่ 10 ลักษณะโปรแกรมของระเบียบวิธีจัดการเหตุการณ์

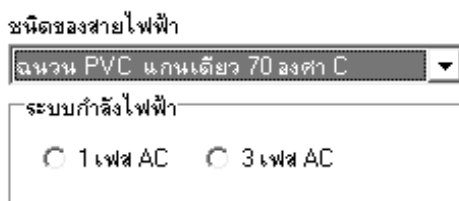
CableSize					
	A	B	C	D	E
1		19	2	3	
2					
3					1 เฟส AC (mV / A / m)
4					รูปแบบการติดตั้ง
5					กลุ่มที่ 1,2
6					กลุ่มที่ 3,7
7					Touching
8					Spaced
9					
10					
...					
23					
24					
25					
26					
AC1phase AC3phase					

ภาพที่ 11 ลักษณะระบบฐานข้อมูลในโครงสร้างไฟล์เอ็กซ์เซลสำหรับการคำนวณแรงดันตก

ไฟล์เอ็กซ์เซลทั้ง 4 ไฟล์ตามโครงสร้างระบบฐานข้อมูลในภาพที่ 2 จะถูกประมวลผลโดยโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ซึ่งเป็นผลของการใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเหตุการณ์ บนวัตถุเชิงโปรแกรมต่าง ๆ ตามภาพที่ 10 ผลการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ที่สร้างขึ้นของบทความนี้มีลักษณะดังภาพที่ 12 การประมวลผลระบบฐานข้อมูลไฟล์เอ็กซ์เซลสำหรับการคำนวณแรงดันตก เริ่มต้นที่การกำหนดเหตุการณ์ให้กล่องคอมโบ และปุ่มวิทย์มีลักษณะดังภาพที่ 13 เพื่อเป็นการขับเคลื่อนระเบียบวิธีจัดการเหตุการณ์สำหรับอ่านป้ายของโดเมนป้ายกำกับ D_2, D_3, D_5 และ D_6



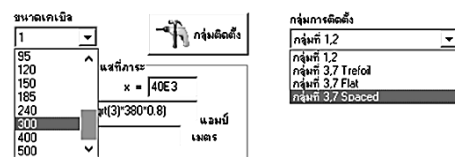
ภาพที่ 12 โปรแกรมประยุกต์คำนวณแรงดันตกตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า 2556



ภาพที่ 13 การสื่อสารกับผู้ใช้แบบจียูไอเพื่อรับข้อมูลสำหรับการคำนวณแรงดันตก

ผลของการขับเคลื่อนระเบียบวิธีจัดการเหตุการณ์กล่องคอมโบและปุ่มวิทย์นี้ จะส่งผลให้ข้อมูลโดเมนป้ายกำกับ D_1 ถึง D_6 ถูกอ่านอย่าง

สมบูรณ์จากระบบฐานข้อมูลไฟล์เอ็กซ์เซล และนำเอาข้อมูลของโดเมนป้ายกำกับ D_1 หรือ D_4 และอีกหนึ่งในกลุ่มของ D_2, D_3, D_5 และ D_6 ขึ้นอยู่กับการดำเนินงานก่อนหน้า ใส่ลงในอีก 2 กล่องคอมโบสำหรับใช้ในการคำนวณค่าผลคูณคาร์ทีเซียนไม่จัดอันดับ $\otimes f_r(C_n)$ เมื่อ $1 \leq n \leq 4$ ด้วยการกำหนดเหตุการณ์ให้กล่องคอมโบดังภาพที่ 14 ในการขับเคลื่อนการคำนวณค่า $\delta^m(\otimes f_r(C_n))$ และแรงดันตก VD จากสูตรที่สร้างไว้ในชั้นของวิธีการดำเนินงาน



ภาพที่ 14 ข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลไฟล์เอ็กซ์เซลบางส่วนนำเสนอให้ผู้เลือกใช้ดำเนินการต่อไป

ตารางที่ 4 ตัวอย่างรายการวงจรสายป้อนและวงจรย่อยของระบบไฟฟ้า

Circuit Schedule						
Type of Circuit : Feeder(F) and Branch(B)						
Load : L1 - L6						
Circuit type	Location From	Location To	System voltage	Cable / Number of core	Load (A) / mm ²	Install group No.
F1	MDB	LP1	230/400	XLPE/1	120/70	2
F2	MDB	LP2	230/400	PVC/1	64/35	2
B1	LP2	L1	230	PVC/1	13.2/10	2
	L1	L2	230	PVC/1	11/10	2
	L2	L3	230	PVC/1	8.8/10	2
	L3	L4	230	PVC/1	6.6/10	2
	L4	L5	230	PVC/1	4.4/10	2
	L5	L6	230	PVC/1	2.2/10	2

ในที่นี้ จะใช้รายการวงจรสายป้อนและวงจรย่อยตามตารางที่ 4 แสดงการคำนวณแรงดันตกจากระบบฐานข้อมูลไฟล์เอ็กซ์เซล ซึ่งมีสภาพเงื่อนไขของสายไฟฟ้า และสภาพปัจจัย การติดตั้งที่แตกต่างกัน 3 กรณี ได้ผลการดำเนินงานดังภาพที่ 15 เห็นได้ชัดว่า ผลการคำนวณแรงดันตกบนวงจรของสายป้อนและวงจรย่อยถูกจัดให้อยู่ในรูปของตาราง และขยายรายละเอียดดังภาพ 16 โดยจะสามารถตรวจสอบผล

การคำนวณด้วยการแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ สายป้อน 3 เฟส XLPE ดังรายการที่ 1 สายป้อน 3 เฟส PVC ดังรายการที่ 2 และสายวงจรย่อย 1 เฟส PVC ดังรายการที่ 4-8 ดังนี้

Item	Type	System	Size (mm²)	Inst. Gp	VD (mV/A/m)	I (amp)	L (m)	Vdrop (volt)	%Vdrop
1	สาย XLPE ขนาด 70 สาย C	AC3Phase	70	กลุ่มที่ 1, 2	0.65	120	100	7.8	1.95
2	สาย PVC ขนาด 70 สาย C	AC3Phase	35	กลุ่มที่ 1, 2	1.13	64	75	5.424	1.356
3	สาย PVC ขนาด 70 สาย C	AC1Phase	10	กลุ่มที่ 1, 2	4.4	13.2	95	5.5176	2.39896
4	สาย PVC ขนาด 70 สาย C	AC1Phase	10	กลุ่มที่ 1, 2	4.4	11	4	0.1936	0.0841739
5	สาย PVC ขนาด 70 สาย C	AC1Phase	10	กลุ่มที่ 1, 2	4.4	8.8	4	0.15488	0.0673391
6	สาย PVC ขนาด 70 สาย C	AC1Phase	10	กลุ่มที่ 1, 2	4.4	6.6	4	0.11616	0.0505043
7	สาย PVC ขนาด 70 สาย C	AC1Phase	10	กลุ่มที่ 1, 2	4.4	4.4	4	0.07744	0.0336696
8	สาย PVC ขนาด 70 สาย C	AC1Phase	10	กลุ่มที่ 1, 2	4.4	2.2	4	0.03872	0.0168348

ภาพที่ 15 ผลการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการคำนวณแรงดันตกตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556

Item	System	Size	Inst. Gp	VD (mV/A/m)	I (amp)	L (m)	Vdrop (volt)	%Vdrop
1	AC3Phase	70	กลุ่มที่ 1, 2	0.65	120	100	7.8	1.95
2	AC3Phase	35	กลุ่มที่ 1, 2	1.13	64	75	5.424	1.356
3	AC1Phase	10	กลุ่มที่ 1, 2	4.4	13.2	95	5.5176	2.39896
4	AC1Phase	10	กลุ่มที่ 1, 2	4.4	11	4	0.1936	0.0841739
5	AC1Phase	10	กลุ่มที่ 1, 2	4.4	8.8	4	0.15488	0.0673391
6	AC1Phase	10	กลุ่มที่ 1, 2	4.4	6.6	4	0.11616	0.0505043
7	AC1Phase	10	กลุ่มที่ 1, 2	4.4	4.4	4	0.07744	0.0336696
8	AC1Phase	10	กลุ่มที่ 1, 2	4.4	2.2	4	0.03872	0.0168348

ภาพที่ 16 ขยายรายละเอียดตารางผลการคำนวณแรงดันตกของรายการวงจรในตารางที่ 4

1.สายป้อน 230/400 โวลต์ XLPE แกนเดียว ขนาด 70 mm² สำหรับกระแสภาระ 120 แอมป์ยาว 100 m จะมีแรงดันตกตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า พ.ศ. 2556 [10] ดังภาพที่ ก6. ของภาคผนวก ก. มีค่าเท่ากับ 0.65 mV/A/m จึงทำให้แรงดันตกทั้งหมดของสายป้อนนี้มีค่าเท่ากับ

$$VD = 0.65 \times 120 \times 10^{-3} \times 100 = 7.8$$

และ

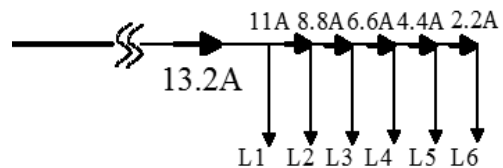
$$\%VD = \frac{7.8}{400} \times 100 = 1.95$$

2. สายป้อน 230/400 โวลต์ PVC แกนเดียว ขนาด 35 mm² สำหรับกระแสภาระ 64 แอมป์ยาว 75 m จะมีแรงดันตกดังภาพที่ ก5. ของภาคผนวก ก.คำนวณได้เท่ากับ

$$VD = 1.13 \times 64 \times 10^{-3} \times 75 = 5.424 \text{ และ}$$

$$\%VD = \frac{5.424}{400} \times 100 = 1.356$$

3. สายวงจรย่อย 230 โวลต์ PVC แกนเดียว ขนาด 10 mm² ต่อจาก LP2 → L1 → L2 → L3 → L4 → L5 → L6 โดยมีกระแสในแต่ละช่วงความยาวอธิบายด้วยแผนภาพของวงจรย่อยตามภาพที่ 17 ทำให้คำนวณ VD ได้เป็น



ภาพที่ 17 วงจรย่อย 230 โวลต์ 13.2 แอมป์จ่ายภาระ L1 ถึง L6

$$\begin{aligned} VD &= 4.4 \times 10^{-3} (13.2 \times 95 + (11 + 8.8 + 6.6 + 4.4 + 2.2) \times 4) \\ &= 5.5176 + 0.1936 + 0.1549 + 0.1162 \\ &\quad + 0.0774 + 0.0387 \\ &= 6.0984 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%VD &= \left(\frac{0.5176}{230} + \frac{0.1936}{230} + \frac{0.1549}{230} + \frac{0.1162}{230} \right. \\ &\quad \left. + \frac{0.0774}{230} + \frac{0.0387}{230} \right) \times 100 \\ &= 2.399 + 0.0842 + 0.0673 + 0.0505 \\ &\quad + 0.0337 + 0.0168 \\ &= 2.6515 \end{aligned}$$

จากผลการคำนวณ VD และ %VD ของสายป้อนและสายวงจรย่อยตามตารางที่ 4 ทั้ง 3 ข้อข้างต้น ได้ผลตรงตามผลการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ที่สร้างขึ้น

เพียงแต่ในส่วนของวงจรย่อยของการคำนวณข้อที่ 3 ได้คำนวณผลรวม VD และ $\%VD$ ทั้งวงจรย่อยคือ 6.0984 โวลต์ และร้อยละ 2.6515 ตามลำดับ แต่ในส่วนของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น การคำนวณผลรวม VD และ $\%VD$ ทั้งหมดของวงจรย่อย จะมีผลการดำเนินงานใน 2 ขั้นตอนดังภาพที่ 18 – 19

Item	System	Size	Inst.Grp	VD(mV/A/m)	I(amp)	L(me	Vdrop(volt)	%Vdrop
1	AC3Pha	70	กลุ่มที่ 1,2	0.65	120	100	7.8	1.95
2	AC3Pha	35	กลุ่มที่ 1,2	1.13	64	75	5.424	1.356
3	AC1Pha	10	กลุ่มที่ 1,2	4.4	13.2	95	5.5176	2.39896
4	Crv 1.0 VD Calculation							
5						11	4	0.1936
6						8.8	4	0.15468
7						6.6	4	0.11616
8						4.4	4	0.07744
						2.2	4	0.03872

ภาพที่ 18 ผลการใช้โปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาขึ้นหาผลรวมแรงดันตกของวงจรย่อย

Item	System	Size	Inst.Grp	VD(mV/A/m)	I(amp)	L(met	Vdrop(volt)	%Vdrop
1	AC3Pha	70	กลุ่มที่ 1,2	0.65	120	100	7.8	1.95
2	AC3Pha	35	กลุ่มที่ 1,2	1.13	64	75	5.424	1.356
3	AC1Pha	10	กลุ่มที่ 1,2	4.4	13.2	115	6.0984	2.6514817

ภาพที่ 19 ผลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแรงดันตกเมื่อมีการยุบรวมวงจรย่อย

4. สรุปผลการทดลอง

วิธีการทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้สร้างฐานข้อมูลด้วยไมโครซอฟท์เอ็กเซล เพื่อการคำนวณแรงดันตกที่ผ่านมา ประสบผลสำเร็จเพราะสามารถสร้างแบบจำลองตารางเชิงนามธรรมให้มีโดเมนป้ายกำกับเข้ารูปกับระบบไฟล์เอ็กเซล ด้วยเหตุนี้ตารางแรงดันตกทั้งหมดของมาตรฐานการติดตั้ง จึงถูกบันทึกลงในไฟล์เอ็กเซลและสามารถเข้าถึงค่าเป็นไปได้อย่างหมดของตาราง โดยการส่งจากลำดับป้ายสุดขอบเขตของโดเมนป้ายกำกับที่คำนวณออกมาได้จริงด้วยวิธีอัลกอริทึมของฟรังก์ชันพีลล์สปีดเวอร์ส่งผลต่อให้สามารถใช้การโปรแกรมเชิงวัตถุของภาษาการโปรแกรมพีลล์สปีดสร้างวัตถุเชิงโปรแกรมในรูปคลาส VoltageDrop เพื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ได้โนที่สุด สำหรับการใช้คอมพิวเตอร์คำนวณแรงดันตกให้เป็นไปตามภาคผนวก ฐ. ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 ได้ผลถูกต้องตรงตามมาตรฐาน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wang X., Wood D. An abstract model for tables. Department of Computer Science, University of Western Ontario, 1993.
- [2] Ibrahim A., Alzubaydy J. Mathematical Driving Model Based Evaluation of Losses Components in the Control Systems with Induction Motor Drive. IJET 2017;9(4):2990-3001

- [3] Sönmez Y., Dursun M., Güvenç U., et al. Start Up Current Control of Buck-Boost Converter - Fed Serial DC Motor. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences 2009; 15(2): 278-83.
- [4] Bouktir T., Slimani L. Object - Oriented Economic Power Dispatch of Electrical Power System with Minimum Pollution using a Genetic Algorithm. J. Electrical Systems 2005; 1(2):19-34
- [5] Kober F., Manzoni A., Lemos FAB. An Objected - Oriented Approach to Development and Integration of Graphical User Interface and Power System Framework. In Power Tech Conference Proceedings; 23-26 June 2003; Bologna: IEEE; 2003. p. 7 pp.
- [6] Nor KM., Gani TA., Mokhlis H. The application of component - based methodology in developing visual power system analysis tool. In Power Industry Computer Applications; 20-24 May 2001; Sydney: IEEE; 2001. p. 38 - 43.
- [7] Daponte P., Di Penta M., Mercurio G. TransientMeter: A distributed measurement system for power quality monitoring. IEEE Transactions on Power Delivery 2004; 19(2):456-63
- [8] Lee JM., Hyun SW., Won CY. A simple method for DSP based buck - converter design using MS Excel. In Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific); 1-4 June 2016; Busan: IEEE; 2016. p. 38-43.
- [9] Sastry MKS., Roopchand R., Chhetri R. Power Distribution System Load Flow Using Microsoft Excel. In Communication Systems and Network Technologies (CSNT); 7-9 April 2014; Bhopal: IEEE; 2014. p. 954 - 959.
- [10] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556. พิมพ์ครั้งที่ 2. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์; 2557.
- [11] Wang X. Tabular Abstraction, Editing, and Formatting[PhD Thesis]. Waterloo, Ontario, Canada: University of Waterloo; 1996.
- [12] Kolachina SS. C++Builder™ 6 Developer's Guide. Texas: Wordware Publishing; 2003.

6. ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ร.1 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน PVC แบนเดี่ยว ที่ 70°C

ขนาดสาย (mm ²)	1 เฟส AC(mV/A/m)				3 เฟส AC(mV/A/m)			
	รูปแบบการติดตั้ง							
	กลุ่มที่ 1,2	กลุ่มที่ 3,7		กลุ่มที่ 1,2	กลุ่มที่ 3,7			
		Touching	Spaced		Trefoll	Flat	Spaced	
1.0	44	44	44	38	38	38	38	
19 Item				:				
500	0.23	0.17	0.21	0.20	0.15	0.18	0.22	

ตารางที่ ร.2 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน PVC หลากแฉก ที่ 70°C

ขนาดสาย (mm ²)	1 เฟส AC(mV/A/m)	3 เฟส AC(mV/A/m)
	ทุกกลุ่มการติดตั้ง	
1.0	44	38
18 Item		
400	0.17	0.15

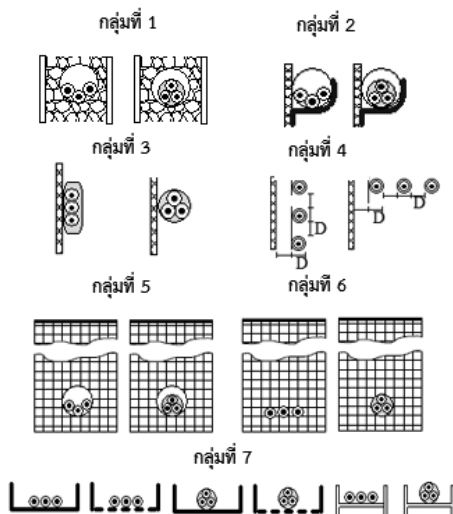
ตารางที่ ร.3 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน XLPE แบนเดี่ยว ที่ 90°C

ขนาดสาย (mm ²)	1 เฟส AC(mV/A/m)			3 เฟส AC(mV/A/m)			
	รูปแบบการติดตั้ง						
	กลุ่มที่ 1,2	กลุ่มที่ 3,7		กลุ่มที่ 1,2	กลุ่มที่ 3,7		
	1,2	Touching	Spaced	1,2	Trefoil	Flat	Spaced
1.0	48	46	46	40	40	40	40
19 Item							
500	0.23	0.17	0.21	0.20	0.15	0.16	0.20

ตารางที่ ร.4 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน XLPE หลากแฉก ที่ 90°C

ขนาดสาย (mm ²)	1 เฟส AC(mV/A/m)	3 เฟส AC(mV/A/m)
	ทุกกลุ่มการติดตั้ง	
1.0	46	40
18 Item		
400	0.19	0.16

ภาพที่ ก1. ลักษณะตารางที่ ร.1 ถึง ร.4 ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 [10]



ภาพที่ ก2. ลักษณะการติดตั้งในตารางที่ ร.1 ถึง ร.4

```
class ClassName
{
    public:
        //public member

    private:
        //private member
}
```

```
TypeDefinition ClassName::FunctionName(arg1, ... )
{
    Declarations
    Statements
    return Value ;
}
```

ภาพที่ ก3. รูปทั่วไปของคลาสและระเบียบวิธีของภาษาการโปรแกรมซีพลัสพลัส



ภาพที่ ก4. ไอคอน (icon) ของวิธีแอลต่าง ๆ ใช้สร้างวัตถุเชิงโปรแกรมเอ็กซ์เซลบนแถบเครื่องมือ การโปรแกรมของซีพลัสพลัสบิวเดอร์

ตารางที่ ร.1 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน PVC แบนเดี่ยว ที่ 70°C

ขนาดสาย (mm ²)	1 เฟส AC (mV / A / m)			3 เฟส AC (mV / A / m)			
	รูปแบบการติดตั้ง						
	กลุ่มที่ 1, 2	กลุ่มที่ 3, 7		กลุ่มที่ 1, 2	กลุ่มที่ 3, 7		
		Touching	Spaced		Trefoil	Flat	Spaced
1.0	44	44	44	38	38	38	38
6	7.3	7.3	7.3	6.4	6.4	6.4	6.4
10	4.4	4.4	4.4	3.8	3.8	3.8	3.8
35	1.33	1.25	1.27	1.13	1.11	1.12	1.15
50	1.00	0.94	0.97	0.85	0.81	0.84	0.86

ภาพที่ ก5. ค่าแรงดันตกตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 (ร.1) [10]

ตารางที่ ร.3 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน XLPE แบนเดี่ยว ที่ 90°C

ขนาดสาย (mm ²)	1 เฟส AC (mV / A / m)			3 เฟส AC (mV / A / m)			
	รูปแบบการติดตั้ง						
	กลุ่มที่ 1, 2	กลุ่มที่ 3, 7		กลุ่มที่ 1, 2	กลุ่มที่ 3, 7		
		Touching	Spaced		Trefoil	Flat	Spaced
1.0	46	46	46	40	40	40	40
70	0.75	0.70	0.73	0.65	0.61	0.62	0.64
95	0.58	0.52	0.56	0.50	0.45	0.46	0.50

ภาพที่ ก6. ค่าแรงดันตกตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 (ร.3) [10]

การพัฒนาระบบและฐานข้อมูลสำหรับการวางแผนกำลังการผลิตในอุตสาหกรรมแผงวงจรรวม

Development of system and database for Capacity Planning in Integrated Circuit Manufacturing

ภัทร ลีลาพฤติ^{1*}, นภาพรณ เชื้อชาติ¹
Pattara Leelaprute^{1*}, Napaporn Churchart¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

¹ Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

*Corresponding author. E-mail: pattara.l@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการทำงานในการวางแผนกำลังการผลิต สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแผงวงจรรวมในกระบวนการทดสอบขั้นสุดท้าย จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลของการทำงานระบบปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา พบว่า ข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนกำลังการผลิตถูกจัดเก็บอยู่ในรูปแบบของไฟล์เอ็กเซล และอยู่กันอย่างกระจัดกระจาย ซึ่งจะต้องสูญเสียเวลาในการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในแต่ละครั้ง และยังต้องใช้เวลานานในการคำนวณการวางแผนกำลังการผลิตอีกด้วย ดังนั้นผู้วิจัยมีแนวคิดแก้ปัญหา โดยการพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน สำหรับช่วยในการคำนวณความต้องการใช้เครื่องจักร และวางแผนกำลังการผลิต โดยหลังจากการทดสอบ พบว่า จากเดิมใช้เวลาในการทำงานวางแผนกำลังการผลิตแต่ละครั้งถึง 5 ชั่วโมง ส่วนหลังจากทดลองใช้ระบบใหม่พบว่าผู้ใช้งานใช้เวลาเพียง 15 นาทีในการจัดทำรายงานในแต่ละครั้ง คิดเป็น 95% ที่สามารถลดเวลาการทำงานลงได้ และข้อมูลที่ได้ก็มีความถูกต้อง 100 %

คำสำคัญ: การวางแผนกำลังการผลิต ระบบจัดการฐานข้อมูล เว็บแอปพลิเคชัน อุตสาหกรรมการผลิตแผงวงจรรวม

Abstract

The objective of this study was to reduce working-time during the capacity planning for integrated circuit manufacturing in final test process. From the study and data analysis of current processing situation of the company that was chosen as case study, data used in the calculation of capacity planning were stored scatteredly in Excel file format. As a result, time was wasted in collecting data, and it took a long time to calculate capacity planning and create the report. Therefore, we propose the solution by developing a database management system and web application for machine requirement calculation and capacity planning. After the experiment, it was found that while conventional working process took 5 hours for one

Received 04-09-2018

Revised 12-11-2018

Accepted 12-11-2018

capacity planning task, the new process takes only 15 minutes for the same task. This can be deduced that working-time has been reduced by 95%, and also the output result has 100% of correctness.

Keywords: Capacity Planning, Database system, Web application, Integrated Circuit Manufacturing

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว [1] ประเทศไทยมีแนวโน้มของการส่งออกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปี โดยที่เทคโนโลยีบางประเภทมีความต้องการเพิ่มขึ้น แต่ในอีกด้านหนึ่งเทคโนโลยีบางประเภทก็มีความต้องการลดลงอย่างมาก ดังนั้นการวางแผนกำลังการผลิตจึงเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้ผู้ผลิตสามารถกำหนดการดำเนินงานขององค์กรได้อย่างถูกต้อง

การวางแผนกำลังการผลิตเป็นการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ในระยะยาว เพื่อกำหนดระดับของทรัพยากรการดำเนินงานทั้งหมดขององค์กร ถ้ากิจการไม่ได้ทำการวางแผนการผลิตให้ถูกต้องอาจจะพบปัญหาในลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง คือมีกำลังการผลิตไม่เพียงพอ ในการผลิตสินค้าเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าหรือในอีกด้าน ถ้าหากมีกำลังการผลิตมากเกินไปก็จะเกิดเป็นความสูญเสียหรือสิ้นเปลืองโดยไม่เกิดประโยชน์ใด ๆ

ในส่วนของแผงวงจรรวม (Integrated Circuit) หรือที่เราเรียกกันติดปากว่า IC นั้น เป็นส่วนประกอบหนึ่งในการนำไปประกอบเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ โดยการผลิตแผงวงจรรวมประกอบกระบวนการ 5 ขั้นตอนหลัก [2] ได้แก่ การเตรียมแผ่นซิลิกอนซับสเตรท (Substrate-Silicon wafer) การสร้างวงจบบนแผ่นเวเฟอร์ (Wafer Fabrication), การทดสอบแผ่นเวเฟอร์ (Wafer Sort/Test), การประกอบแผงวงจรรวม (IC Packaging) และการทดสอบแผงวงจรรวม

ขั้นสุดท้าย (Final Test) โดยบริษัทที่ทำการศึกษาวิจัยเป็นบริษัทที่ทำงานในการทดสอบแผงวงจรรวมด้านคุณสมบัติไฟฟ้า ก่อนจะส่งมอบงานที่สมบูรณ์ให้แก่ลูกค้าจะต้องผ่านการทดสอบคุณสมบัติไฟฟ้าขั้นสุดท้าย เพื่อการันตีมาตรฐานและคุณภาพของสินค้าให้เป็นไปตามที่รับประกันกับลูกค้า จากนั้นจึงจะนำไปบรรจุลงในแพ็คเกจตามที่ลูกค้าต้องการ

จากการศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบันในของฝ่ายวางแผนกำลังการผลิต พบว่าผู้คำนวณจะนำข้อมูลจากแต่ละฝ่ายที่เกี่ยวข้องมารวบรวมเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณ และวางแผนด้วยโปรแกรมเอ็กเซล (Microsoft Excel) โดยคำสั่งซื้อของลูกค้าที่มีมากกว่า 3,000 รายการจะอยู่ในรูปแบบการพยากรณ์ล่วงหน้าเป็นรายเดือนไปประมาณ 1 ปี ข้างหน้า ผู้คำนวณมีหน้าที่ในการคำนวณและจัดรายการกำลังการผลิตโดยรวมทั้งหมดว่าสามารถรองรับคำสั่งซื้อได้ทั้งหมดหรือไม่ ตามทรัพยากรปัจจุบันที่มีและส่งต่อไปฝ่ายบริหาร เพื่อใช้ในการตัดสินใจ โดยในการจัดทำแต่ละครั้งต้องใช้บุคลากรที่ต้องมีทักษะสูง เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น และใช้เวลาจนถึง 5 ชั่วโมงต่อครั้ง ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลใด ๆ บางอย่าง เช่น ข้อมูลคำสั่งซื้อลูกค้า ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเกิดขึ้นเสมอ ๆ ก็จะต้องทำการคำนวณ และจัดทำรายการใหม่ในทุกครั้ง

ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงปัญหานี้ จึงได้ทำการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และระบบการจัดการฐานข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการวางแผนกำลังการผลิต โดยผู้ใช้งานเพียงแค่อัปโหลดลงในระบบฐานข้อมูล

ทั้งหมด เว็บแอปพลิเคชันจะช่วยคำนวณ และการวางแผนกำลังการผลิตได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งส่งผลให้สามารถลดเวลาในการทำงานของบุคลากรนั้น ๆ ได้อีกทั้งมีความถูกต้อง 100% และยังสามารถเป็นข้อมูลเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการบริหารงานของผู้บริหารอีกด้วย

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบฐานข้อมูล สำหรับใช้ในระบบระบบการวางแผนกำลังการผลิต
2. เพื่อจัดทำเว็บแอปพลิเคชัน ที่ช่วยคำนวณและสรุปผลการวางแผน การกำลังการผลิตเป็นรายงานตามที่ต้องการ และถูกต้องแม่นยำ
3. เพื่อลดระยะเวลาการทำงาน ในการวางแผนกำลังการผลิต

1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวางแผนการผลิตเป็นระบบงานหนึ่งที่เป็นองค์ประกอบหลักของการจัดการกระบวนการผลิต โดยทำหน้าที่ในการเป็นตัวกลางในการรับข้อมูลความต้องการของลูกค้ามาแปลงเป็นแผนสำหรับเตรียมจัดความพร้อมด้านทรัพยากรต่าง ๆ การวางแผนการผลิตนั้นมีลำดับขั้นที่สามารถแยกย่อยได้ตามช่วงเวลา ดังนี้

1. การวางแผนการผลิตระยะยาว หมายถึง การวางแผนในช่วงเวลา 3-5 ปี ซึ่งเป็นการวางแผนระดับกลยุทธ์ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อการตัดสินใจในด้านกำลังการผลิตสำหรับการดำเนินกิจการ ในอนาคต
2. การวางแผนการผลิตระยะกลาง หมายถึง การวางแผนการผลิตในช่วงระยะเวลา 1-12 เดือนข้างหน้า เป็นการวางแผนระดับจัดการมีจุดประสงค์ เพื่อจัดสรรการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้สามารถเกิดผลอย่างเต็มที่ เช่น เครื่องจักร วัตถุดิบ เป็นต้น
3. การวางแผนการผลิตระยะสั้น หมายถึง การวางแผนการผลิตที่ช่วงเวลาเป็นรายสัปดาห์หรือ

รายวัน ที่มีจุดประสงค์เพื่อจัดเตรียมกำหนดเวลาในการทำงาน และมุ่งเน้นการจัดตารางการผลิตเป็นหลัก

งานวิจัยชิ้นนี้ของผู้วิจัย จะมุ่งเน้นในส่วนของการวางแผนกำลังการผลิต ซึ่งอยู่ในประเภทของการวางแผนการผลิตระยะกลาง โดยที่การวางแผนกำลังการผลิต [3, 4] คือ การวางแผนในการจัดสรรกำลังการผลิต ที่มีอยู่ไปตอบสนองความต้องการกำลังการผลิตที่เกิดจากการตัดสินใจทำการผลิตตามปริมาณคำสั่งซื้อในช่วงเวลาต่าง ๆ เพราะถ้าเราพบว่ากำลังการผลิตในช่วงเวลาใดที่มี ไม่เพียงพอ ผู้บริหารก็สามารถจะดำเนินการแก้ไขเพื่อหาทางเพิ่มกำลังการผลิตได้

จากงานวิจัยพบว่า งานวิจัยที่ศึกษามีความสอดคล้องกับ วรพล [5] การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวางแผนความต้องการวัสดุ จะช่วยให้การวางแผนความต้องการมีความถูกต้องและรวดเร็วกว่าการคำนวณด้วยมือ ซึ่งหลังจากมีการนำระบบไปใช้ สามารถช่วยลดปริมาณคงคลังวัสดุได้ถึง 18 % และลดค่าใช้จ่ายในการจัดการคงคลังวัสดุได้ 8 % , สาโรช [6] ได้กล่าวถึง การพัฒนาโปรแกรมคำนวณต้นทุนการผลิตของกระบวนการผลิตอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เพื่อลดเวลาในการคำนวณและวิเคราะห์ต้นทุนลงได้ และยังได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องอีกทั้งข้อมูลที่มีความสำคัญยังได้รับการจัดเก็บที่ปลอดภัย, เเผด็จ [7] ได้กล่าวว่า การศึกษา และออกแบบระบบสารสนเทศ เพื่อการติดตามงานโดยใช้ระบบการจัดการฐานข้อมูล เพื่อช่วยในการตัดสินใจของผู้บริหารผลการวิจัยพบว่าสามารถลดเวลาในการจัดเตรียมรายงานได้ 85 % , วราลักษณ์ [8] ได้นำซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์มาใช้ในขั้นตอนของการวางแผนการผลิต โดยรวมไฟล์การคำนวณของแต่ละกระบวนการการทำงานเข้าไว้ด้วยกันเป็นไฟล์การ

คำนวณการวางแผนการผลิตรวม ซึ่งสามารถสรุปผลของกระบวนการผลิตหลักที่สำคัญได้ในหน้าเดียว และทำการคำนวณเสร็จสิ้นและได้รับผลคำนวณในเวลาอันสั้น และซัชซล [9] ได้พัฒนาระบบติดตามผลผลิตภาพการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งสามารถช่วยลดเวลาการรอรายงานจากเดิม 8 ชั่วโมงเหลือเพียง 20 นาที ทำให้วิศวกรสามารถปรับปรุงระบบ และนำชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องไปปรับปรุงได้ทันเวลา ซึ่งทำให้ผลผลิตภาพการผลิตเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นสรุปได้ว่างานวิจัยในด้านการออกแบบระบบฐานข้อมูลส่วนมากจะใช้เพื่อช่วยสำหรับจัดเก็บข้อมูลและเป็นฐานข้อมูลในการทำงานทำให้สามารถรวมข้อมูลให้เป็นส่วนกลาง และสามารถสืบค้น เรียกใช้ และแก้ไขข้อมูลได้โดยสะดวก อีกทั้งการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้ ยังสามารถลดระยะเวลาในการทำงานของบุคลากร ในโรงงานได้ เช่น การวางแผนการผลิต, การคำนวณต้นทุน และการจัดทำรายงานต่าง ๆ เป็นต้น ดังงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนองานการออกแบบและพัฒนาฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูลและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดทำระบบที่ช่วยคำนวณ และวางแผนกำลังการผลิตซึ่งจะช่วยลดเวลาในการทำงาน และได้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำ

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

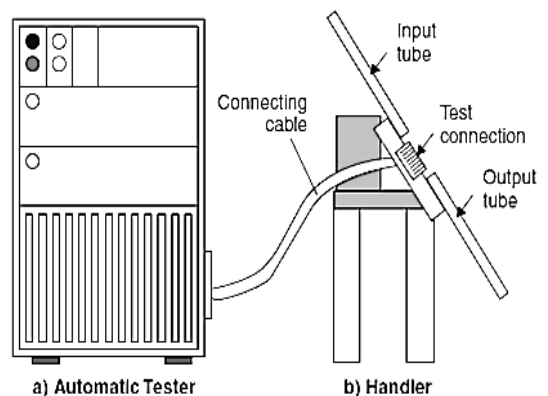
2.1 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาในกระบวนการทดสอบแผงวงจรรวมที่ประกอบด้วยเครื่องจักรหลัก 2 ประเภท คือ

2.1.1. เครื่องทดสอบอัตโนมัติ (Automatic Tester) คือ ระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ที่จะทำการทดสอบค่าทางไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (ภาพที่ 1)

2.1.2. เครื่องจับและเคลื่อนย้ายงาน (Handler) คือ อุปกรณ์ช่วยจับและเคลื่อนย้ายงานเข้า-ออก ระหว่างเครื่องทดสอบ

การพัฒนากระบวนการในงานวิจัยนี้จะศึกษาในส่วน of เครื่องทดสอบอัตโนมัติ (Automatic Tester) เท่านั้นซึ่งเป็นเครื่องจักรที่มีมูลค่าสูง และมีความสำคัญที่สุด



ภาพที่ 1 เครื่องจักรหลักในกระบวนการทดสอบ IC

2.2 ขั้นตอนการวิจัย

ทำการศึกษาการทำงานในระบบปัจจุบัน พบว่าระบบการทำงานประกอบไปด้วย 3 ฝ่ายหลัก คือ

2.2.1. ฝ่ายวางแผนกำลังการผลิต (Capacity Planning) มีหน้าที่ในการวางแผนกำลังการผลิตโดยคำนวณหาข้อมูลความต้องการใช้เครื่องจักรตามคำสั่งซื้อของลูกค้าเทียบกับจำนวนเครื่องจักรที่มีแล้วสรุปข้อมูลและจัดทำเป็นรายงานเพื่อส่งต่อไปยังผู้บริหารโดยการรวบรวมข้อมูลจากฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

- ก. ข้อมูลผลิตภัณฑ์จากฝ่ายวิศวกรรมผลิตภัณฑ์
- ข. ข้อมูลเครื่องจักรจากฝ่ายวิศวกรรมซ่อมบำรุง
- ค. ข้อมูลคำสั่งซื้อของลูกค้า

2.2.2. ฝ่ายวิศวกรรมผลิตภัณฑ์ (Product Engineer) มีหน้าที่ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และให้ข้อมูลด้านเทคนิคของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดว่าต้องใช้เครื่องจักรชนิดใดในการทดสอบ แก่ฝ่ายวางแผนกำลังการผลิต ซึ่งข้อมูลอยู่ในรูปแบบของไฟล์เอ็กเซล

2.2.3. ฝ่ายซ่อมบำรุง (Maintenance) มีหน้าที่ในการซ่อมบำรุงดูแลเครื่องจักร และอัปเดตข้อมูลจำนวนเครื่องจักรที่มีและสามารถใช้งานได้จริงให้แก่ฝ่ายวางแผนกำลังการผลิตซึ่งข้อมูลก็จะอยู่ในรูปแบบของไฟล์เอ็กเซลด้วยเช่นกัน

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

โปรแกรมโอเพ่นซอร์ส (Open Source) ได้แก่

- 2.3.1. Apache Web Server เป็น Web Server
- 2.3.2. PHP Script Language ใช้ในเขียนโค้ด
- 2.3.3. MySQL DB ใช้เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล

2.4 การวิเคราะห์และการออกแบบระบบใหม่

ระบบหลักของเว็บแอปพลิเคชัน สามารถ

แสดงความสัมพันธ์แต่ละส่วนได้ดังภาพที่ 2 ซึ่งจะประกอบไปด้วยระบบดังนี้

2.4.1 ระบบการเข้าถึงข้อมูล (Authentication login) เพื่อจัดแยกกลุ่มผู้ใช้งานระบบตามสิทธิ์ และขอบเขตหน้าที่ความรับผิดชอบ ดังนี้

ก) ฝ่ายบริหาร (Manager) มีหน้าที่เรียกดูผลการคำนวณกำลังการผลิต และรายงาน

ข) ฝ่ายการวางแผนกำลังการผลิต (Capacity Planner) มีหน้าที่แก้ไขและปรับปรุงข้อมูลด้านคำสั่งซื้อของลูกค้า และเรียกดูผลการคำนวณกำลังการผลิต และรายงาน

ค) ฝ่ายวิศวกรรมผลิตภัณฑ์ (Product Engineer) มีหน้าที่แก้ไข และปรับปรุงข้อมูลจำเพาะของผลิตภัณฑ์

ง) ฝ่ายซ่อมบำรุง (Maintenance) มีหน้าที่แก้ไขและปรับปรุงข้อมูลของเครื่องจักร

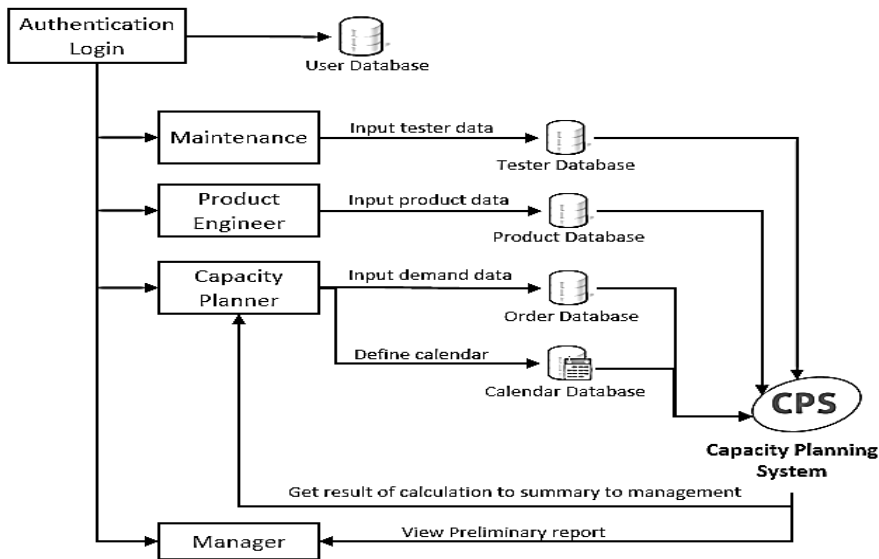
2.4.2 ระบบฐานข้อมูล (Database System) ประกอบไปด้วย

ก) ฐานข้อมูลผู้ใช้ (User DB) เพื่อจัดเก็บข้อมูลผู้ใช้ ตามสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลที่ได้กล่าวใน 2.4.1

ข) ฐานข้อมูลเครื่องจักร (Tester DB) เพื่อเก็บข้อมูลของเครื่องจักรและแก้ไขข้อมูลได้โดยฝ่ายซ่อมบำรุงเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วย

- TESTER NAME คือ ชื่อของเครื่องจักรที่โรงงานนิยมขึ้นมา โดยอ้างอิงจากยี่ห้อ หรือรุ่นของเครื่องจักรนั้น ๆ

- TESTER TYPE คือ รุ่นย่อยของเครื่องจักรแต่ละชนิดจากข้อมูลด้านบน โดยเครื่องจักรแต่ละจะมีรุ่นย่อยอีก 5-10 รุ่น โดยประมาณ



ภาพที่ 2 แผนผังภาพรวมของระบบใหม่

Tester Information			
TESTER No. :	TESTER NAME :	TESTER TYPE :	Search Test Type + Add Tester No.
TESTER No.	TESTER NAME	TESTER TYPE	ACTION
ASL1K#001	ASL1K	ASL1K PW66 D	
ASL1K#002	ASL1K	ASL1K PW(S)	
ASL1K#003	ASL1K	ASL1K PW(S)	
ETS88 #001	ETS88	ETS88 SD	
ETS88 #002	ETS88	ETS88 SDZ	

ภาพที่ 3 แสดงรายการข้อมูลเครื่องจักรทั้งหมดในฐานข้อมูล

ค) ฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์ (Product DB) เพื่อเก็บข้อมูลจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (แสดงดังภาพที่4) และสามารถแก้ไขข้อมูลได้โดยฝ่ายวิศวกรรมผลิตภัณฑ์เท่านั้น ประกอบไปด้วย ชื่อผลิตภัณฑ์ (PRODUCT), ชื่อเครื่องจักร (TESTER NAME), ประเภทของเครื่องจักร (TESTER TYPE) ที่สามารถทดสอบผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ได้ อ้างอิงจากฐานข้อมูลเครื่องจักรที่กล่าวด้านบน โดย IC ไต ๆ จะสามารถทดสอบกับเครื่องจักรได้เพียง 1 ประเภทเท่านั้น ตามคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดซึ่งถูกกำหนดจากฝ่าย R&D ของแต่ละ

โรงงานและยังจัดเก็บข้อมูลด้านความสามารถในการทดสอบอีกด้วย ซึ่งได้แก่

- TEST TIME = เวลาที่ใช้ในการทดสอบ IC แต่ละครั้ง
- INDEX TIME= เวลาที่ใช้ในการจับและเคลื่อนย้าย IC เข้าทดสอบ
- SITE = จำนวน IC ที่สามารถทดสอบพร้อม ๆ กันได้ใน 1 ครั้ง
- OEE = ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร

Product Information									
PRODUCT :		TESTER NAME :		TESTER TYPE :		Search	+ Add Product		
PRODUCT	TESTER NAME	TESTER TYPE	TEST TIME (sec)	INDEX TIME (sec)	SITE(S)	UPH	%OEE	CAPACITY PER DAY	ACTION
IBC16946GTE/V+	ASLIK	ASLIK PW(S)	4.41	1	1	666	70%	11,190	
IBC5035BASA/V+	ASLIK	ASLIK PW(S)	2.34	1	1	1,078	70%	18,108	
IBC6895AALT+T	ASLIK	ASLIK PW(S)	0.78	1.6	4	6,050	70%	101,647	
IBC15038ETG+	ASLIK	ASLIK PW(S)	4.72	1	1	629	70%	10,573	
IBC9938TEUK+T	ASLIK	ASLIK PW	0.79	0.4	1	3,025	70%	50,824	

ภาพที่ 4 แสดงรายการข้อมูลผลิตภัณฑ์ทั้งหมดในฐานข้อมูล

จากนี้จะแสดงการคำนวณ “ความสามารถในการผลิต (UPH: Units Per Hour)” และ “กำลังการผลิตต่อวัน (CAPACITY PER DAY)” ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณความต้องการใช้เครื่องจักร (M/C Requirement) ต่อไป

ยกตัวอย่างเช่น จากภาพที่ 4 ผลิตภัณฑ์ IBC16946GTE/V+ มีข้อมูลดังนี้ TEST TIME = 4.41 sec, INDEX TIME = 1 sec, SITE = 1 และ OEE = 70% จะได้

- ความสามารถในการผลิต (UPH: Units Per Hour)

$$= (3,600 \times \text{SITE}) / (\text{TEST TIME} + \text{INDEX TIME})$$

$$= (3,600 \times 1) / (4.41 + 1)$$

$$= 666 \text{ pcs / hour}$$
- กำลังการผลิตต่อวัน (CAPACITY PER DAY)

$$= \text{UPH} \times \text{OEE} \times 24$$

$$= 666 \times 70\% \times 24$$

$$= 11,190 \text{ pcs / day}$$

ง) ฐานข้อมูลคำสั่งซื้อ (Order DB) เพื่อจัดเก็บข้อมูลคำสั่งซื้อของลูกค้า ซึ่งจะถูกบันทึกโดยแผนกวางแผนกำลังการผลิตเท่านั้น โดยที่รูปแบบของข้อมูลจะมีมากกว่า 3,000 รายการต่อ 1 คำสั่งซื้อ และจะอยู่ในรูปแบบของการพยากรณ์เป็นรายเดือน ไปล่วงหน้า 12 เดือน และจะมีการส่งข้อมูลให้บริษัทในทุก ๆ เดือน แสดงดังตารางที่ 1

อธิบายได้คือ ลูกค้าจะส่งคำสั่งซื้อมายังบริษัทฯ เดือนละ 1 ครั้ง และใน 1 ครั้งจะเป็นข้อมูลของ 12 เดือน โดยเริ่มจากคำสั่งซื้อของเดือนที่ส่งมา ตัวอย่างเช่น ข้อมูลเดือน ม.ค.61 จะมีคำสั่งซื้อตั้งแต่ ม.ค.61 – ธ.ค.61 และครั้งต่อไปข้อมูลคำสั่งซื้อที่มาจากในเดือน ก.พ.61 ก็คือคำสั่งซื้อของเดือน ก.พ.61 - ม.ค.62 ซึ่งโดยส่วนมากจะเป็นการอัปเดตข้อมูลในเดือนถัดไป กล่าวคือเดือน มี.ค.61 หรือ เม.ย.61 เป็นต้นไป หรือข้อมูลอาจจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงก็เป็นไปได้ โดยข้อมูลคำสั่งซื้อนี้จะถูกเก็บในฐานข้อมูลด้วยการอัปเดตข้อมูลไฟล์เอ็กซ์เซลในรูปแบบตารางที่ 2

ตารางที่ 1 รูปแบบ/ความถี่ของคำสั่งซื้อจากลูกค้า

ครั้งที่	เดือนที่ส่งข้อมูล	ข้อมูลคำสั่งซื้อของเดือน													
		ม.ค.61	ก.พ.61	มี.ค.61	เม.ย.61	พ.ค.61	มิ.ย.61	ก.ค.61	ส.ค.61	ก.ย.61	ต.ค.61	พ.ย.61	ธ.ค.61	ม.ค.62	ก.พ.62
1	ม.ค.61	←											→		
2	ก.พ.61		←											→	
3	มี.ค.61			←											→
⋮	⋮														

ตารางที่ 2 ข้อมูลคำสั่งซื้อแต่ละเดือน

ผลิตภัณฑ์	ข้อมูลคำสั่งซื้อรายเดือน					
	ม.ค.61	ก.พ.61	มี.ค.61			ธ.ค.61
IBC16946GTE/V+	2,171,460	2,024,200	1,632,700			.....
IBC5035BASA/V+	1,310,760	1,155,500	1,293,300			.....
IBC6895AALT+T	1,729,500	1,947,500	1,980,000			.....
.						.
.						.
.				.	.	

จ) ฐานข้อมูลปฏิทิน (Calendar DB) เพื่อจัดเก็บข้อมูลจำนวนวันทำงานของแต่ละเดือน ซึ่งจะถูกรับบันทึกโดยฝ่ายวางแผนกำลังการผลิต เนื่องจากในระบบงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะมีการกำหนดปฏิทินที่แตกต่างไปจากวันเวลาปกติ รวมถึงวันหยุดและวันทำงานในแต่ละเดือนด้วย ซึ่งถือเป็นข้อมูลที่จำเป็นต่อการคำนวณกำลังการผลิตของแต่ละบริษัทของผู้ใช้งานดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รูปแบบจำนวนวันทำงานในแต่ละเดือน

เดือน	ม.ค.61	ก.พ.61	มี.ค.61	เม.ย.61	พ.ค.61	...
จำนวนวันทำงาน	28	28	28	25	28	....

2.4.3 ระบบคำนวณและวางแผนกำลังการผลิต (Capacity Planning System)

กระบวนการเริ่มต้นจากแผนกวางแผนกำลังการผลิต login เข้าสู่ระบบ หลังจากนั้นระบบจะทำการประมวลผลข้อมูล และแสดงเป็นรายงานต่าง ๆ โดยระบบจะประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ดังนี้ โดยจะแสดงการทำงานของระบบไว้ใน ภาพที่ 5

ขั้นตอนที่ 1 : คำนวณความต้องการใช้เครื่องจักร

เพื่อคำนวณความต้องการใช้เครื่องจักร (M/C Requirement) ในแต่ละประเภท อ้างอิงจากฐานข้อมูลนำเข้าทั้งหมด คือ ข้อมูลเครื่องจักร, ข้อมูลผลิตภัณฑ์, ข้อมูลคำสั่งซื้อ และข้อมูลปฏิทิน มาคำนวณด้วยสูตร คือ

➤ ความต้องการใช้เครื่องจักร

(M/C Requirement) = คำสั่งซื้อต่อเดือน / (กำลังการผลิตต่อวัน × จำนวนวันทำงานต่อเดือน) ยกตัวอย่างเช่น จากตารางที่ 2 และจากภาพที่ 4 ผลิตภัณฑ์ “IBC16946GTE/V+” มีคำสั่งซื้อในเดือน ม.ค.61 จำนวน 2,171,460 ชิ้น ซึ่งต้องทดสอบกับเครื่อง “ASL1K PW(S)” โดยมีกำลังการผลิตต่อวัน (CAPACITY PER DAY) 11,190 ชิ้น (จากตัวอย่างการคำนวณในข้อ 2.4.2 ค) ฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์) และในเดือน ม.ค.61 มีวันทำงาน 28 วัน (จากตารางที่ 3) ดังนั้น

➤ ความต้องการใช้เครื่องจักร (M/C Requirement)

$$= 2,171,460 / (11,190 \times 28)$$

$$= 6.9 \text{ เครื่อง}$$

ซึ่งระบบจะต้องคำนวณซ้ำในทุก ๆ เดือนนั้นคืออีก 11 เดือน และทำซ้ำในทุกรายการของแต่ละผลิตภัณฑ์อีกจำนวนมากกว่า 3,000 รายการ และเก็บเป็นข้อมูลของความต้องการใช้เครื่องจักรของแต่ละเครื่องจักรไว้ในฐานข้อมูล หลังจากนั้นจะคำนวณความต้องการใช้เครื่องจักรโดยรวมของเครื่องจักรแต่ละประเภทเครื่องจักรในแต่ละเดือน

จากตารางที่ 4 แสดงว่า เครื่องจักรประเภท “ASL1K PW(S)” มีความต้องการใช้เครื่องจักรในเดือน ม.ค.61 ทั้งหมด = 6.9 + 2.6 + 1.8 = 11.3 เครื่อง

ตารางที่ 4 สรุปข้อมูลความต้องการใช้เครื่องจักรประเภท “ASL1K PW(S)”

ผลิตภัณฑ์	ประเภทเครื่องจักร	ความต้องการใช้เครื่องจักร (เครื่องต่อเดือน)				
		ม.ค.61	ก.พ.61	มี.ค.61		ธ.ค.61
IBC16946GTE/V+	ASL1K PW(S)	6.9	6.5	4.2	. . . . .	...
IBC5035BASA/V+	ASL1K PW(S)	2.6	2.3	2.0	. . . . .	...
IBC6895AALT+T	ASL1K PW(S)	1.8	2.0	1.7	. . . . .	...
...	...	...				...
...	...	...				...
ผลรวม		11.3	5.5	5.7	. . . . .	...

ขั้นตอนที่ 2 : สรุปข้อมูลจำนวนเครื่องจักรที่สามารถใช้งานได้

อ้างอิงจากฐานข้อมูลเครื่องจักรในแต่ละประเภทของเครื่องจักร โดยที่ระบบจะนับจำนวนเครื่องจักรทั้งหมดตามหมายเลขเครื่องจักร และสรุปเป็นข้อมูลจำนวนเครื่องจักรที่มีในแต่ละประเภทจนครบทุกประเภท แล้วจึงมาสร้างเป็นตารางแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สรุปจำนวนเครื่องจักรที่สามารถใช้ได้

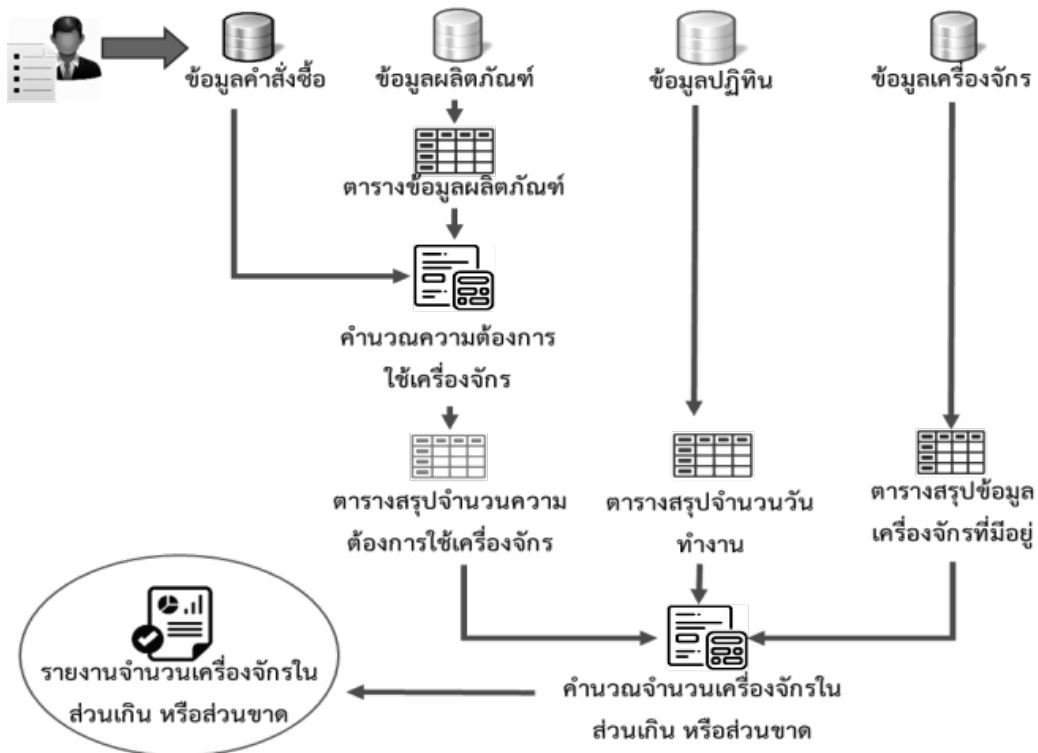
ประเภทเครื่องจักร	จำนวนเครื่องจักรที่มี(สามารถใช้งานได้)					
	ม.ค.61	ก.พ.61	มี.ค.61		ธ.ค.61	
ASL1K PW(S)	10	10	10		10	
ASL1K PW	5	5	5		5	
ASL1K PW D	2	2	2		2	
.						.
.						

ขั้นตอนที่ 3 : เปรียบเทียบจำนวนเครื่องจักรที่มี และความต้องการใช้เครื่องจักรทั้งหมด

ระบบจะนำข้อมูลจากทั้ง 2 ขั้นตอนในข้างต้น นั่นคือ จากตารางที่ 4 และ 5 นำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อคำนวณว่าจำนวนเครื่องจักรที่มีเพียงพอต่อความต้องการใช้หรือไม่ ถ้าเครื่องจักรมีไม่เพียงพอ จะแสดงด้วยตัวเลขติดลบตามจำนวนที่ไม่เพียงพอ ดังตัวอย่างของกรณีเครื่องจักร “ASL1K PW(S)” กล่าวคือความต้องการใช้งานเครื่องจักรคือ 11.3 เครื่อง แต่มีเครื่องจักรเพียง 10 เครื่อง จึงปรากฏเป็นเลข -1.3 แต่ถ้าเครื่องจักรมีเพียงพอจะไม่มีตัวเลขแสดง ดังตัวอย่างของกรณีเครื่องจักร “ASL1K PW” ในตารางที่ 6 ทั้งนี้การทำงานของระบบคำนวณความต้องการใช้เครื่องจักรโดยรวมแสดงอยู่ในภาพที่ 5

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนเครื่องจักรที่มี และความต้องการใช้เครื่องจักร

ประเภทเครื่องจักร	ม.ค.61				ก.พ.61 ธ.ค.61
	คำสั่งซื้อ (1000 ชิ้น)	ความต้องการใช้เครื่องจักร	จำนวนเครื่องที่มี	จำนวนเครื่องที่ไม่เพียงพอ	
ASL1K PW(S)	5,211	11.3	10	-1.3	....
ASL1K PW	701	3	5		....
ASL1K PW D					.
.					.



ภาพที่ 5 การทำงานของระบบการคำนวณความต้องการใช้เครื่องจักร

Capacity Planning System												
DATA VIEW : Tester Type TESTER NAME : ASL1K REPORT VIEW : Monthly Search												
TESTER TYPE	JAN-2018				FEB-2018				MAR-2018			
	DMD (1000's)	TESTER REQUIRED	TESTER QTY	SHORTAGE TESTER	DMD (1000's)	TESTER REQUIRED	TESTER QTY	SHORTAGE TESTER	DMD (1000's)	TESTER REQUIRED	TESTER QTY	SHORTAGE TESTER
ASL1K INT	1,542	1.23	1	-1	1,318	1.13	1	-1	1,383	1.06	1	-2
ASL1K INT D	1,978	2.12	4		2,370	2.62	4		2,256	2.34	4	
ASL1K PW	49,175	79.56	50	-30	49,288	87.12	50	-38	49,176	77.685	50	-29
ASL1K PW D	29,686	44.96	20	-25	27,515	46.27	20	-27	29,467	44.71	20	-25
ASL1K PW HA	1,576	2.93	4		749	1.83	4		622	1.55	4	
ASL1K PW(S)	22,717	40.82	37	-4	25,711	48.07	37	-12	23,260	37.83	37	-1
ASL1K PW(S) D	883	1.37	8		909	1.51	8		900	1.415	8	
ASL1K PW66	2,708	3.04	2	-2	2,737	3.30	2	-2	2,534	2.94	2	-1
ASL1K PW66 D	2,882	2.53	6		3,280	2.94	6	-1	2,832	2.385	6	
Sum:	113,149	178.56	132	-62	113,878	194.78	132	-80	112,427	171.92	132	-56

ภาพที่ 6 แสดงรายงานผลการคำนวณรายเดือน

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยข้างต้น จึงได้นำมาพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชัน ด้วยภาษา PHP สำหรับคำนวณและวางแผนการผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า

ฝ่ายวางแผนกำลังการผลิต และฝ่ายบริหาร (Manager) สามารถเรียกดูรายงานได้โดยหลังจาก login เข้าสู่ระบบเท่านั้น ซึ่งจะปรากฏข้อมูลรายงานดังภาพที่ 6 ประกอบไปด้วยคอลัมน์ต่างๆ ดังนี้

- DMD = คำสั่งซื้อของลูกค้าในหน่วย 1,000 ชิ้น
- TESTER REQUIRED = จำนวนความต้องการใช้เครื่องจักร
- TESTER QTY = จำนวนเครื่องจักรที่สามารถใช้งานได้
- SHORTAGE TESTER = จำนวนเครื่องจักรที่
ต้องการใช้เพิ่มจากที่มีอยู่ (จะแสดงข้อมูลก็ต่อเมื่อ
จำนวนเครื่องจักรที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อคำสั่งซื้อ
ของลูกค้าเท่านั้น)

ซึ่งจะขออธิบายด้วย 2 กรณีจากภาพที่ 6 นั้นคือ

1. Tester ประเภท ASL1K INT D มีความต้องการสินค้าจำนวน 1,978,000 ชิ้น ในเดือน มกราคม 61 และมีเครื่องจักรประเภทนี้ที่สามารถใช้งานได้อยู่จำนวน 4 เครื่อง ส่วนจำนวนความต้องการการใช้เครื่องจักรทั้งสิ้นคือ 2.12 เครื่อง แสดงว่าบริษัทมีเครื่องจักรประเภทนี้ **เพียงพอ** สำหรับความต้องการสินค้าในกลุ่มนี้

2. Tester ประเภท ASL1K PW(S) มีความต้องการสินค้าจำนวน 22,717,000 ชิ้น ในเดือน มกราคม 61 และมีเครื่องจักรประเภทนี้ที่สามารถใช้งานได้อยู่จำนวน 37 เครื่อง ส่วนจำนวนความต้องการการใช้เครื่องจักรทั้งสิ้นคือ 40.82 เครื่อง แสดงว่าบริษัทมีเครื่องจักรประเภทนี้ **ไม่เพียงพอ** สำหรับ

ความต้องการสินค้าในกลุ่มนี้ ยังต้องการเครื่องจักรประเภทนี้ **อีก 4 เครื่อง**

4. สรุปผลการวิจัย

หลังจากทดลองใช้ระบบวางแผนกำลังการผลิตบนเว็บแอปพลิเคชันนี้ กับเจ้าหน้าที่ฝ่ายวางแผนกำลังการผลิตจำนวน ฝ่ายวิศวกรรมผลิตภัณฑ์ และฝ่ายซ่อมบำรุงจำนวนทดลองใช้ จำนวนแผนกละ 3 คน พบว่า ระบบสามารถตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้จริง นั่นคือ

1. สามารถออกแบบระบบฐานข้อมูลได้ดี จึงสามารถนำไปใช้ต่อการจัดทำเว็บแอปพลิเคชันต่อไปได้

2. สามารถออกแบบ และจัดทำเว็บแอปพลิเคชันที่ช่วยคำนวณและสรุปผลการวางแผนการกำลังการผลิตเป็นรายงานตามที่ต้องการ โดยการใช้งานที่ง่ายขึ้น มีความสะดวกรวดเร็วในการทำงานมากขึ้นอีกทั้งทุกคนสามารถเรียกดูข้อมูลที่เป็นปัจจุบันได้ โดยไม่ต้องมาเรียกขอการส่งข้อมูลผ่านทางอีเมล เมื่อต้องการใช้ข้อมูลนั้น ๆ

3. ข้อมูลที่ได้จากระบบวางแผนกำลังการผลิตนี้มีความถูกต้องแม่นยำ 100 % ซึ่งได้ทำการยืนยันจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ จากระบบกับผลการคำนวณที่ผ่านการตรวจสอบแล้วว่าถูกต้องในอดีต อีกทั้งยังสามารถเรียกดู หรือแก้ไขข้อมูลได้จากที่ต่างๆ ทั้งจากภายในและภายนอกองค์กร ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ในส่วนของรายงานของระบบนั้นได้จัดทำให้ง่ายต่อผู้บริหารในการพิจารณาและตัดสินใจ

4. สามารถลดระยะเวลาการทำงานของพนักงานที่ทำหน้าที่วางแผนกำลังการผลิตได้ตามเป้าหมายของงานวิจัยจากระบบเดิมต้องใช้เวลาในการทำงานถึง 5 ชั่วโมงต่อครั้ง แต่ระบบใหม่ที่จัดทำ

ขึ้นใช้เวลาเพียง 15 นาทีต่อครั้ง ซึ่งลดเวลาการทำงานได้ถึง 95%

4.1 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป ควรศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของระบบสนับสนุน เพื่อทำการวิเคราะห์และเสนอแนะ เมื่อระบบคำนวณการใช้เครื่องจักรพบว่ามีความจำเป็นหรือไม่เพียงพอ เช่น สามารถผลิตล่วงหน้าให้ได้ตามจำนวนความต้องการหรือไม่ หรือการดำเนินการอื่น ๆ ซึ่งอาจสามารถแก้ปัญหาได้โดยไม่ต้องเพิ่มจำนวนเครื่องจักรได้หรือไม่

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สายงานวิชาการ สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. ภาวะอุตสาหกรรม Industrial Review. มกราคม 2560.
- [2] Scotten WJ. Introduction to Integrated Circuit Technology, Fifth Edition, Georgetown, MA. 2001–2012.
- [3] พิภพ ลิตาภรณ์. การวางแผนและควบคุมกำลังการผลิต. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ. 2553.
- [4] ชุมพล ศฤงคารศิริ. การวางแผนและควบคุมการผลิต. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ. 2545.
- [5] วรพ เกิดงาม. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวางแผนความต้องการวัสดุ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2549.
- [6] สาโรช เจริญ. การพัฒนาโปรแกรมคำนวณต้นทุนการผลิตของกระบวนการผลิตอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2553.
- [7] เพลด็จ พรหมสาขา ณ สกลนคร. การออกแบบระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตโซฟาหนังแท้. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรม อุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2539.
- [8] วราลักษณ์ มณีพันธ์. การปรับปรุงกระบวนการวางแผนการผลิตหลักในโรงงานผลิตเซมิคอนดักเตอร์. [วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต] จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2558.
- [9] ชัชชล เปรมชัยสวัสดิ์. การพัฒนาระบบติดตามผลผลิตภาพการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. วารสารวิจัย มข 2554; 11:51-58.

ระบบบริหารงานโรงงานน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงงานเพชรน้ำทิพย์
Management System of Drinking Water Factory Case Study of
Diamond Drinking Water Factory

ทวีศักดิ์ คงตุก^{1*}, อนูทิตา เล็กเพชร¹
Thaweesak Khongtuk^{1*}, Anutita Lekpech¹

¹สาขาวิชาระบบสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Computer and Information Technology Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Asian Highway, Phranakhon Si Ayutthaya, Thailand, 13000

*Corresponding author. Tel.: +668 1272 5609 Email: dragonsuphan69@gmail.com

บทคัดย่อ

ระบบบริหารงานโรงงานน้ำดื่มเพชรน้ำทิพย์ จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบจัดการข้อมูลในส่วนต่าง ๆ ของโรงงาน ได้แก่ ข้อมูลทางด้านการบริหารงานบุคลากร ข้อมูลการลงเวลาทำงาน ข้อมูลการคิดค่าแรง และข้อมูลการบริหารจัดการสต็อกน้ำดื่ม โดยทำการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์แทนการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบเอกสาร เพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วในการค้นหา ตรวจสอบข้อมูลง่ายต่อการติดตามผลและนำข้อมูลมาสรุปรายงานเพื่อใช้ตัดสินใจสำหรับผู้บริหารต่อไป ทำให้โรงงานมีการบริหารงานที่มีคุณภาพวิธีดำเนินงานพัฒนาและออกแบบระบบได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ศึกษาขั้นตอนการทำงาน ระบบการบริหารงานโรงงานในรูปแบบเดิม เพื่อรวบรวมข้อมูลและความต้องการของระบบแล้วนำมาออกแบบระบบฐานข้อมูลของระบบบริหารงานโรงงานน้ำดื่มใหม่ พัฒนาระบบงานใหม่ และทดสอบการทำงานของระบบทั้งหมด แล้วทำการประเมินผลการใช้งานระบบ

ผลที่ได้จากการทดสอบการทำงานของระบบใหม่ que พัฒนา สามารถทำงานได้ตรงตามขอบเขตความต้องการ และยังอำนวยความสะดวกให้กับโรงงานน้ำดื่มเพชรน้ำทิพย์เป็นอย่างดีในการจัดเก็บและจัดการฐานข้อมูลซึ่งช่วยให้การบริหารงานโรงงานมีประสิทธิภาพสูงสุด และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานจำนวน 30 คน ผลการประเมินประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.38$, S.D. = 0.35) และได้รับการประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญซึ่งประกอบด้วยอาจารย์ผู้ชำนาญด้านไอที จำนวน 3 คน อยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.17$, S.D. = 0.37)

คำสำคัญ: ระบบบริหารงาน น้ำดื่ม ฐานข้อมูล

ABSTRACT

The administrative management of the Diamond Drinking Water Factory has been set up with a purpose to create a database for various departments of the factory; for instance, data on personnel, time and attendance, payroll and water reserve. All data are kept electronically instead of documentation as hard copies. By doing this, required data can be quickly retrieved for review and follow-up. Conclusive reports can be submitted to CEO or plant executives for prompt decision makings. This renders the factory to have a very high qualitative management. The development and design procedures have been carried out by studying the possibility and working methodology of the original factory management system and sum-up all data and system requirement. By doing this, a new database for drinking water of the factory has been designed; a new working system has been developed and tested. After that, an assessment for all working systems of the factory has been achieved.

The experiment results of the newly developed system. The new system works to the extent required. It also provides convenience to manage Drinking Water Diamond Drinking Factory as well to store data. The database management system allows for the most efficient plant management. The results of the evaluation were satisfactory ($\bar{X} = 4.38$, $SD = 0.35$) and evaluated by experts, including 3 IT experts. People in good grades ($\bar{X} = 4.17$, $SD = 0.37$).

Keywords: Management System, Drinking Water, Database

1. บทนำ

โรงงานน้ำดื่มเพชรน้ำทิพย์ เป็นโรงงานผลิตน้ำดื่มขนาดเล็ก ตั้งอยู่ที่อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี ให้บริการน้ำดื่มในพื้นที่อำเภอศรีประจันต์ และพื้นที่ใกล้เคียง ลูกค้าของโรงงานน้ำดื่มเพชรน้ำทิพย์มีหลากหลายประเภททั้งครอบครัว ร้านค้า ส่วนราชการ และบริษัทต่าง ๆ โดยลูกค้าจะโทรศัพท์แจ้งความต้องการประเภทน้ำดื่มและจำนวนที่ต้องการ หลังจากนั้นโรงงานจะจัดส่งน้ำดื่มให้กับลูกค้า

ส่วนของการผลิตน้ำดื่มนั้น มีพนักงานเป็นกลไกหลักในการผลิตน้ำดื่มทุกประเภทและทุกส่วนงาน ตั้งแต่การล้างขวดน้ำดื่ม การบรรจุน้ำดื่ม และการฉีกปากขวด พนักงานจะจดบันทึกการเข้าออกงานเอง

หลังจากนั้น เจ้าของโรงงานจะคำนวณจำนวนชั่วโมงที่ทำงานแต่ละวัน คูณกับอัตราค่าแรงคิดเป็นรายชั่วโมง มี 2 อัตรา คือพนักงานขับรถ 40 บาท/ชม. และพนักงานในโรงงาน 30 บาท/ชม. ทั้งนี้เจ้าของโรงงานจะจ่ายค่าจ้างให้ทุก ๆ 15 วัน

เจ้าของโรงงานต้องรับผิดชอบการจัดทำงานบัญชีต่าง ๆ ตั้งแต่การผลิตสินค้าการรับจ่ายค่าน้ำดื่ม การจัดการขวดน้ำดื่ม รวมไปถึงการคิดคำนวณค่าตอบแทนให้กับพนักงานทั้งหมดและเจ้าของโรงงานนี้ก็มีกิจการหลายประเภทจึงไม่มีเวลาในการคิดคำนวณ ผนวกกับโรงงานไม่มีกฎระเบียบเคร่งครัด จึงทำให้พนักงานจดบันทึกการเข้างานไม่ตรงกับเวลาที่มาปฏิบัติงานจริง ทำให้โรงงานต้องจ่ายค่าตอบแทนในส่วนนี้เป็นจำนวนมาก

จากปัญหาดังกล่าว การคิดคำนวณการจ่ายค่าตอบแทนให้กับพนักงานนั้น หากนำระบบคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้จะช่วยทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น กล่าวคือ ช่วยลดภาระงานของเจ้าของโรงงาน เพราะระบบสามารถคิดคำนวณค่าตอบแทนได้อัตโนมัติ และแก้ไขปัญหาการบันทึกเวลาทำงานของพนักงานได้ งานนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาระบบคำนวณค่าตอบแทนพนักงานของโรงงานน้ำดื่มเพชรน้ำทิพย์ ซึ่งสามารถเป็นระบบการคิดคำนวณค่าตอบแทนพนักงานต้นแบบสำหรับโรงงานหรือบริษัทขนาดเล็กได้

1.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบงานที่พัฒนาจะประกอบด้วยงานหลักอยู่ 2 ส่วนคือระบบการลงเวลาพนักงาน และระบบเกี่ยวกับการจัดการสต็อกน้ำดื่ม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาระบบงานอื่น ๆ ที่ใกล้เคียง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาทั้งในส่วนของการวิเคราะห์ ออกแบบ และเครื่องมือที่ใช้พัฒนา ดังนี้

ณัศกรณ บินโหรณ [1] ได้พัฒนาระบบบันทึกเวลาปฏิบัติงานโดยใช้โทรศัพท์สมาร์ตโฟน ใช้เทคนิคในการพัฒนา ประกอบด้วยการใช้จีพีเอสในการระบุสถานที่ในการบันทึกเวลา โดยอาศัยความสามารถของเว็บบริการทางภูมิศาสตร์กูเกิล การตรวจสอบบุคคลโดยใช้ภาพใบหน้า โดยอาศัยความสามารถของเว็บบริการตรวจสอบใบหน้าไอคิวเอนจินส์ และคูอาบา งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองความถูกต้องในการตรวจสอบใบหน้า ความถูกต้องในการระบุพิกัดจีพีเอส และประเมินประสิทธิภาพโดยผู้ใช้งานผลการทดลองพบว่าความถูกต้องในการตรวจสอบใบหน้าเว็บบริการไอคิวเอนจินส์มีค่าความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 90 เว็บบริการคูอาบา มีค่าความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 71.5 การระบุพิกัด จีพีเอสพบว่า ระบบสามารถระบุพิกัดได้ถูกต้องทั้งหมดและความพึงพอใจโดยรวม มีคะแนนเฉลี่ย 4.36

ปริญญญา เพียรอุตสาห์ [2] พัฒนาระบบตรวจสอบการลงเวลาปฏิบัติงานของบุคลากรสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้พบว่า ระบบนี้สามารถสร้างความมั่นใจในผลการลงเวลาปฏิบัติงาน และช่วยลดขั้นตอนในการเรียกดูรายงานของฝ่ายบุคคลได้ในระดับที่น่าพึงพอใจ ผู้ใช้บริการสามารถเรียกดูรายงานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web browser) และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ (Device) เช่น โทรศัพท์มือถือสมาร์ตโฟน (Smart phone) อุปกรณ์แท็บเล็ต (Tablet) เป็นต้น เครื่องมือหลักในการพัฒนาระบบคือ โปรแกรมจัดการเนื้อหาสำเร็จรูป (CMS) จูมลา (Joomla) สำหรับพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ และใช้โปรแกรมมายเอสคิวแอล (MySQL) เป็นฐานข้อมูลในการจัดเก็บข้อมูลของบุคลากร ในการลงเวลาปฏิบัติงานด้วยวิธีการสแกนลายนิ้วมือทั้งหมด

อาจาณี นาโค [3] ศึกษาการประยุกต์ใช้อ่านลายนิ้วมือเพื่อตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนแบบอัตโนมัติซึ่งจะช่วย ให้การตรวจสอบการเข้าเรียนมีความสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น ผู้ดูแลระบบสามารถกำหนดช่วงเวลาของการอ่านลายนิ้วมือเพื่อใช้ระบุสถานะของการเข้าเรียน ระบบสามารถอ่านลายนิ้วมือนำไปตรวจสอบกับข้อมูลการลงทะเบียนจากฐานข้อมูลบันทึกเวลาเข้าเรียนของผู้เรียน ผู้สอนสามารถสืบค้นข้อมูลเป็นรายวัน รายเดือน และรายภาคเรียน พร้อมทั้งออกรายงาน จากการประเมินการใช้งานจากกลุ่มตัวอย่างพบว่า ระบบสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและแสดงรายงานสรุปได้อย่างถูกต้อง

อรอนงค์ อิศระนารกุล และชุติมา เปี้ยไข่มุก [4] พบว่า ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการลงเวลาปฏิบัติงานของบุคลากรด้วยการสแกนลายนิ้วมือสามารถช่วยแก้ไขปัญหาหลงเวลาคลาดเคลื่อนได้ และทำให้เวลาในการลงเวลาของบุคลากรเร็วขึ้นเฉลี่ย

19.10 วินาทีต่อคน ส่วนการประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการลงเวลาปฏิบัติงานของบุคลากรโดยใช้แบบสอบถาม พบว่าประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก และตรงตามความต้องการของผู้บริหารและบุคลากรของโรงเรียน

2. วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุอุปกรณ์

2.1.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

- Notebook inter(R) Core(TM) i5-7200U
CPU @ 2.50GHz 2.70 GHz AND Ram 4.00 GB
Hard Disk 500 GB Radeon (TM) R5 M330

2.1.2 ซอฟต์แวร์ (Software)

- NetBeans IDE8.2 และ XAMPP

2.2 วิธีการทดลอง

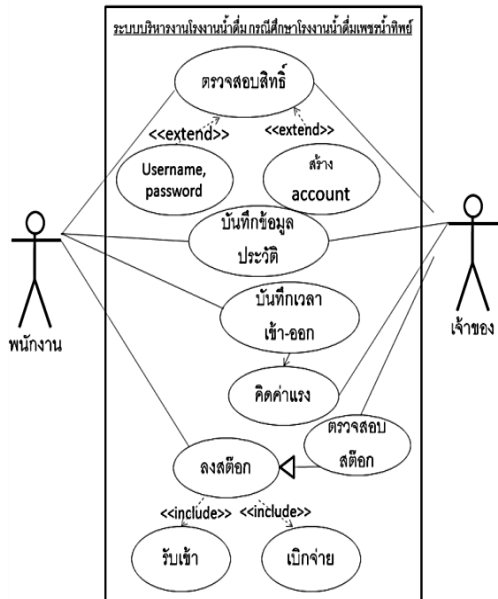
ขั้นตอนการดำเนินงานจะดำเนินการตามกระบวนการของวงจรการพัฒนากระบวนการ (SDLC : System Development Life Cycle) ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน

2.2.1 ขั้นตอนการศึกษาและรวบรวมข้อมูล

โดยวิธีการสังเกตการณ์ สัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ที่ทำงานและศึกษาเอกสารเดิมที่มีอยู่ เพื่อสรุปได้ว่าระบบงานเดิมมีขั้นตอนการทำงานอะไร มีใครเกี่ยวข้องบ้าง มีเอกสารอะไรที่ต้องการจัดเก็บและออกรายงาน รวมทั้งศึกษาปัญหาของระบบงานเดิม เพื่อนำมาใช้ออกแบบปรับปรุงระบบงานใหม่ต่อไป

2.2.2 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

โดยการนำข้อมูลจากข้อที่ 1 มาทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบ โดยใช้เครื่องมือ UML ได้แก่ USE CASE Diagram, Class Diagram, Sequence Diagram, Activity Diagram และการออกแบบส่วนติดต่อของผู้ใช้ (UI) ได้แก่ Input และ Output



ภาพที่ 1 แผนภาพยูสเคส

ภาพที่ 1 แผนภาพยูสเคส แสดงรายละเอียดการทำงานหลักของระบบบริหารงานโรงพยาบาลน้ำดื่มเพชรน้ำทิพย์ โดยเริ่มตั้งแต่เข้าสู่ระบบ, บันทึกข้อมูลประวัติ, บันทึกเวลาเข้า-ออก, คิดค่าแรง, ลง Stock รับเข้า, เบิกจ่ายและออกจากระบบ

2.2.3 พัฒนาระบบ

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และออกแบบมาพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ภาษา java และ MySQL ในการจัดการฐานข้อมูล

2.2.4 ทดสอบระบบ

การทดสอบว่าระบบที่ได้พัฒนาขึ้นทำงานได้ดี ไม่มีข้อผิดพลาดใด ๆ ทั้งสิ้น ถ้าพบข้อผิดพลาดก็จะสามารถแก้ไขในขั้นตอนนี้ได้เลย การทดสอบระบบ จะทำการทดสอบด้วยกัน 2 ลักษณะ ได้แก่ การทดสอบว่าระบบทำงานได้ตามความต้องการเบื้องต้นหรือไม่ (Function Testing) และทดสอบการทำงานของระบบว่าเสถียรหรือไม่ (Performance Testing)

2.2.5 ทดสอบความพึงพอใจของระบบ

- แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้จำนวน 30 ท่าน โดยประเมิน 7 ด้าน ได้แก่

1) ความสามารถของระบบในด้านการจัดการข้อมูล

2) ความสามารถจัดการข้อมูลพนักงาน

3) ความสามารถลดเวลาทำงาน

4) ความสามารถในการคิดค่าจ้าง

5) ความสามารถในการจัดการข้อมูล Stock

6) ความสามารถจัดการข้อมูลรับเข้า Stock

7) ความสามารถจัดการข้อมูลถอนออก Stock

- แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน โดยประเมินทั้งหมด 8 ด้าน ได้แก่

1) ความง่ายต่อการใช้งานของระบบ

2) ความเหมาะสมในการเลือกใช้ชนิดตัวอักษรบนจอ

3) ความเหมาะสมในการเลือกใช้ขนาดของตัวอักษรบนจอภาพ

4) ความเหมาะสมในการใช้สีของตัวอักษร

5) ความเหมาะสมในการใส่ข้อความเพื่ออธิบายและสื่อความหมาย

6) ความเหมาะสมในสัญลักษณ์หรือรูปภาพในการสื่อ ความหมาย

7) ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอภาพ

8) ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งของส่วนประกอบบนจอภาพ

2.2.6 กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย การวิจัยครั้งนี้กำหนดกลุ่มเป้าหมายทั้งหมด 33 คน จำนวน 2 กลุ่มคือ

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มผู้ใช้ทั่วไปประกอบด้วยพนักงานที่ทำงานอยู่โรงงานและนักศึกษาที่ตอบ

แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจการใช้งานโปรแกรม จำนวน 30 คน

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วยอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศธุรกิจที่ตอบแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจการใช้งานโปรแกรม จำนวน 3 คน

2.2.7 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าสถิติ (Dependent t-test) โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50–5.00 หมายความว่าระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.50–4.49 หมายความว่าระดับมาก

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.50–3.49 หมายความว่าระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.50–2.49 หมายความว่าระดับน้อย

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00–1.49 หมายความว่าระดับน้อยที่สุด

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation :S.D.) เป็นการวัดการกระจายแบบหนึ่งจากกลุ่มข้อมูลซึ่งสามารถนำไปใช้กับการแจกแจงตามความน่าจะเป็นได้ดังสมการที่ 1

$$S.D. = \sqrt{\frac{(x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean) สามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$\frac{\sum x}{n} \quad (2)$$

เมื่อ $\bar{x}$ คือ (เอ็กซ์บาร์) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$\sum x$ คือ ผลบวกของข้อมูลทุกค่า

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3. ผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบบริหารงาน
โรงงานน้ำดื่ม กรณีศึกษาโรงงานเพชรน้ำทิพย์ตาม
ขั้นตอนการวิจัยในระยการวิจัยที่ 1 โดยนำหลัก
การศึกษาและวิเคราะห์มาจัดทำกรพัฒนาระบบ
บริหารงานโรงงานน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงงานเพชรน้ำทิพย์
ดังแสดงในภาพที่ 2 หน้าจอทะเบียนประวัติพนักงาน
ภาพที่ 3 หน้าจอการบันทึกเวลาทำงาน และภาพที่ 4
จอภาพการทำงานของโปรแกรม

ภาพที่ 2 หน้าจอทะเบียนประวัติพนักงาน

Code	Datein	Dateout
A001	03/05/61 08:00:00 AM	03/05/61 04:20:03 PM

ภาพที่ 3 หน้าจอการบันทึกเวลาทำงาน

Id	Good	Packing	Unit
C0003	น้ำดื่มเพชร	30 ขวด/ลัง	ลัง

ภาพที่ 4 หน้าจอการรับเข้าสต็อกสินค้า

ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบการใช้งานระบบ
บริหารงานโรงงานน้ำดื่ม กรณีศึกษาโรงงานเพชรน้ำทิพย์
จากเจ้าของโรงงานและพนักงานในโรงงาน รวมทั้ง
นักศึกษาและอาจารย์ในสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ
ธุรกิจที่มีต่อระบบ จำนวน 30 คน จากนั้นนำผล
แบบสอบถามมาวิเคราะห์หาค่าสถิติพื้นฐานเทียบ
กับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 1 ผลการ
ประเมินผู้ปฏิบัติงานและผู้ใช้ทั่วไป และตารางที่ 2
ผลการประเมินโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ

ระบบบริหารงานโรงงานน้ำดื่ม กรณีศึกษา
โรงงานเพชรน้ำทิพย์ขึ้นมาช่วยให้กลุ่มผู้ใช้งานในช่วง
ทดลองใช้ระบบงานใหม่ อาจเกิดความยุ่งยากในการ
เรียนรู้ระบบและการบันทึกข้อมูลหลักต่างๆ ได้แก่
ข้อมูลประวัติพนักงาน ข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียด
packaging ต่าง ๆ เป็นต้น แต่เมื่อจัดการข้อมูล
พื้นฐานเรียบร้อยแล้วหลังจากติดตั้งระบบใช้งานไป
ประมาณ 1 เดือน ปรากฏว่าได้รับการตอบรับดีมาก
จากผู้ใช้และผู้บริหาร

ตารางที่ 1 ผลการประเมินผู้ปฏิบัติงานและผู้ใช้ทั่วไป

รายการ	$\bar{X}$	S.D.
1.ความสามารถของระบบ ในด้านการจัดการข้อมูล	3.89	0.49
2.ความสามารถจัดการ ข้อมูลพนักงาน	4.53	0.50
3.ความสามารถลงเวลา ทำงาน	4.72	0.47
4.ความสามารถใน การคิดค่าจ้าง	4.15	0.49
5.ความสามารถใน การจัดการข้อมูล Stock	4.84	0.50
6.ความสามารถจัดการ ข้อมูลรับเข้า Stock	4.13	0.49
7.ความสามารถจัดการ ข้อมูลถอนออก Stock	4.40	0.50
โดยรวม	4.38	0.35

จากตารางที่ 1 พบว่าผู้ปฏิบัติงานและผู้ใช้ทั่วไปมีความพึงพอใจโดยรวมทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.38$, S.D. = 0.35) ดังนั้นด้านความสามารถของระบบในด้านการจัดการข้อมูล ($\bar{X} = 3.89$, S.D. = 0.49) ด้านความสามารถในการลงเวลาทำงาน ($\bar{X} = 4.72$, S.D. = 0.47) และด้านการจัดข้อมูล Stock ($\bar{X} = 4.84$, S.D. = 0.50)

ตารางที่ 2 ผลการประเมินโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ

รายการ	$\bar{X}$	S.D.
1.ความง่ายต่อการใช้งาน ของระบบ	4.38	0.51
2.ความเหมาะสมในการ เลือกใช้ชนิดตัวอักษรบนจอ	4.17	0.56
3.ความเหมาะสมในการ เลือกใช้ขนาดของตัว อักษรบนจอภาพ	3.98	0.54
4.ความเหมาะสมในการใช้ สีของตัวอักษร	4.05	0.53
5.ความเหมาะสมในการใส่ ข้อความ เพื่ออธิบายและ สื่อความหมาย	4.75	0.59
6.ความเหมาะสมใน สัญลักษณ์หรือรูปภาพใน การสื่อ ความหมาย	3.80	0.57
7.ความเป็นมาตรฐาน เดียวกันในการออกแบบ หน้าจอภาพ	4.10	0.55
8.ความเหมาะสมในการ วางตำแหน่งของ ส่วนประกอบบนจอภาพ	4.13	0.57
โดยรวม	4.17	0.37

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินแบบพึงพอใจโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.17$, S.D. = 0.37) ดังนั้นคือ ด้านความง่ายต่อการใช้งาน ($\bar{X} = 4.38$, S.D. = 0.51) ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบ

หน้าจอภาพ ($\bar{X}$ = 4.10, S.D. = 0.55) และด้านความเหมาะสมในการวางตำแหน่งของส่วนประกอบบนจอภาพ ($\bar{X}$ = 4.17, S.D. = 0.37) เนื่องจากช่วยอำนวยความสะดวกในการจัดการข้อมูลต่าง ๆ เช่น ข้อมูล Stock ข้อมูลพนักงาน ข้อมูลการลงเวลาทำงานและสามารถช่วยคิดค่าจ้างพนักงานได้ ซึ่งช่วยเพิ่มศักยภาพในการบริหารงานโดยรวมได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของการจัดการ Stock น้ำดื่มและส่วนของการคิดค่าแรงมีความถูกต้องชัดเจนจากการประเมินผลทั้งกลุ่มผู้ใช้งานกลุ่มพนักงานและผู้บริหารจึงให้ระดับความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.38, S.D. = 0.35)

4. อภิปรายผลและสรุป

จากผลการสำรวจความพึงพอใจของกลุ่มผู้ใช้พบว่า ในด้านความเหมาะสมในการเลือกใช้ขนาดตัวอักษรบนจอภาพ และด้านความเหมาะสมในสัญลักษณ์หรือรูปภาพในการสื่อความหมายมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจไม่สูงนักเมื่อเทียบกับด้านอื่น ๆ ดังนั้นในการพัฒนาปรับปรุงระบบต่อไปควรแก้ไขปัญหาดังจุดนี้ และจากการสำรวจความพึงพอใจของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญพบว่าด้านที่ต้องปรับปรุงคือความสามารถของระบบในด้านการจัดการข้อมูล ดังนั้นควรมีการปรับปรุงเรื่องการออกแบบระบบฐานข้อมูลและในส่วนของการออกรายงานให้สอดคล้องกับความต้องการผู้ใช้ให้มากขึ้น

5. ข้อเสนอแนะอื่น ๆ

ในส่วนของการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ถ้าออกแบบให้รองรับและใช้งานได้ในอุปกรณ์พกพาต่าง ๆ เช่น แท็บเล็ต (Tablet) และ Smart Phone จะช่วยให้

ระบบการทำงานสะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากปัจจุบันการใช้งานอุปกรณ์สมาร์ตโฟนกำลังได้รับความนิยมสูง [5]

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ณัฏฐณ บินโหรน. การพัฒนาต้นแบบระบบบันทึกเวลาปฏิบัติงานโดยใช้โทรศัพท์สมาร์ตโฟน. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2556.
- [2] ปริญญา เพียรสุดสำห. ระบบตรวจสอบการลงเวลาปฏิบัติงานของบุคลากรสำนักงานวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยแม่โจ้. มหาวิทยาลัยแม่โจ้; 2559.
- [3] อาจารย์ นาโค. การประยุกต์เครื่องอ่านลายนิ้วมือเพื่อตรวจสอบการเข้าชั้นเรียน. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ 2556;16 Suppl 3: s11-20.
- [4] อรอนงค์ อิศระนากุล, ชุตติมา เปี้ยวไข่มุก. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการลงเวลาปฏิบัติงานของบุคลากรด้วยการสแกนลายนิ้วมือกับระบบบันทึกเวลาปฏิบัติงานของบุคลากร แบบเซ็นชื่อกรณีศึกษา โรงเรียนระแงะ อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ 2014; 1(2):11-9.
- [5] Hermann Gruenwald, E-Waste and Sustainable Supply Chain A Thai Reverse Logistics Perspective. วารสารวิจัยฉบับพิเศษ UTK ราชภัฏกรุงเทพฯ. Special issue for CreTech 2015; 9 Suppli 1:21-8.

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ รับบทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ต้องเป็นต้นฉบับ ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน มีจุดประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ และผลงานวิชาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างเคร่งครัด

1. หลักเกณฑ์การส่งบทความ

1.1 บทความเปิดรับทั้งจากบุคคลภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

1.2 บทความมีรูปแบบการเขียนตามที่กำหนดไว้

1.3 บทความต้องมีความยาวประมาณ 6 -12 หน้า ในรูปแบบ 2 คอลัมน์

1.4 การส่งบทความ เพื่อผ่านการพิจารณาถ้อยแถลงและประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องผ่าน รูปแบบ Online

โดยจัดส่งไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ผ่าน <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk> เริ่มจากการกรอกข้อมูลตามแบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณาให้สมบูรณ์ บทความจะได้รับการพิจารณาถ้อยแถลงจากผู้ทรงคุณวุฒิ 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) 1 นิ้ว หรือ 2.54 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 Time New Roman

3.4 ชื่อเรื่อง

บทความภาษาไทย ใช้ชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาด 16 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษควรเป็นชื่อที่สั้น กระทัดรัด ได้ใจความตรงกัับวัตถุประสงค์และเนื้อเรื่อง)

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 10 ตัวปกติ (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

3.7 คำว่า บทคัดย่อ/Abstract

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 16 ตัวหนา

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 12 ตัวหนา

3.8 เนื้อความใน บทคัดย่อ/Abstract

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวปกติ (พิมพ์แบบเต็มขอบ)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 11 ตัวปกติ (พิมพ์แบบเต็มขอบ)

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

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวปกติ

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 11 ตัวปกติ

3.10 ชื่อหัวเรื่องใหญ่

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 16 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 12 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

3.11 ชื่อหัวเรื่องย่อย

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 11 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

3.12 คำว่า กิตติกรรมประกาศ/Acknowledgement และคำว่า เอกสารอ้างอิง/Reference

(ใส่หมายเลขลำดับหัวเรื่องด้วย)

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 16 ตัวหนา

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 12 ตัวหนา

3.13 สมการหรือพจน์ทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน

ควรเขียนโดยใช้ Equation Editor โดยจัดแยกบรรทัด และมีเลขกำกับอยู่ในวงเล็บเล็ก จัดพิมพ์ด้วย 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. **ตัวলেখยก** ให้เขียนไว้บนนามสกุล เพื่อระบุที่อยู่ของผู้เขียน
4. **บทคัดย่อ (Abstract)** ควรจัดทำเป็นร้อยแก้วย่อหน้าเดียว สั้น ตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา ได้แก่ วัตถุประสงค์ วิธีการ ผลการวิจัยและการอภิปรายผล เป็นต้น ถ้าบทความเป็นภาษาไทยจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยให้ภาษาไทยขึ้นก่อน มีความยาวไม่เกิน 1,000 คำ
5. **คำสำคัญ (Key words)** 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. **ผลการวิจัย (Results)** เสนอผลการทดลอง อย่างชัดเจน และตรงประเด็น ควรมีรูปภาพ/หรือตารางประกอบ การอธิบายผลในตารางและรูปภาพ ต้องไม่ซ้ำซ้อนกัน รูปภาพและตารางของบทความที่เป็นภาษาไทย ให้บรรยายเป็นภาษาไทย รูปภาพและตารางของบทความที่เป็นภาษาอังกฤษ ให้บรรยายเป็นภาษาอังกฤษ
 - รูปภาพ/กราฟ ให้อยู่ในเนื้อเรื่องของบทความ ขนาดตัวอักษรสามารถอ่านได้ชัดเจนเหมาะสมกับขนาดของรูปภาพ/กราฟ โดยบันทึกเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล JPG มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 300 dpi เท่านั้น ถ้าเป็นภาพถ่ายกรุณาส่งภาพต้นฉบับ และในกรณีที่ป็นรูปถ่ายเส้นให้วาดโดยใช้หมึกสีดำที่มีความคมชัด หมายเลขรูปภาพ/กราฟให้เป็นเลขอารบิก และอยู่ด้านล่างของรูปภาพ/กราฟ

- ตาราง ให้อยู่ในเนื้อเรื่องของบทความ หมายเลขตารางให้เป็นเลขอารบิก และอยู่
ด้านบนของตาราง

4. **การอภิปรายและวิจารณ์ (Discussion)** เป็นการอภิปรายผลการวิจัยว่าเป็นไปตาม
สมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างอิงทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลอง
ของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบ เพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่
มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำไปใช้ประโยชน์ และการให้ข้อเสนอแนะ
สำหรับการวิจัยในอนาคต
5. **บทสรุป (Conclusion)** สรุปประเด็น และสาระสำคัญที่ได้จากการวิจัย
6. **กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)** เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้
ความช่วยเหลือให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพียงสั้นๆ (อาจมีหรือไม่ก็ได้)
7. **เอกสารอ้างอิง (References)** เป็นรายการเอกสารอ้างอิงที่ใช้เป็นหลักในการ
ค้นคว้าวิจัยที่ได้รับการตรวจสอบเพื่อนำมาเตรียมรายงาน และมีการอ้างอิงถึงเฉพาะ
เอกสารที่ปรากฏในบทความเท่านั้น การอ้างอิงให้จัดเรียงตามลำดับที่อ้างอิงเป็น
ตัวเลขในเครื่องหมาย [x] และให้เริ่มต้นเรียงลำดับเอกสารจากที่พบในเนื้อหาก่อน
เป็น [1] หากผู้เขียนมีมากกว่า 3 คน ให้ใส่ชื่อ 3 คนแรก แล้วตามด้วย และคณะหรือ
et al.

การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่องบทความ (In-text Citations) การอ้างอิงเอกสารใน
เนื้อเรื่อง ให้ใช้ระบบแวนคูเวอร์ (Vancouver style) สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติม
ได้ที่ <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 ปัญญาญญะ. โรคติดเชื้อของระบบประสาทกลางในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: เรือน
แก้วการพิมพ์; 2536.

บทความจากวารสาร (Articles in Journals)

รูปแบบพื้นฐาน ชื่อผู้แต่ง (Author). ชื่อบทความ (Title of the article). ชื่อวารสาร (Title of
the Journal) ปีพิมพ์ (Year); เล่มที่ของวารสาร (Volume):หน้าแรก-หน้าสุดท้าย (Page).

- Kane RA, Kane RL. Effect of genetic testing for risk of Alzheimer's disease. N Engl J Med 2009; 361:298-9.

- จิราภรณ์ จันทร์จร. การใช้โปรแกรม EndNote: จัดการเอกสารอ้างอิงทางการแพทย์. จุฬาลงกรณ์เวชสาร 2551; 52:241-53.

เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Material)

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

- Cancer-Pain.org [Internet]. New York: Association of Cancer Online Resources; c2000-01 [updated 2002 May 16; cited 2002 Jul 9]. Available from: <http://www.cancer-pain.org/>

4.2 บทความวิชาการ

A. ส่วนปก

มีส่วนประกอบเหมือนบทความวิจัย แต่ไม่ต้องมีบทคัดย่อ เขียนให้อยู่ในกระดาษจำนวน 1 หน้า เท่านั้น

B. ส่วนเนื้อหา

1. บทนำ (Introduction) เป็นส่วนของที่มาของมูลเหตุของการเขียนบทความ
2. วิธีการศึกษา/วิธีดำเนินการ (Method) (ถ้ามี) เป็นการอธิบายวิธีการศึกษา หรือการดำเนินการตามประเภทของบทความวิชาการ
3. ผลการศึกษา/ผลการดำเนินการ (Results) เป็นการเสนอผลอย่างชัดเจน ตามประเด็นโดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษาหรือดำเนินการ
4. สรุป (Conclusion) สรุปประเด็น และสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา
5. เอกสารอ้างอิง (References) ใช้ตามที่วารสารกำหนด

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

ผศ.ดร.สุภาวดี	ตั้งธีระวัฒน์ะ	ผศ.ดร. ชาญยุทธ์	กาญจนพิบูลย์
รศ.ประพฤติ	พรหมสมบุรณ์	ผศ.ดร.จิรพงษ์	จิตตโคตร
ดร.พิมพ์สิริ	สุวรรณ	ผศ.ชูศักดิ์	กมลขันติธร
รศ.ดร.ฤกษ์ชัย	ฟูประทีปศิริ	ดร.สุธรรม	ศิวาวุธ
ดร.จันทิมา	เอกวงษ์	ผศ.ดร.อัชฌาณัท	รัตนเลิศนุสรณ์
ดร.วรวิทย์	จันทร์สุวรรณ	รศ.ชนิษฐา	เจริญลาภ
ดร.ศศิธร	ชูแก้ว	รศ.ดร.นัฐโชติ	รักไทยเจริญชีพ
ดร.ศิรินันท์	ตรึงมงคลทิพย์	รศ.ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง
รศ.จรรยา	เจริญเนตรกุล	ดร.วาณิช	นิลนันท
ดร.สัณหวังน	ทองแดง	ผศ.ดร.ยุทธนา	กันทะพะเยา
ผศ.ศิริชัย	แดงอม	ดร.สุริยา	โชคเพิ่มพูน
ดร.สุริยา	แก้วอาษา	ผศ.โอสธ	คนชื่อ
รศ.จรรยา	เจริญเนตรกุล	ผศ.กาญจนา	ชินสำราญ
ดร.ขจรศักดิ์	เจ้ากรมทอง	ผศ.จันทร์เจตฉาย	สังเกตุกิจ
ดร.สันติ	ไทยยีนวงษ์	ผศ.ดร.กนกวรรณ	จ้าวสุวรรณ
ผศ.ดร. นพรัตน์	มะเห	ผศ.ดร. ณรงค์ชัย	วิวัฒนาช่าง
ผศ.นพรัตน์	ภัยวิมุติ	ผศ.ดร.วินัย	ครองวังศิริ
ผศ.ดร.ปฎิภาณ	ถิ่นพระบาท	ดร.วิไลวรรณ	ลีนะกุล
ผศ.ดร.วิชาญ	ช่วยพันธ์	ดร.นุจรี	สอนสะอาด
ผศ.ดร.ศรินาถ	ศรีอ่อนนวล	ผศ.จันทร์เจตฉาย	สังเกตุกิจ
ผศ.ดร.สมรักษ์	รอดเจริญ	ผศ.เลอลักษณ์	เสถียรรัตน์
ผศ.ดร.ธัญญาภรณ์	ศิริเลิศ	ผศ.ดร.สายชล	ชุดเจือจัน
ดร.นำพน	พิพัฒน์ไพบูลย์	ผศ.ดร.หงส์ศิริ	ภียโยติลกชัย
ผศ.ชุมพล	มณฑาทิพย์กุล	นายปริญญา	ศรีสัตยกุล
ดร.ภัทรเทพ	ศิลปจารย์	ผศ.ครรชิต	กำลังกล้า
ดร.วิไล	ลิมถาวรานันต์	ผศ.ชัชวาลย์	สุขมัน
ดร.ภารดี	ประพฤติกิจ	นายประดิษฐ์	สงค์แสงยศ
ดร.ฤกษ์ณ	สงวนพวก	ผศ.ดร.ปกรณ์เกียรติ	เศวตเมธิกุล
ดร. รุ่งนภา	ศรานุชิต	ดร.กิตติศักดิ์	วิธินันทกิตต์
ดร. สิริภัทร	ชมัฒพงษ์	ดร.ชัชฎา	หนูสาย

แบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

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

ขอส่ง ☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ

เรื่อง (ภาษาไทย).....

.....

เรื่อง (ภาษาอังกฤษ).....

.....

ชื่อผู้เขียนร่วม (ภาษาไทย)

1.

2.

3.

ชื่อผู้เขียนร่วม (ภาษาอังกฤษ)

1.

2.

3.

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก.....

หมู่ที่.....ซอย..... ถนน..... ตำบล/แขวง.....

อำเภอ/เขต..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์.....

E-mail.....โทรศัพท์.....

โทรสาร..... โทรศัพท์ (มือถือ).....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ ☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าแต่เพียงผู้เดียว

☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุในบทความจริง

โดยบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำบทความนี้ส่งไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์
ในวารสารอื่นภายใน 90 วัน นับจากวันที่ข้าพเจ้าได้ส่งบทความฉบับนี้ และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงใน
วารสารวิจัย มทร. กรุงเทพ ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ลงชื่อ.....

(.....)



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง

โดย

.....

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

และตีพิมพ์ในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

ปีที่..... ฉบับที่ (..... - พ.ศ.)

(.....)

บรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ขั้นตอนการจัดทำวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

