วารสารวิชาการ

เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1
มกราคม - เมษายน
2562

JOURNAL OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND ENGINEERING

Pibulsongkram Rajabhat University

ISSN 2697-5602 (Print)
ISSN 2697-5629 (Online)

INDUSTRIAL TECHNOLOGY

PIBULSONGKRAM RAJABHAT UNIVERSITY

ข้อกำหนดมาตรฐาน วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เพื่อให้วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารที่มีคุณภาพได้มาตรฐานทางกองบรรณาธิการจึงมีข้อกำหนดของวารสารดังต่อไปนี้

1. วัตถุประสงค์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารที่มีวัตถุประสงค์เพื่อ ตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ และบทความปริทรรศน์ที่มีคุณภาพโดยผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ นวัตกรรมและการออกแบบ รวมถึงงานวิจัยที่มีการบูรณาการศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในสาขาที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตามบทความที่ส่งเข้ามาเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารฯ จะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยเผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และจะต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่นๆ การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง

2. ครอบคลุมสาขาที่เกี่ยวข้อง

2.1 สาขาวิชาเทคโนโลยี เน้น เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนวัตกรรม ได้แก่ วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมพลังงาน / พลังงานทดแทน วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมการผลิต วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมโลจิสติกส์ มาตรวิทยา วิศวกรรมซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีเซรามิกส์ การบริหารจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

2.2 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์

2.3 สาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรม

3. การพิจารณาบทความ

การ Peer - review คือ รูปแบบการพิจารณาบทความ เป็นแบบ "Double blind" เจ้าของบทความไม่ทราบผู้ทรงฯ ผู้ทรงฯไม่ทราบเจ้าของบทความ Review Policy ขอบเขต วัตถุประสงค์ของบทความจะต้องตรงกับวารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม กำหนด

การพิจารณาบทความ

1. การพิจารณาบทความ เลือกผู้ทรงคุณวุฒิจากกองบรรณาธิการตรงตามสาขาวิชาในการพิจารณา 2 คน ต่อ 1 บทความ

2. กรณีบทความมาจากบุคคลภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม กองบรรณาธิการพิจารณานำส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก 2 คน

3. กรณีบทความจากบุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม กองบรรณาธิการพิจารณานำส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายในและหรือภายนอก 2 คน

4. กรณีผู้ส่งบทความ แก้ไขไม่เป็นไปตามกำหนดเวลาที่กองบรรณาธิการแจ้ง กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์พิจารณา ยกเลิก กระบวนการเพื่อการตีพิมพ์

4. กำหนดออกเล่มวารสาร

กำหนดออกวารสาร: ปีละ 3 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – เมษายน ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม และ ฉบับที่ 3 ระหว่างเดือน กันยายน-ธันวาคม

5. คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทควำมเพื่อตีพิมพ์

5.1 วิธีส่งบทความ เจ้าของบทความสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม และส่งต้นฉบับบทความ ในรูปแบบไฟล์ word และรูปแบบไฟล์ PDF ได้ที่ระบบออนไลน์ของวารสารวิชาการ https://www.tci-thaijo.org/index.php/psru-jite

หรือนำส่งเอกสารต้นฉบับ ได้ที่ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 156 หมู่ 5 ตำบลพลายชุมพล อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 โทร/โทรสาร 055-267124

5.2 รูปแบบบทความที่ส่งกองบรรณาธิการเพื่อตีพิมพ์

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (Industrial Technology and Engingeering Pibulsongkram Rajabhat University) Print ISSN : 2697-5602, E-ISSN : 2697-5629 ฉบับนี้เป็นปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มีเนื้อหาที่เน้นด้านทางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมวิศวกรรมศาสตร์สาขาต่าง ๆ สำหรับเนื้อหาในฉบับนี้ ประกอบด้วย บทความวิจัย 8 บทความ โดยมีเนื้อหาประกอบไปด้วย สาขาวิศวกรรมโยธา จำนวน 2 บทความ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จำนวน 2 บทความ สาขาวิศวกรรมโลจิสติกส์ จำนวน 2 บทความ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จำนวน 1 บทความ สาขาการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จำนวน 1 บทความ โดยบทความทั้งหมดได้ผ่านการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Review) ในสาขานั้น ๆ เพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพก่อนการตีพิมพ์ และสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/psru-jite/issue/view/16210 ภายใต้ระบบ ThaiJo ของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย

กองบรรณาธิการและคณะกรรมการจัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาคุณภาพบทความ และผู้สนใจที่กรุณาช่วยกันสนับสนุนและให้ความไว้วางใจผลงานของวารสารฉบับนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากนักวิจัยที่ได้กรุณาเผยแพร่ผลงานในวารสารนี้ กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับเกียรติและความอนุเคราะห์จากท่านในโอกาสต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.สนิท ปิ่นสกุล
บรรณาธิการ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
การพิสูจน์สภาพดินถล่มเชิงวิศวกรรมในกรณีศึกษาดินถล่มในอำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน .....ธีระพงษ์ บุญเทพ, ศิวะ โฉมทรัพย์เย็น, ทิพย์วิมล แตะกระโทก และชัยวัฒน์ แสงศรีจันทร์.....	1-9
จุดเหมาะสมในการผลิตก๊าซโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่า (Corona discharge) ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง .....อนุวัฒน์ สิงหพันธ์, ณัฐที ถึงสุข และหฤทภัค อภิรัตน์.....	10-18
การศึกษาระบบโลจิสติกส์ของมันสำปะหลังในจังหวัดพิษณุโลกเพื่อการส่งออกผ่านเขตการค้าชายแดนไทย-ลาวตามเส้นทางระเบียงเศรษฐกิจแนวตะวันออก-ตะวันตก .....อดิเหรก ชัยนวกุล, ธณิดา โขนงนุช และ อลงกรณ์ เมืองไหว.....	19-31
การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม .....ภัทร์อร ฟองสินธุ์, สิทธินันท์ ทองศิริ และ สุรพงษ์ หรรษนันท์.....	32-38
ปัจจัยที่มีผลกับการใช้พลังงานในการขนส่งในภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ .....เจษฎา โพธิ์จันทร์, วชิระ วิจิตรพงษา, ปรีดา พิชยาพันธ์, และเกรียงไกร อรุโณทยานันท์.....	39-56
ผลกระทบของความละเอียดของผงฝุ่นหินปูนต่อการกำลังอัดประลัยของมอร์ต้าร์ในระยะต้น .....สุรเชษฐ์ วรรณา, วรางคณา แสงสร้อย และสมนึก ตั้งเติมสิริกุล...	57-62
การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย .....ปรารถนา ศิริสานต์, ณิชกานต์ จูนก, เทียนชัย ชื่นบางบ้า และพรญาณี เขียวบ้านยาง.....	63-76
การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์โดยวัฏจักรแรงคินขนาดเล็ก .....สรวิศ สอนสารี, เอกภูมิ บุญธรรม และ เอกกฤษ แก้วเจริญ.....	77-89

การพิสูจน์สภาพดินถล่มเชิงวิศวกรรมในกรณีศึกษาดินถล่ม ในอำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน

THE FORENSIC STUDY ON ENGINEERING LANDSLIDES IN CASE OF LANDSIDES IN NAN

ธีระพงษ์ บุญเทพ[1], ศิวะ โฉมทรัพย์เย็น[2], ทิพย์วิมล แตะกระโทก[3] และ ชัยวัฒน์ แสงศรีจันทร์[4*]

Teerapong Boonthep[1], Siwa Chomsubyuen[2], Thipwimon Taekratok[3] and Chaiwat Sangsrichan[4*]

[1] สำนักงานทางหลวงชนบทที่ 10 (เชียงใหม่) กรมทางหลวงชนบท อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย 50120

[2] วิศวกรโครงการ บริษัท EDMA Maxcon Company Limited อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี ประเทศไทย 11120

[3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

[4*] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา อ.เมือง จ.พะเยา ประเทศไทย 56000

[1]Bureau of Rural Roads 10 (Chiang Mai), San Pa Tong, Chiang Mai, Thailand, 50120

[2]Project Engineer, EDMA Maxcon Company Limited, Pakkred, Nonthaburi, Thailand, 11120

[3]Faculty of Engineering, Naresuan University, Muang Phitsanulok, Phitsanulok, Thailiand, 65000

[4]Faculty of Engineering, University of Prayao, Muang, Prayao, Thailand, 56000

*Corresponding author E-mail: chaiwat.sangsrichan@gmail.com

วันที่เข้าระบบ 4 กุมภาพันธ์ 2562
วันที่แก้ไขบทความ 7 มีนาคม 2562
วันที่ตอบรับบทความ 19 เมษายน 2562

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มในด้านความสามารถรับแรงเฉือนโดยมีการวิเคราะห์ล่วงหน้า 50 ปี ในเขต อ.บ่อเกลือ จ.น่าน โดยอ้างอิงการวิเคราะห์จากข้อมูลที่สำรวจในสนามและคู่มือการทำวิจัยเรื่องดิน โดยการวิเคราะห์ใช้วิธี Finite Element Method พิจารณาปัญหาเป็นแบบ 2 มิติในการประมาณค่าผลกระทบจากแรงดันช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Pore-water pressure) เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจพฤติกรรมของเหตุการณ์ดังกล่าว และเป็นพื้นฐานความรู้สำหรับการเตรียมการป้องกันภัยจากดินถล่ม ผลการศึกษาผลกระทบจากแรงดันช่องว่างระหว่างเม็ดดินของดิน หรือช่วงความสามารถในการรับแรงเฉือนในขณะที่ดินเกิดการพังทลาย โดยพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของความลาดชันเป็นตัวคงที่ ซึ่งได้มาจากการทดสอบในสนาม หมู่บ้านนาข่อย จ.น่าน

คำสำคัญ: ดินถล่ม, เสถียรภาพความลาดดิน, วิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

Abstract

This project studies behaviors of landslides in term of shear strengths with an analysis for the next 50 years in Bo Kluea District, Nan Province. The analysis is based on field test data and the manual of soil research. To analyze, Finite Element Method is applied to consider 2-dimension problems to estimate the results from pore-water pressure, and this leads to understanding such incidence and this can be fundamental knowledge to prepare protection against landslides. The results on the impact from the pore-water pressure of the soil or its shear strength range during landslides are studied by considering other constant factors influencing slope stability gained from the field test in Nakhoi Village, Nan Province.

Keywords: Landslides, Slope Stability, Finite Element Method

1. บทนำ

ดินถล่ม (Landslide) คือปรากฏการณ์ที่ส่วนของพื้นดิน ไม่ว่าจะเป็นก้อนหิน ดิน ทราย โคลน หรือเศษดิน เศษต้นไม้ไหล เลื่อน เคลื่อน ถล่ม พังทลาย หรือหล่น ลงมาตามที่ลาดเอียง อันเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลกในขณะที่สภาพส่วนประกอบของชั้นดิน ความชื้นและความชุ่มน้ำในดินทำให้เกิดการเสียสมดุล ดินถล่มเป็นปรากฏการณ์ที่มีมาแต่สร้างโลกอาจเป็นเพียงเล็กน้อยเพียงก้อนหินก้อนเดียวที่ตกหรือหล่นลงมา หรือเศษของดินจำนวนไม่มากที่ไหลลงมา หรืออาจเกิดรุนแรงใหญ่โต เช่น ภูเขาหรือ หน้าผา หรือลากเขาพังทลายลงมาก็ได้ และอาจเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด หรือค่อยๆ เป็นไปช้าๆ ก็ได้ จนกว่าจะเกิดความสมดุลใหม่จึงหยุด เนื่องจากในระยะหลังๆนี้ดินถล่มปรากฏเป็นข่าวบ่อยมากขึ้นทำให้เกิดความเสียหายแก่ทรัพย์สินและชีวิตมากขึ้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจศึกษาเพื่อหาทางป้องกันและหลีกเลี่ยงอันตรายที่จะเกิดขึ้น

สาเหตุและกลไกการเกิดดินถล่ม-โคลนถล่ม มักจะอธิบายกันง่าย ๆ ว่า ดินถล่มและโคลนถล่มเกิดจากการที่ฝนกระหน่ำลงมาอย่างหนักบนภูเขาที่มีการตัดไม้ทำลายป่า ทำให้ดินอุ้มน้ำไม่ได้มากและไม่มีรากต้นไม้คอยยึดเกาะเอาไว้ ยิ่งในกรณีที่มี “ผู้ใหญ่” ไปตรวจเยี่ยมหลังน้ำลดแล้วเห็นกองไม้ที่ถูกน้ำป่าพัดพามากองพะเนินสุดแสนอลังการ ก็ยิ่งทำให้มั่นใจในทฤษฎีนี้ ส่งผลให้ “ผู้น้อย” ที่รับผิดชอบในบริเวณนั้นต้องรีบดำเนินการหาผู้กระทำผิดกันจ้าละหวั่น คำอธิบายที่ว่ามานี้แม้จะไม่ผิดแต่ก็ยังไม่ครบ เพราะยังขาดมุมมองทางธรณีวิทยาและปฐพีวิทยา คำว่า “ดินถล่ม” และ “โคลนถล่ม” ที่สื่อมวลชนและกรมทรัพยากรธรณีชอบใช้นั้นเป็นคำพูดง่าย ๆ ขณะที่นักธรณีวิทยามีศัพท์วิชาการเรียกเหตุการณ์ลักษณะนี้แบบ รวม ๆ ว่า การย้ายมวล (Mass wasting) ซึ่งหมายถึงการที่ดิน โคลน หรือหิน เคลื่อนที่จากที่สูงลงสู่ที่ต่ำเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนคำว่า แผ่นดินถล่มหรือแผ่นดิน

เลื่อน (Landslide) นั้น มีความหมายกว้างกว่า โดยหมายถึงการย้ายมวลกับการเคลื่อนไหวของแผ่นดินในรูปแบบอื่น ๆ เช่นแผ่นดินไหวเข้าไปด้วย

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้คณะผู้วิจัยจะทำการประเมินค่าความถ่วงน้ำหนักในการวิเคราะห์ความเสี่ยงดินถล่มโดยวิธี Finite Element Method เพื่อหาค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Factor Safety, FS.) ของปริมาณน้ำฝนกระทำต่อความลาดชันแล้วนำไปวิเคราะห์ความเสี่ยงการเกิดของดินโคลนถล่ม เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาวิธีการป้องกันภัยจากดินถล่มในเขต จังหวัดน่าน เพื่อศึกษาวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดของดินซึ่งสามารถทำนายการเกิดภัยธรรมชาติล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำและได้ประโยชน์จากการใช้โปรแกรมซึ่งเป็นโปรแกรมที่นำไปใช้งานได้จริง และนำไปแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมปฐพีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อนำเสนอวิธีประเมินค่าความถ่วงน้ำหนักในการวิเคราะห์ความเสี่ยงดินถล่มโดยวิธี Finite Element Method เพื่อหาค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Factor Safety, FS.) ของปริมาณน้ำฝนกระทำต่อความลาดชันที่ส่งผลต่อความเสี่ยงการเกิดของดินโคลนถล่ม

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการทดลองนั้นจะทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของดิน ความลาดชัน การศึกษาโปรแกรมเพื่อจะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเสียก่อน แล้วเข้าสู่ขั้นตอนดังกล่าว ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลและเอกสารชั้นดินและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในสภาวะธรรมชาติ แล้วกรอกข้อมูลลงโปรแกรม Geo Slop 2007 ที่จะใช้ช่วยในการจำลองสถานการณ์อนาคต

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาภูมิประเทศในบริเวณที่มีความสูงมากจากภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อนำมาวิเคราะห์หาความลาดชันในพื้นที่จุดต่างๆ ตามบริเวณเชิงเขาทั่วจังหวัดน่าน

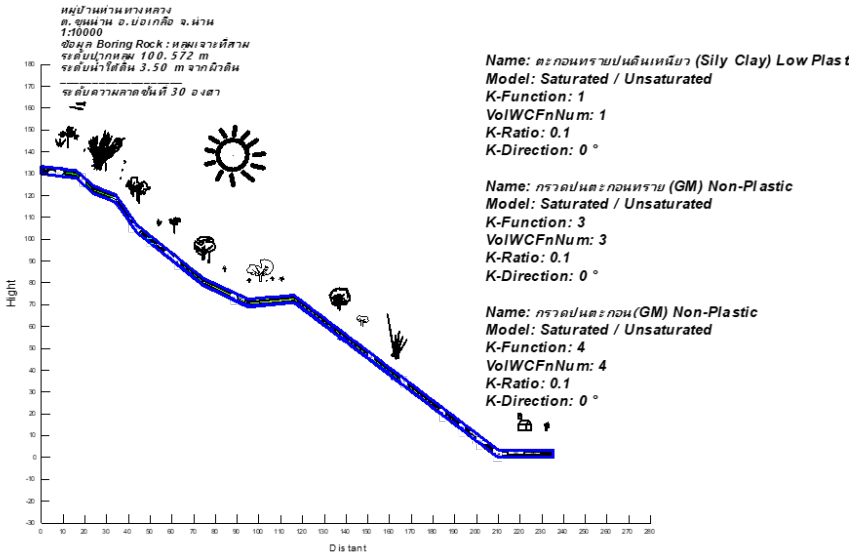
ขั้นตอนที่ 3 เป็นการออกสำรวจดินซึ่งประกอบไปด้วยการสำรวจดินในสนามแบบ Field density และการเจาะสำรวจ เพื่อนำดินบางส่วนมาทดลองในห้องปฏิบัติการ แล้วนำผลการวิเคราะห์จากการใช้โปรแกรมเพื่อกำหนดเสถียรภาพความลาดชันหรือกำหนดค่าความปลอดภัย (FS.) ในพื้นที่เชิงเขาที่มีความลาดชันแตกต่างกันไป

4. ผลการวิจัย

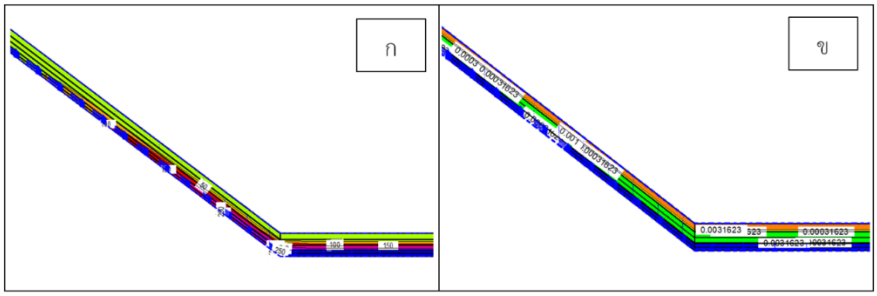
4.1 ผลการวิเคราะห์แรงดันน้ำระหว่างช่องว่างในอากาศ (Pore-water pressures)

จากการจำลองผลกระทบจากปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อความลาดชันของภูเขา ได้กำหนดระยะเวลาการวิเคราะห์ล่วงหน้าไว้ 50 ปี และมีระดับน้ำใต้ดิน (Water table) เท่ากับ 3.5 เมตร โดยกำหนดให้มีระดับน้ำขึ้นสูงสุดจากระดับน้ำใต้ดินเดิม 5 เมตร กระทำกับพื้นที่ ที่มีความลาดชัน ดังภาพที่ 1 และได้มีการจำลองในรูปแบบ V.D.O. Real Time ของ Pore-Water Pressures หรือเป็นการจำลองแบบ Animation สามารถดูได้ในแผ่นซีดีประกอบการวิเคราะห์

โดยสามารถอธิบายได้ว่าอัตราการซึมลงดินสูงสุด (Infiltration capacity) มีค่าลดลงตามระยะเวลา โดยลดลงถึงค่าต่ำสุดและคงที่โดยค่าต่ำสุดนี้จะใกล้เคียงกับ Hydraulic conductivity ของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยค่าของ Hydraulic conductivity นั้นจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินเป็นหลัก ถึงกระนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้อัตราการซึมมากหรือน้อยกว่านี้ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลกระทบจากปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อความลาดชันของภูเขา



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์อัตราการซึมลงดินสูงสุด (infiltration capacity)

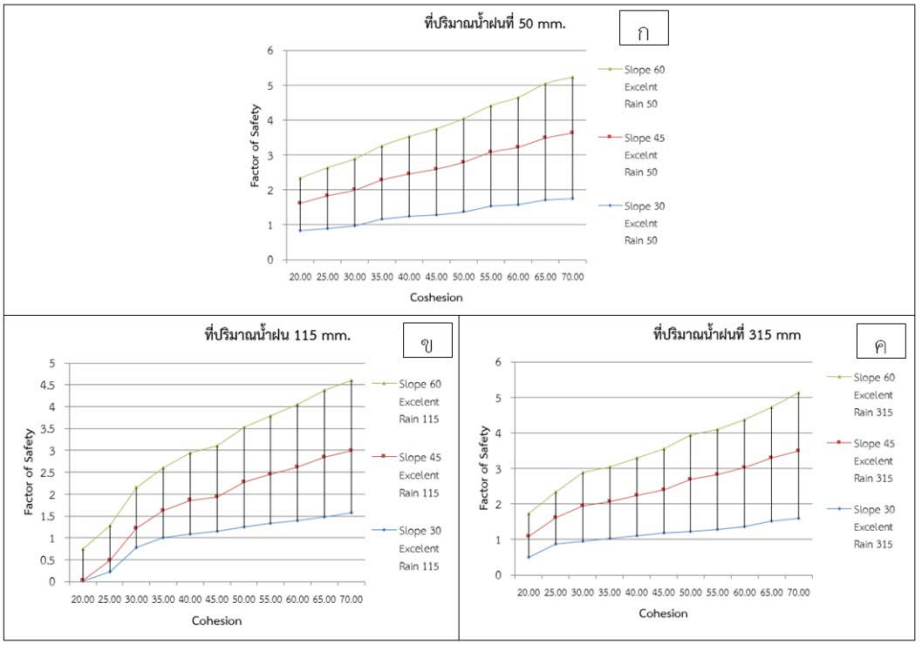
ก) ผลการวิเคราะห์แรงดันน้ำระดับ 30 องศา

ข) ความสามารถในการนำน้ำของดิน

4.2 ผลการวิเคราะห์วิธี Slope stability of finite element method

ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยความเสี่ยง ความปลอดภัย (FS.) ของพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยเสถียรภาพของความลาดชันลาดชันนั้นจะมีค่าความปลอดภัย (FS.) เพิ่มขึ้นไปตามระดับของค่า Cohesion ที่กำหนดไว้ ในในช่วง 10-80 kPa ของปัจจัยเสี่ยง เมื่อกำหนดค่าความปลอดภัยของคุณสมบัติดินใน ต.บ่อเกลือ จ.น่าน ละเอียดของจังหวัดน่าน FS. = 1.2 เมื่ออ้างอิงจากทฤษฎีค่าความปลอดภัยของเสถียรภาพความลาดชัน ของ วรากร ไม้เรียง (2542)

เมื่อพิจารณาจากกราฟการวิเคราะห์ ดังภาพที่ 3 เมื่อมีการเพิ่มปริมาณน้ำฝนที่กระทำกับระดับความลาดชันต่างๆ จะเห็นว่าอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนที่กระทำต่อความลาดชันมีการเปลี่ยนแปลงของขีดจำกัดความปลอดภัยน้อยมากเนื่องจากผลทำการวิเคราะห์นั้นได้กำหนดปริมาณการซึมลงดินได้ช้าจากดินชั้นบน



ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชันกับปริมารน้ำฝน

ก) ระดับความลาดชันกับปริมาณน้ำฝน 50 มม.

ข) ระดับความลาดชันกับปริมาณน้ำฝน 115 มม.

ค) ระดับความลาดชันกับปริมาณน้ำฝน 315 มม.

ผลการวิเคราะห์ความลาดชันที่ 30 45 และ 60 ตามลำดับ ในสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 50 mm สรุปได้ว่า ความลาดชันที่ 30 โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 10-75 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า c= 25 kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.164 ความลาดชันที่ 45 โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 25-75 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า c= 40 kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.12327 และความลาดชันที่ 60 โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 10-75 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า c= 45 kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.15284 ดังแสดงในภาพที่ 4

Slope 30 Excelnt Rain 50							
Parametric study/N	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Facetor Sefety	ค่า FS ที่น้อยกว่า 1.2
1.00	10.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	0.834566	Not be safe
2.00	15.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	0.884577	Not be safe
3.00	20.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	0.962777	Not be safe
4.00	25.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.16437	Not be safe
5.00	30.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.24231	be safe
6.00	35.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.284	be safe
7.00	40.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.37067	be safe
9.00	45.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.54396	be safe
8.00	50.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.57685	be safe
11.00	55.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.71984	be safe
10.00	60.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.81984	be safe
						1.309432727	ปริมาณน้ำฝนที่ 50 mm
Slope 45 Excelnt Rain 50							
Parametric study/N	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Facetor Sefety	ค่า FS ที่น้อยกว่า 1.2
1.00	25.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	0.787654	Not be safe
2.00	30.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	0.952536	Not be safe
3.00	35.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.03588	Not be safe
4.00	40.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.12327	Not be safe
5.00	45.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.2176	be safe
6.00	50.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.31631	be safe
7.00	55.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.42571	be safe
8.00	60.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.53577	be safe
9.00	65.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.64935	be safe
10.00	70.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.7632	be safe
11.00	75.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.87821	be safe
						1.335044545	
Slope 60 Excelnt Rain 50							
Parametric study/N	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Facetor Sefety	ค่า FS ที่น้อยกว่า 1.2
1.00	20.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	0.71729	Not be safe
2.00	25.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	0.802061	Not be safe
3.00	30.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	0.888743	Not be safe
4.00	35.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	0.976526	Not be safe
5.00	40.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.06421	Not be safe
6.00	45.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.15284	Not be safe
7.00	50.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.2427	be safe
8.00	55.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.33246	be safe
9.00	60.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.4207	be safe
10.00	65.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.55351	be safe
11.00	70.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.59738	be safe
						1.158947273	

ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความลาดชันที่ 30 45 และ 60 ในสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 50 mm

ผลการวิเคราะห์ความลาดชันที่ 30 45 และ 60 ตามลำดับ ในสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 115 mm สรุปได้ว่า ความลาดชันที่ 30 โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 0-70 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า c= 25 kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.15814 ความลาดชันที่ 45 โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 0-70 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า c= 55

kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.12367 และความลาดชันที่ 60 โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 0-70 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า c= 45 kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.1667 ดังแสดงในภาพที่ 5

Slope 30 Excelent Rain 115							
Parametric study/N	c	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm	สภาพป่า	ความลาดชัน°	FS.	ค่า FS ที่น้อยกว่า 1.2
1.00	0.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	0.015351	Not be safe
2.00	5.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	0.225306	Not be safe
3.00	10.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	0.775394	Not be safe
4.00	15.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.01022	Not be safe
5.00	20.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.07999	Not be safe
0.48	25.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.15814	Not be safe
7.00	30.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.24158	be safe
8.00	35.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.32495	be safe
9.00	40.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.40198	be safe
10.00	45.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.48364	be safe
11.00	50.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.57156	be safe
						1.026191909	**ปริมาณน้ำฝนที่ 115 mm**
Slope 45 Excelent Rain 115							
Parametric study/N	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Facetor Sefety	ค่าFS ที่น้อยกว่า1.2
1.00	20.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.0080839	Not be safe
2.00	25.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.252287	Not be safe
3.00	30.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.446898	Not be safe
4.00	35.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.607351	Not be safe
5.00	40.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.778602	Not be safe
6.00	45.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.779425	Not be safe
7.00	50.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.03606	Not be safe
8.00	55.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.12367	Not be safe
9.00	60.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.2174	be safe
10.00	65.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.36589	be safe
11.00	70.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.41786	be safe
						0.821229718	
Slope 60 Excelent Rain 115							
Parametric study/N	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Facetor Sefety	ค่าFS ที่น้อยกว่า1.2
1.00	20.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.722823	Not be safe
2.00	25.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.80791	Not be safe
3.00	30.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.929512	Not be safe
4.00	35.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.987096	Not be safe
5.00	40.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.07702	Not be safe
6.00	45.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.1667	Not be safe
7.00	50.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.25657	be safe
8.00	55.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.34592	be safe
9.00	60.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.43422	be safe
10.00	65.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.52256	be safe
11.00	70.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.61087	be safe
						1.169200091	

ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความลาดชันที่ 30 45 และ 60 ในสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 115 mm

ผลการวิเคราะห์ความลาดชันที่ 30 45 และ 60 ตามลำดับ ในสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 315 mm สรุปได้ว่า ความลาดชันที่ 30 โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 10-75 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า c= 35 kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.19228 ความลาดชันที่ 45 โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 10-75 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า c= 20 kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.1204 และความลาดชันที่ 60 โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 10-75 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า c= 45 kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.1575 ดังแสดงในภาพที่ 6

Slope 30 Excelent Rain 315							
Parametric study/N	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Facetor Sefety	ค่า FS ที่น้อยกว่า 1.2
1.00	10.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.506348	Not be safe
2.00	15.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.874387	Not be safe
3.00	20.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.952044	Not be safe
4.00	25.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.0314	Not be safe
5.00	30.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.11122	Not be safe
7.00	35.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.19228	Not be safe
6.00	40.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.22714	be safe
8.00	45.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.2735	be safe
9.00	50.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.35192	be safe
10.00	55.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.52032	be safe
11.00	60.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.60348	be safe
						1.149458091	ปริมาณน้ำฝนที่ 315 mm
Slope 45 Excelent Rain 315							
Parametric study/N	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Facetor Sefety	ค่าFS ที่น้อยกว่า1.2
1.00	0.00	35.00	315.00	Excerlent	30.00	0.580434	Not be safe
2.00	5.00	35.00	315.00	Excerlent	30.00	0.749059	Not be safe
3.00	10.00	35.00	315.00	Excerlent	30.00	1.00267	Not be safe
4.00	15.00	35.00	315.00	Excerlent	30.00	1.03662	Not be safe
5.00	20.00	35.00	315.00	Excerlent	30.00	1.1204	Not be safe
0.48	25.00	35.00	315.00	Excerlent	30.00	1.20792	be safe
7.00	30.00	35.00	315.00	Excerlent	30.00	1.45719	be safe
8.00	35.00	35.00	315.00	Excerlent	30.00	1.56194	be safe
9.00	40.00	35.00	315.00	Excerlent	30.00	1.66526	be safe
10.00	45.00	35.00	315.00	Excerlent	30.00	1.77591	be safe
11.00	50.00	35.00	315.00	Excerlent	30.00	1.88959	be safe
						1.276999364	
Slope 60 Excelent Rain 315							
Parametric study/N	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Facetor Sefety	ค่าFS ที่น้อยกว่า1.2
1.00	20.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.637274	Not be safe
2.00	25.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.722152	Not be safe
3.00	30.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.921647	Not be safe
4.00	35.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.978155	Not be safe
5.00	40.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.06777	Not be safe
6.00	45.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.15751	Not be safe
7.00	50.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.24733	be safe
8.00	55.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.256	be safe
9.00	60.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.34566	be safe
10.00	65.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.43398	be safe
11.00	70.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.64473	be safe
						1.128382545	

ภาพที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความลาดชันที่ 30 45 และ 60 ในสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 315 mm

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ควรมีการศึกษา วิเคราะห์ความเสี่ยงการเกิดของปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของความลาดชันในพื้นที่จังหวัดอื่นๆ เพื่อที่จะสามารถนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบได้

เมื่อฝนตกหนักเป็นเวลานานโดยน้ำฝนจะไหลซึมลงไปในชั้นดินจนกระทั่งชั้นดินชุ่มน้ำไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ เนื่องจากความดันของน้ำในดินเพิ่มขึ้น (Piezometric head) เป็นการเพิ่มความดันในช่องว่างของเม็ดดิน (Pore pressure) ดันให้ดินมีการเคลื่อนที่ลงมาตามลาดเขาได้ง่ายขึ้น และนอกจากนี้แล้วน้ำที่เข้าไปแทนที่ช่องว่างระหว่างเม็ดดินทำให้แรงยึดเกาะ ระหว่างเม็ดดินลดน้อยลง ส่งผลให้ดินมี กำลังรับแรงต้านทานการไหลของดินลดลงทำให้ความปลอดภัยของลาดดิน ลดลงไปด้วย และถ้าหากปริมาณน้ำในมวลดินเพิ่มขึ้นจนมวลดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ทวีศักดิ์ แตะกระโทก และ ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชชเจริญ คณาจารย์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง และการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาดำเนินการวิจัย ตลอดจนหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านข้อมูล และคำปรึกษาทุกท่านที่ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้ประสบความสำเร็จด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

บรรพต กุลสุวรรณ. (2548). **การศึกษาพฤติกรรมการพิบัติของลาดดินในพื้นที่ต้นน้ำของลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำจันทบุรี**. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรากร ไม้เรียง. (2542). **วิศวกรรมเขื่อนดิน** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ไลบรารี่นาย.

วินิต ช่อวิเชียร และวัฒนา ธรรมมงคล. (2532). **ปฐพีกลศาสตร์** (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ: ป.สัมพันธ์พาณิชย์.

ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี. (2548). **การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างประตูรถยนต์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์**. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

สง่า ตั้งชัชวาล. (2541). **เสถียรภาพการขุดเจาะ** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์หาวิทยาลัย.

สราวุธ จริตงาม. (2545). **กลศาสตร์ของดิน** (พิมพ์ครั้งที่ 1). สงขลา: ชานเมืองการพิมพ์.

Fredlund, D.G. & Rahardjo, H. (1993). **Soil mechanics for unsaturated soils** (1st ed.). New York: John Wiley & Son, INC.

จุดเหมาะสมในการผลิตก๊าซโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่า (Corona discharge) ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง

THE OPTIMIZATION OF OZONE GENERATION WITH CORONA DISCHARGE BY HIGH VOLTAGE HIGH FREQUENCY TECHNIQUE

อนุวัฒน์ สิงหพันธ์[1], ณัฐที ถึงสุข[2] และ หฤทภัค อภิรัตน์[3]

Anuwat Singhapun, Nuttee Thungsuk, Harittapak Apirat

[1,2] โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี เขตธนบุรี กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10600

[3] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี เขตธนบุรี กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10600

Establishment Project of The Faculty of Engineering, Dhonburi Rajabhat University,
Dhonburi, Bangkok, Thailand, 10600

Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University,
Dhonburi, Bangkok, Thailand, 10600

Corresponding author E-mail: tummut555@hotmail.com

วันที่เข้าระบบ 15 มกราคม 2562
วันที่แก้ไขบทความ 8 กุมภาพันธ์ 2562
วันที่ตอบรับบทความ 19 เมษายน 2562

บทคัดย่อ

โอโซน (O_3) เป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติที่ดีในการใช้ฆ่าเชื้อ โดยสามารถใช้ได้ทั้งในตัวกลางน้ำและอากาศ โดยทั่วไปโอโซนสามารถเกิดขึ้นได้ในธรรมชาติ อย่างไรก็ตามสำหรับการประยุกต์ในการฆ่าเชื้อนั้นความเข้มข้นของโอโซนต้องมากกว่า 4 ppm ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตก๊าซโอโซนจากการใช้วิธีการปล่อยประจุแบบโคโรน่า (Corona discharge) ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง โดยแรงดันไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 10 kV ในขณะที่ความถี่อยู่ในช่วง 4-8 kHz ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าที่สภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่มีความเหมาะสมในการผลิตโอโซนให้มีความเข้มข้นเพียงพอต่อการประยุกต์ใช้งานด้านการฆ่าเชื้อ

คำสำคัญ: การปล่อยประจุแบบโคโรน่า, หม้อแปลงฟลายแบค, สนามไฟฟ้า, โอโซน

Abstract

Ozone (O3) is gas with good characteristic for disinfection application. It can be used to disinfect in air and water media. In general, it can be naturally found in the normal environment. However, for disinfection application, the ozone concentration must be over 4 ppm. Therefore, in this research the corona discharge method was performed to generate the ozone by using high voltage high frequency technique. The voltage was over 10 kV while the frequency was between 4-8 kHz. The results showed that this condition was suitable to generate enough ozone concentration for disinfection application.

Keywords: Corona Discharge, Flyback transformer, Electric field, Ozone

1. บทนำ

ในปัจจุบันการปนเปื้อนจากเชื้อโรคในอาหารหรือน้ำดื่มมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์เช่นโรคผิวหนังหรือภูมิแพ้เป็นต้น ดังนั้นวิธีการป้องกันสุขภาพให้ปลอดภัยจากโรคดังกล่าวจำเป็นต้องลดการปนเปื้อนในอาหารหรือเครื่องดื่มโดยใช้การฆ่าเชื้อจากก๊าซโอโซน ซึ่งปกติก๊าซโอโซนเป็นก๊าซที่มีอยู่ในธรรมชาติและมีประโยชน์ต่อมนุษย์และมีการบันทึกไว้ว่าสามารถที่จะลดการปนเปื้อนจากเชื้อโรคได้ (Thabet *et al.*, 2007)

โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซโอโซนสามารถนำมาใช้เพื่อลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตน้ำดื่ม อีกทั้งยังถูกนำมาฆ่าเชื้อโรคที่ปะปนมากับอากาศเพื่อทำให้สิ่งมีชีวิตทั้งมนุษย์และสัตว์เลี้ยงมีสุขภาวะที่ดีขึ้น (Johannes *et al.*, 2016) โดยมีรายงานว่าก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้นที่ 4-6 ppm. สามารลดแบคทีเรียได้ประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ (Estreal *et al.*, 2006)

ก๊าซโอโซนประกอบไปด้วยอะตอมจำนวน 3 อะตอมที่เกิดจากออกซิเจนโดยมีสัญญาลักษณ์เป็น O_3 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรและสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ด้วยตัวเอง นอกจากนั้นก๊าซโอโซนสามารถที่จะทำปฏิกิริยาหรือการออกซิเดชั่น (Oxidation) (Yu, W *et al.*, 2016) ซึ่งมีผลทำให้ก๊าซโอโซนดังกล่าวสามารถเข้าไปโจมตีเซลล์ได้อย่างรวดเร็วและรุนแรง โดยมีการบันทึกไว้ว่าก๊าซโอโซนสามารถที่จะเข้าไปทำลายหรือฆ่าเชื้อได้ (Mohd *et al.*, 2016)

สำหรับการเกิดโอโซนนั้นสามารถที่จะทำให้เกิดขึ้นได้จากการที่ให้เกิดการแยกตัวของก๊าซออกซิเจนเป็นออกซิเจนอะตอมสองอะตอมหรือที่เรียกว่าออกซิเจนราดิคอล ซึ่งออกซิเจนราดิคอลดังกล่าวจะเข้าไปรวมกับก๊าซออกซิเจนที่อยู่ปกติในอากาศจึงกลายเป็นออกซิเจนที่มีสามอะตอมซึ่งก็คือก๊าซโอโซน (Afia *et al.*, 2016) โดยการผลิตออกซิเจนราดิคอลนั้นสามารถที่จะผลิตได้จากการให้สนามไฟฟ้าที่มีค่าความเข้มสูงในอากาศ ซึ่งจะมีอิเล็กตรอนเข้าไปกระตุ้นและทำให้เกิดการแยกตัว

กลายสภาพเป็นออกซิเจนราดิคอล (Junhong, C. & Jane, H. D., 2002)

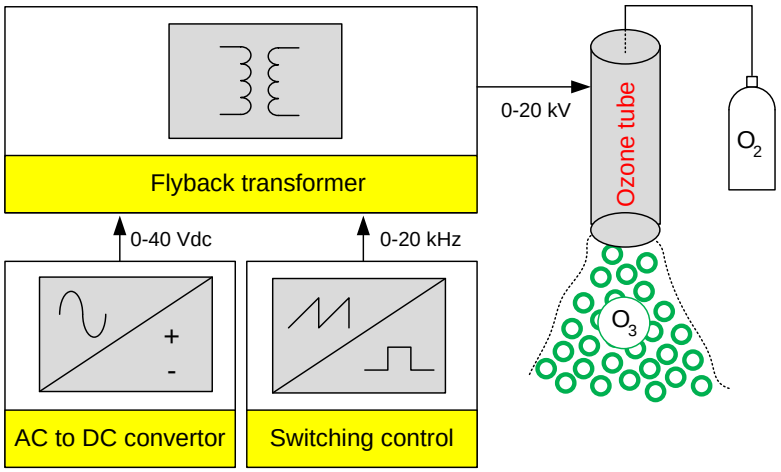
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาจุดที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่า (Corona discharge) ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง ซึ่งการปล่อยประจุแบบโคโรน่าเกิดจากการสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงจากหม้อแปลงไฟฟ้าและความถี่สูงจากวงจรสวิทชิ่ง โดยเก็บผลการเกิดโอโซนจากโอโซนมิเตอร์

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อนำเสนอวิธีประเมินจุดที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่า (Corona discharge) ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ภาพที่ 1 แสดงไดอะแกรมของเครื่องผลิตโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่า ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 5 ส่วนด้วยกันประกอบด้วย วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า (Ac to DC convertor) วงจรสร้างความถี่สูง (Switching control circuit) หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง (Flyback transformer) หลอดกำเนิดโอโซน (Ozone tube) และถังก๊าซออกซิเจน โดยก๊าซโอโซนที่ได้จากเครื่องผลิตโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่า ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงจะถูกทำการวัดด้วยมิเตอร์สำหรับการวัดปริมาณโอโซน (Ozone meter) เพื่อทำการวิเคราะห์

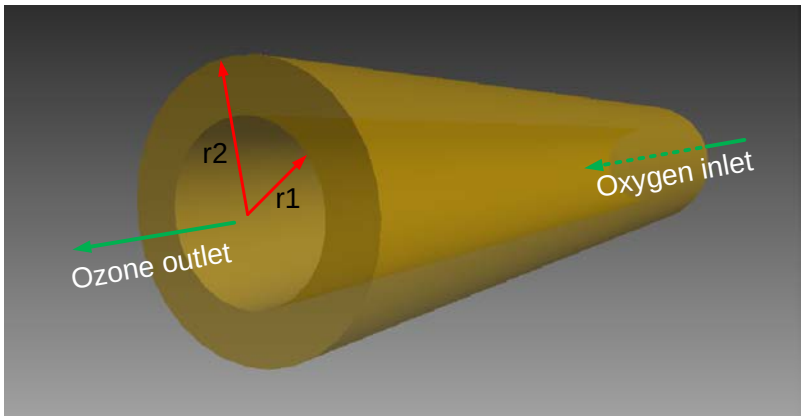


ภาพที่ 1 ไดอะแกรมเครื่องผลิตโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่า ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง

สำหรับวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าจะทำการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-40 โวลต์ เพื่อให้เหมาะสมกับแรงดันทางด้านขาเข้าของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง ส่วนวงจรสร้างความถี่สูงของเครื่องผลิตโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่านั้นถูกออกแบบโดยใช้วงจรรวม (Integrated circuit, IC) เบอร์ TL494 สำหรับเป็นตัวสร้าง Pulse Width Modulation (PWM) เพื่อการควบคุมการสวิทซิ่งของอุปกรณ์ โดยที่ IGBT เบอร์ IRG4PC50UD จะถูกนำมาใช้สำหรับการสวิทซิ่งให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งสำหรับเครื่องผลิตโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่าด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงจะทำการออกแบบให้ความถี่ของการสวิทซ์ปรับได้ตั้งแต่ 0-20 kHz เพื่อวิเคราะห์ถึงก๊าซโอโซนที่ผลิตออกมาจากเทคนิคดังกล่าว

แรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงที่ถูกส่งออกไปที่หลอดโอโซนนั้นจะใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงเป็นอุปกรณ์สำหรับผลิตแรงดันไฟฟ้าสูงสำหรับเครื่องผลิตโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่าด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง โดยออกแบบให้มีแรงดันไฟฟ้าด้านแรงสูงของหม้อแปลงเป็น 5-20 kV จากแรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำที่ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-40 โวลต์ ซึ่งใช้หม้อแปลงแรงสูงเบอร์ TLF14511F โดยหม้อแปลงดังกล่าวจะมีขาสำหรับต่อความถี่ที่เกิดจากการสวิทซิ่งของวงจรสร้างความถี่สูง

ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของหลอดสำหรับผลิตก๊าซโอโซนสำหรับเครื่องผลิตโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่าด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง โดยมีลักษณะเป็นทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม (Coaxial Cylindrical) ซึ่งหลอดสำหรับผลิตก๊าซโอโซนนั้นจะมีขั้วไฟฟ้าสำหรับต่อกับทางด้านหม้อแปลงแรงดันสูงที่ถูกออกแบบให้มีแรงดันไฟฟ้าที่ 5-20 kV และความถี่ที่ 0-20 kHz โดยจะมีท่อด้านเข้าสำหรับการนำก๊าซออกซิเจนจากถังต่อเข้าไปที่หลอดสำหรับผลิตก๊าซโอโซน และก๊าซโอโซนที่ผลิตได้จะออกมาที่อีกด้านหนึ่งของหลอดโอโซน



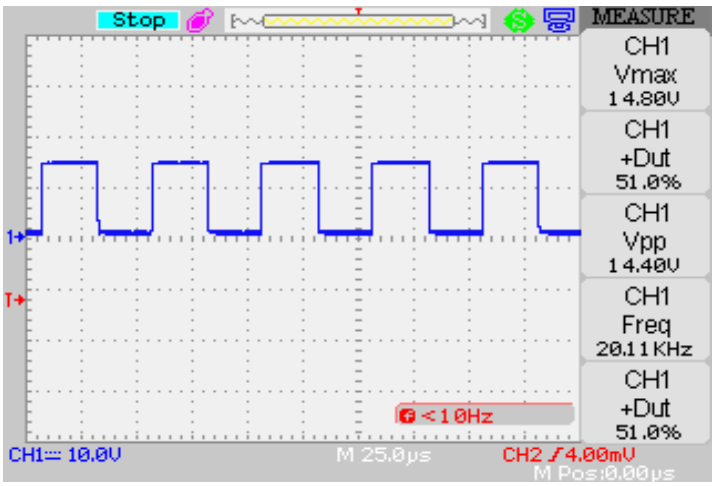
ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของหลอดสำหรับผลิตก๊าซโอโซน

สำหรับการทดสอบเครื่องผลิตก๊าซโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่าด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงซึ่งจะมีการวัดและทดสอบอยู่ทั้งสิ้น 3 ประเด็นด้วยกันได้แก่การวัดความถี่ที่ได้จากวงจรสร้างความถี่สูงด้วย PWM ซึ่งการวัดความถี่ดังกล่าวจะใช้ดิจิทัลออสซิโลสโคป (Digital oscilloscope) ยี่ห้อ ALP รุ่น ALP1102CM สำหรับการตรวจสอบความถี่ที่ให้กับเครื่องผลิตโอโซน นอกจากนั้นจะมีการวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่สร้างขึ้นจากหม้อแปลงไฟฟ้า โดยจะใช้มัลติมิเตอร์ยี่ห้อ Sunwa รุ่น 360TRE-L-B เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าแรงสูงโดยใช้เทคนิคการวัดแรงดันไฟฟ้าสูงเข้ามาช่วย เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากหม้อแปลงมีแรงดันที่สูงเกินย่านการวัดของมัลติมิเตอร์ สำหรับการวัดปริมาณโอโซนที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตก๊าซโอโซนได้ทำการใช้เครื่องวัดก๊าซโอโซนโดยเฉพาะจากมิเตอร์โอโซนรุ่น GS100-O33 โดยให้จุดที่ทำการวัดห่างจากเครื่องผลิตก๊าซโอโซนประมาณ 5 cm. ซึ่งมิเตอร์ดังกล่าวจะแสดงปริมาณโอโซนที่ผลิตได้ในหน่วย ppm.

ปริมาณโอโซนที่ได้จากเครื่องผลิตก๊าซโอโซนจะถูกปรับเปลี่ยนตัวแปรด้านอินพุทอยู่ 2 ค่านั่นคือแรงดันไฟฟ้าและความถี่ โดยที่ในขั้นตอนแรกจะทำการปรับความถี่จากวงจรสร้างความถี่สูงที่ 0 - 20 kHz ในขณะที่มีแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงเป็น 40 V ตลอดการทดลอง หลังจากนั้นจะทำการปรับแรงดันไฟฟ้าโดยเริ่มจาก 0 - 20 kV ในขณะที่ความถี่ได้ถูกควบคุม เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้

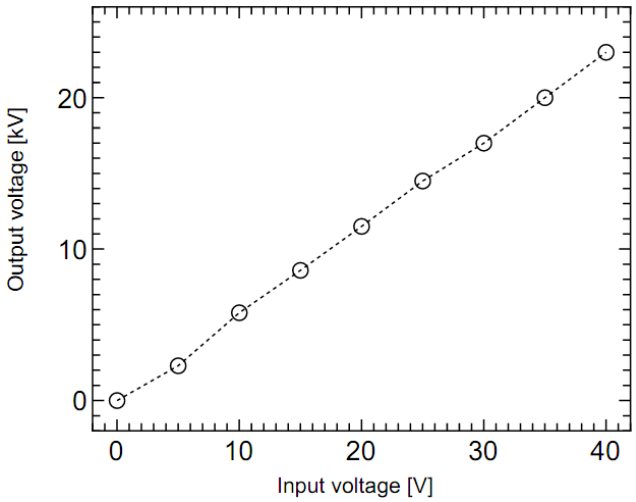
4. ผลการวิจัย

ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างของรูปคลื่นจาก PWM ด้วยดิจิทัลออสซิโลสโคป โดยทำการปรับความถี่สำหรับทำการทดสอบที่ 20 kHz ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าถูกควบคุมไว้ ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าความถี่ที่วัดได้จากดิจิทัลออสซิโลสโคปมีค่าเป็น 20.11 kHz ซึ่งใกล้เคียงกับความถี่ที่จ่ายออกไปจากวงจรสร้างความถี่สูง โดยผลการทดสอบสามารถยืนยันได้เป็นอย่างดีว่าความถี่สูงที่ได้จากวงจร PWM สามารถที่จะผลิตและจ่ายให้กับหม้อแปลงแรงดันสูงเพื่อทำการผลิตก๊าซโอโซนด้วยวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่าด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงได้



ภาพที่ 3 ตัวอย่างของรูปคลื่นจาก PWM ด้วยดิจิทัลออสซิโลสโคป

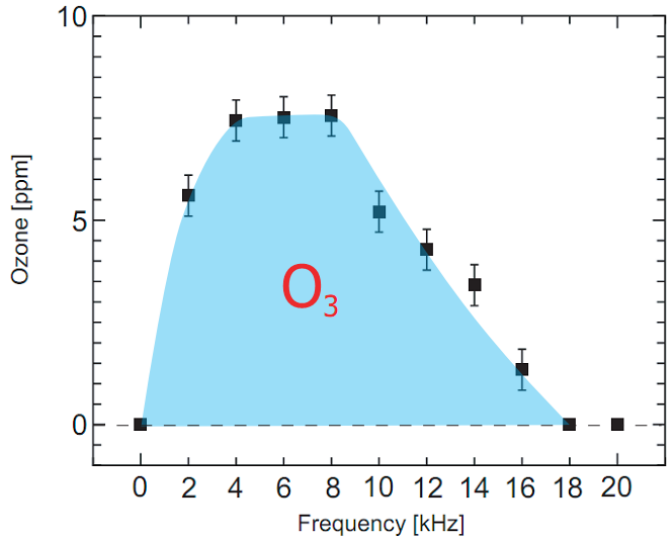
ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออกที่หม้อแปลงแรงดันสูง โดยทำการวัดแรงดันขาออกด้วยมัลติมิเตอร์ที่ใช้เทคนิคการวัดแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อทำการบันทึกค่า โดยมีการปรับแรงดันทางด้านขาเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 V จาก 0-40 V ซึ่งพบได้ว่าแรงดันทางด้านขาออกมีการเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นจาก 0-23 kV ซึ่งจากผลของความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออกสามารถที่จะยืนยันอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงแรงสูงเบอร์ TLF14511F ได้เท่ากับ 1:571



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออกที่หม้อแปลงแรงดันสูง

ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซโอโซนกับความถี่ที่ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง ของเครื่องผลิตก๊าซโอโซนด้วยวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่าด้วยเทคนิค

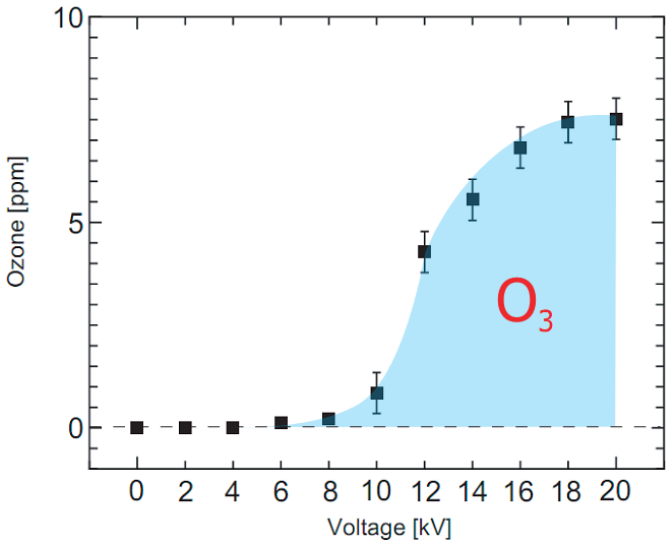
แรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง ซึ่งมีการปรับค่าความถี่ครั้งละ 2 kHz จาก 0-20 kHz ซึ่งพบได้ว่าในช่วงแรงของการปรับความถี่เป็น 2-4 kHz ด้วยวงจรสร้างความถี่สูง สามารถที่จะผลิตก๊าซโอโซนได้ประมาณ 5-6 ppm. จากนั้นเมื่อปรับความถี่เพิ่มขึ้นจาก 4-10 kHz จะเป็นช่วงที่ปริมาณของก๊าซโอโซนสามารถผลิตออกมาได้มากที่สุดประมาณ 7 ppm. นอกจากนั้นในช่วงความถี่ดังกล่าวปริมาณของก๊าซโอโซนจะมีความเป็นเชิงเส้นอีกด้วย โดยพบว่าที่ค่าความถี่ที่ 8 kHz จะมีปริมาณโอโซนมากที่สุดเป็น 7.56 ppm. แต่ในทางกลับกันเมื่อปรับความถี่จาก 10 kHz ถึง 20 kHz จะพบว่าปริมาณโอโซนมีค่าลดลงและไม่สามารถผลิตปริมาณก๊าซโอโซนได้เมื่อความถี่มีค่ามากกว่า 18 kHz เนื่องจากหม้อแปลงแรงดันสูงนี้อาจจะไม่สามารถทำงานที่ระดับความถี่สูงเกินได้ จึงเป็นผลทำให้การผลิตก๊าซโอโซนด้วยวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่าด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงมีข้อจำกัดในการให้ความถี่ไม่เกิน 18 kHz



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซโอโซนกับความถี่ที่ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง

ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซโอโซนกับแรงดันไฟฟ้าที่ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง ของเครื่องผลิตก๊าซโอโซนด้วยวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่าด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง โดยมีการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าครั้งละ 2 kV จาก 0-20 kV ซึ่งพบได้ว่าเมื่อทำการปรับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0-10 kV จะไม่สามารถผลิตก๊าซโอโซนได้จากเครื่องผลิตก๊าซโอโซน แต่กลับพบว่าเมื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 10 kV จะส่งผลให้มีปริมาณโอโซนเกิดขึ้น โดยพบว่าในช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ 12 kV จะทำให้มีปริมาณโอโซนประมาณ 4 ppm. นอกจากนั้นเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจาก 14 kV และ 16 kV จะมีปริมาณโอโซนประมาณ 5.3 ppm. และ 6.8 ppm. ตามลำดับ โดยที่ปริมาณโอโซนจะเริ่มมีการคงที่ประมาณ 7.5 ppm. เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่า 18-20 kV

ซึ่งคาดว่าปริมาณโอโซนน่าจะเริ่มคงที่ที่ประมาณ 7.5 ppm. เมื่อให้แรงดันมากกว่า 20 kV



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซโอโซนกับแรงดันไฟฟ้าที่ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการศึกษาการศึกษาหาจุดที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่า ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงสำเร็จไปด้วยดีจากผลการวิเคราะห์ปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันสูงที่จ่ายตั้งแต่ 0-20 kV และความถี่สูงที่ป้อนให้กับหลอดสำหรับผลิตโอโซนตั้งแต่ 0-20 kHz ซึ่งพบว่าปริมาณโอโซนที่มีค่าสูงสุดที่สามารถผลิตได้มีค่าเป็น 7.56 ppm. จากการจ่ายความถี่ที่ 8 kHz โดยที่มีแรงดันไฟฟ้าที่ 20 kV

จากผลการปรับเปลี่ยนความถี่เพื่อวิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซน พบว่าช่วงของความถี่ประมาณ 4-8 kHz เป็นช่วงที่ทำให้มีปริมาณก๊าซโอโซนที่สูงกว่าช่วงความถี่อื่นๆ นอกจากนั้นยังพบว่าในขณะที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่า 10 kV จะไม่สามารถผลิตก๊าซโอโซนได้เนื่องจากสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยซึ่งทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถเข้าไปประทะกับโมเลกุลของออกซิเจนจึงส่งผลให้อะตอมของออกซิเจนไม่มีการแตกตัวเป็นออกซิเจนราดิคอลเพื่อที่จะไปสร้างพันธะเป็นก๊าซโอโซนได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอบขอบคุณ ผศ.ดร.ณัฐที ถึงสุข โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี สมุทรปราการ สำหรับคำปรึกษา และอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ผู้เขียนขอบขอบคุณห้องปฏิบัติการพลาสมา โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี สมุทรปราการ สำหรับสถานที่ที่ใช้ในการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

Afia, B., Stephane, S., & Monique, L. (2016). Combined effect of antimicrobial coatings, gamma radiation and negative air ionization with ozone on Listeria innocua, Escherichia coli and mesophilic bacteria on ready- to- eat cauliflower florets. **Postharvest Biology and Technology**, 118, 134–140

Estreal, C., Estrela, C. R., Silva, J. A., & Bammann, L.L. (2006). Antimicrobial potential of ozone in an ultrasonic cleaning system against Staphylococcus aureus. **Brazilian Dental Journal**, 134-138

Johannes, A., Gregor, K., Andreas, D., Arne, W., & Thomas, S. (2016). Ozone treatment of conditioned wastewater selects antibiotic resistance genes, opportunistic bacteria, and induce strong population shifts. **Science of the Total Environment**, 559, 103–112.

Junhong, C, & Jane, H. D. (2002). **Ozone production in the positive DC corona discharge**. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 22, 495-522

Mohd, N. N., Lee, B.K., Yap, S.S., Thong, K.L., & Yap, S.L. (2016). Cold plasma inactivation of chronic wound bacteria, **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 605, 76-85

Thabet, S. S., Thabet, H. S., & Atalla, S. S. (2007). Efficacy of medical ozone in attenuation of murine Schistosomiasismansoni infection morbidity. **J Egypt Soc Parasitol**, 37, 915-944.

Yu, W., Graham, Nigel J. D., & Fowler, D. G. (2016). Coagulation and oxidation for controlling ultrafiltration membrane fouling in drinking water treatment: Application of ozone at low dose in submerged membrane tank. **Water Research**, 95, 1-10

การศึกษาระบบโลจิสติกส์ของมันสำปะหลังในจังหวัดพิษณุโลกเพื่อการส่งออกผ่านเขตการค้าชายแดนไทย-ลาวตามเส้นทางระเบียงเศรษฐกิจแนวตะวันออก-ตะวันตก

A STUDY OF CASSAVA LOGISTICS SYSTEM IN PHITSANULOK EXPORTING TO THAI-LOAS BORDER TRADE ON THE EAST-WEST ECONOMICS CORRIDOR

อดิเหรก ชัยนวกุล[1*], ธณิดา โขนงนุช[2] และ อลงกรณ์ เมืองไหว[3]

Adirake Chainavakul[1*], Thanida Khanongnuch[2] and Alongkorn Muangwai[2]

[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย 50300

[2]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

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

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

*Corresponding author E-mail: adirake@rmutl.ac.th

วันที่เข้าระบบ 15 มกราคม 2562
วันที่แก้ไขบทความ 8 กุมภาพันธ์ 2562
วันที่ตอบรับบทความ 19 เมษายน 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบโลจิสติกส์ของมันสำปะหลังในจังหวัดพิษณุโลกเพื่อการส่งออกผ่านเขตการค้าชายแดนไทย-ลาวตามเส้นทางระเบียงเศรษฐกิจแนวตะวันออก-ตะวันตก กรณีศึกษา ด่านมุกดาหาร โดยเริ่มทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เกษตรกร ไปจนถึงตลาดในการส่งสินค้า ศึกษาปัญหาและอุปสรรคในการจัดการโซ่อุปทาน และนำเสนอแนวทางในการพัฒนาระบบโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ของมันสำปะหลัง ซึ่งได้มีการพัฒนาแนวคิด พื่อแสดงความสัมพันธ์ภายในโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมมันสำปะหลัง ร่วมกับหลักการโซ่คุณค่า ซึ่งจะแบ่งออกเป็นกิจกรรมหลักและกิจกรรมเสริม อีกทั้งยังได้นำหลักการการวิเคราะห์สายธารคุณค่า เข้ามาช่วยในการระบุกิจกรรมตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูกจนกระทั่งถึงกระบวนการขนย้าย ตลอดจนวิเคราะห์เส้นทางการขนส่งมันสำปะหลังจากจังหวัดพิษณุโลกไปยังด่านมุกดาหาร จากผลการศึกษาวิจัยข้างต้นได้นำไปสู่การเสนอแนวทางในการพัฒนาโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมมันสำปะหลัง เพื่อให้ทันต่อการตั้งรับกับสถานการณ์การเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนหรือการแข่งขันในปัจจุบัน

คำสำคัญ: มันสำปะหลัง, โลจิสติกส์, โซ่อุปทาน

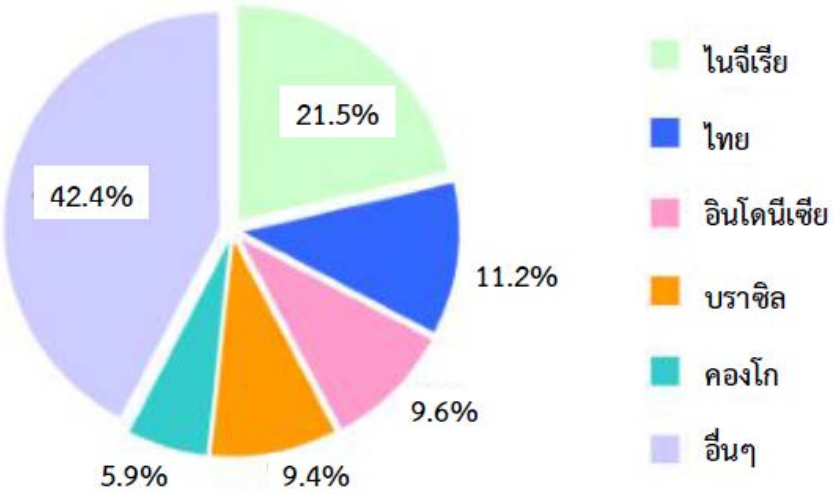
Abstract

This research aimed to study the logistics system of cassava in Phitsanulok exporting to Thai – Loas border trade on the East – West economics corridor: a case study of Mukdahan border crossing. The study commenced from the overview study of the supply chain as well as the people who involve from farmers to the market. Then the difficulties and barriers in logistics and supply chain management of cassava are surveyed. The research developed the means to evaluate the supply chain operation. Moreover, Value Stream Mapping (VSM) is used to pinpoint all activities starting from cultivation to process of shipping products to the market. All analytical results in this research lead to improving logistics and supply chain performance of cassava industry to follow up today's competitive market.

Keywords: Cassava, Logistics, Supply chain

1. บทนำ

มันสำปะหลังจัดได้ว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย ประเทศไทยปลูกมันสำปะหลังได้ตั้งแต่พื้นที่ทางภาคกลางจนถึงภาคเหนือสุดของประเทศ ยกเว้นภาคใต้เนื่องจากดินมีความชื้นสูง ฝนตกหนัก และดินเค็ม และแหล่งที่ปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,200-1,500 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนไม่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส พื้นที่ปลูกอยู่บริเวณที่มีความสูง 0-200 เมตรจากระดับน้ำทะเล (จรุงสิทธ์ และ อัจฉรา, 2547) ทั้งนี้ในช่วงปี 2554 - 2556 ประเทศไทยสามารถผลิตมันสำปะหลังได้เฉลี่ยปี 27.3 ล้านตัน ส่งผลให้ไทยเป็นผู้ผลิตมันมันสำปะหลังรายใหญ่อันดับ 2 ของโลกดังภาพที่ 1 โดยมีสัดส่วนความต้องการใช้ในประเทศประมาณ 20% - 30% ของผลผลิตส่วนที่เหลือ 70% - 80% เป็นการแปรรูปเพื่อส่งออก ซึ่งสามารถสร้างรายได้เข้าประเทศในปี2556 ได้ถึง 3,244.1 ล้านเหรียญสหรัฐฯ



ภาพที่ 1 สัดส่วนประเทศผู้ผลิตมันสำปะหลังสูงสุด 5 อันดับแรกของโลก
(องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติและกรมการค้าต่างประเทศ)

ปัจจุบันจังหวัดพิษณุโลกให้ความสำคัญกับอุตสาหกรรมการส่งออกซึ่งมีอัตราการเติบโตสูงขึ้นทุกปีประกอบกับจังหวัดพิษณุโลกได้ทำการตกลงเป็นศูนย์กลางทางการค้าเสรีหรือสี่แยกอินโดจีนซึ่งเป็นศูนย์กลางในการ ส่งออก-นำเข้า ของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีการปรับตัว เพื่อรองรับการขยายตัวในด้านการส่งออกของจังหวัด นอกจากนี้สถานการณ์การค้าของประเทศไทยที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้อุตสาหกรรมมันสำปะหลัง มีการพัฒนาปรับปรุงขีดความสามารถในการแข่งขันโดยเฉพาะในด้านการจัดการโซ่อุปทานซึ่งส่วนใหญ่ผู้ประกอบการในจังหวัดพิษณุโลก ยังขาดการบริหารจัดการด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทานที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นการจัดการด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทานดังกล่าวจะช่วยเพิ่มศักยภาพอุตสาหกรรมการ ส่งออก–นำเข้ามันสำปะหลังช่วยให้ได้เปรียบทางการค้า และนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน การศึกษาการจัดการโซ่อุปทานในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างจริงจังจะช่วยให้มาซึ่งแนวทางในการวางนโยบาย เพื่อปรับปรุงและส่งเสริมกิจกรรมในโซ่อุปทานให้สามารถรองรับการเติบโตของอุตสาหกรรม และสามารถ ลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์และต้นทุนรวมในการจัดการโซ่อุปทาน

อุตสาหกรรมผลิตทางการเกษตรเป็นหนึ่งในกิจกรรมที่ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญที่จะศึกษาและพัฒนาการจัดการโซ่อุทานมันสำปะหลังในจังหวัดพิษณุโลก ดังตารางที่ 1 แสดงข้อมูลมันสำปะหลังในจังหวัดพิษณุโลก จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่าอำเภอชาติตระการ วัดโบสถ์และวังทองมีการเพาะปลูกมากที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการวิจัยในสามอำเภอนี้เป็นหลัก

ตารางที่ 1 สถิติข้อมูลมันสำปะหลังในจังหวัดพิษณุโลก

อำเภอ	พ.ศ.2555			พ.ศ.2556			พ.ศ.2557		
	ปลูก (ไร่)	เก็บ (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ปลูก (ไร่)	เก็บ (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ปลูก (ไร่)	เก็บ (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)
เมือง	7,409	7,375	23,814	7,659	7,542	26,088	9,173	8,820	29,265
ชาติตระการ	33,205	33,053	116,148	15,632	15,105	51,176	17,380	17,123	51,626
นครไทย	15,856	15,852	55,450	16,712	15,630	53,845	11,183	10,964	34,602
บางกระทุ่ม	60	60	198	76	76	255	52	52	172
บางระกำ	1,852	1,532	4,947	563	553	1,826	311	311	1,045
พรหมพิราม	2,669	65	211	4,318	3,889	13,627	3,232	3,192	11,651
วังทอง	73,098	71,798	236,718	75,213	73,758	244,139	64,944	63,400	214,038
วัดโบสถ์	32,707	32,056	114,183	45,638	45,187	160,730	47,170	46,850	164,303
เนินมะปราง	20,178	20,092	66,384	9,392	9,346	29,160	10,747	10,737	32,748

(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร)

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังยังมีปริมาณที่สูงถึงแม้ว่าในช่วงปีหลังจะมีปริมาณผลผลิตที่ไม่คงที่เนื่องมาจากว่าชาวเกษตรกรบางส่วนหันมาปลูกยางพาราแทน และในปัจจุบันยังไม่ได้มีการศึกษาระบบการจัดการโซ่อุปทานของผลผลิตมันสำปะหลังอย่างจริงจัง โดยจะมุ่งเน้นศึกษาถึงผลผลิตมันเส้นเนื่องจากจังหวัดพิษณุโลกไม่มีโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง มันอัดเม็ด แป้งมัน ฯลฯ ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญจึงคิดที่จะริเริ่มศึกษาแนวทางการพัฒนาปรับปรุงระบบการจัดการโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง เพื่อส่งเสริมให้เกิดการบริหารจัดการอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ สามารถลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์และลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นในโซ่อุปทาน อีกทั้งยังเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของผู้เกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน ทุกราย ทุกหน่วยงาน รวมถึงการส่งเสริมการร่วมมือกันในโซ่อุปทาน เพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาแนวทางการพัฒนาปรับปรุงระบบการจัดการโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาระบบโซ่อุปทานของมันสำปะหลัง

การศึกษาปรับปรุงระบบห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลังในกรณีศึกษา นั้นจำเป็นต้องทราบหลักการดำเนินการ จากการศึกษาข้อมูลโครงสร้างโซ่อุปทานเบื้องต้น ซึ่งมีการดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

(1) ดำเนินการติดต่อประสานงานกับผู้ที่เกี่ยวข้อง ทำการนำเสนอรายละเอียดในการทำการวิจัย อาทิเช่น วัตถุประสงค์ ขอบเขต ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

(2) ดำเนินการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการโซ่อุปทานเบื้องต้นพร้อมทั้งศึกษาข้อมูลเอกสารเพิ่มเติม สรุปเป็นแผนภาพของห่วงโซ่อุปทานในกรณีศึกษา

(3) ศึกษาสภาพปัจจุบันของระบบโซ่อุปทานมันสำปะหลัง โดยศึกษากิจกรรมของแต่ละหน่วยของโซ่อุปทานตั้งแต่กิจกรรมในการเตรียมการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยวผลผลิต เก็บข้อมูลกิจกรรมการไหลของวัตถุดิบ การเก็บรวบรวมข้อมูลจะเป็นข้อมูลแบบปฐมภูมิ จากการสัมภาษณ์และข้อมูลทุติยภูมิ จากข้อมูลเอกสารที่ได้เก็บรวบรวมไว้ ทั้งบันทึกข้อความและเอกสารการทำงาน

3.2 การวิเคราะห์ของห่วงโซ่คุณค่า (Value Chain Analysis: VCA)

บันทึกกิจกรรมต่างๆ เพื่อมาวิเคราะห์ประเภทของแต่ละกิจกรรม คือ การดำเนินการ การเคลื่อนที่ที่จัดเก็บ และการตรวจสอบ โดยได้นำหลักการวิเคราะห์ของห่วงโซ่คุณค่า (ศตวรรษ สถิตย์เพียรศิริ, 2555) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์กิจกรรมในระบบโซ่อุปทาน และเพื่อวิเคราะห์ว่ากิจกรรมใดเป็นกิจกรรมหลัก กิจกรรมใดเป็นกิจกรรมย่อย และกิจกรรมใดเป็นกิจกรรมเสริม/สนับสนุน

3.3 การวิเคราะห์สายธารคุณค่า (Value Stream Mapping: VSM)

วิเคราะห์กิจกรรมต่างๆในโซ่อุปทาน ซึ่งแบ่งเป็นกิจกรรมตามคุณค่าของกิจกรรมนั้นๆ คือ กิจกรรมที่ก่อให้เกิดมูลค่า (Value Added : VA) กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (Non – Value Added : NVA) และกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (Necessary – Non – Value Added : NNVA [3]

3.4 การวิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์ผ่านเขตการค้าชายแดนกรณีศึกษาด่านมุกดาหาร ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะศึกษาถึงเส้นทางในการขนส่งมันสำปะหลังจากจังหวัดพิษณุโลกไปยังเขตการค้าชายแดนมุกดาหาร ซึ่งจะเน้นที่เส้นทางและขั้นตอนการนำเข้าสินค้าและส่งออกสินค้าที่ด่านมุกดาหารเป็นหลัก

3.5 การวิเคราะห์ปัญหาและเสนอแนะแนวทางการแก้ปัญหา

จากการเก็บข้อมูลทั้งเชิงลึกของกรณีศึกษา และข้อมูลจากการสำรวจ คณะผู้วิจัยได้นำเอาข้อมูลต่างๆมาวิเคราะห์ ตั้งแต่กระบวนการในการหาความต้องการของมันสำปะหลัง การวางแผนในการจัดหามันสำปะหลัง การจัดหามันสำปะหลัง การวางแผนการผลิตมันสำปะหลัง การผลิตมันเส้น การควบคุมสินค้าคงคลัง การจัดส่ง รวมทั้งประเด็นต่างๆที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพ โดยข้อมูลดังกล่าวได้ถูกนำมาวิเคราะห์ออกมาเป็นประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

(1) ความไม่แน่นอนของความต้องการของลูกค้า (Demand uncertainty) จะเป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรด กระป๋องมันเส้นและลูกค้า ประเด็นที่มุ่งวิเคราะห์ได้แก่ ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการจัดการคุณภาพ และด้านโลจิสติกส์

(2) ความไม่แน่นอนของความสามารถในการส่งมอบของวัตถุดิบ (Supply Uncertainty) เป็นการวิเคราะห์ในส่วนของการส่งมอบมันสำปะหลัง ประเด็นที่มุ่งวิเคราะห์ได้แก่ ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศด้านการจัดการ ด้านคุณภาพ และต้นทุนโลจิสติกส์

(3) ความไม่แน่นอนของความสามารถในการผลิตของลานมัน เป็นไปในส่วนของด้านอุตสาหกรรมการผลิตมันเส้น ประเด็นอยู่ที่การมุ่งวิเคราะห์ ได้แก่ ด้านการจัดการ ด้านคุณภาพและด้านโลจิสติกส์

(4) การแก้ปัญหาและศึกษาเชิงลึกด้านอุปสงค์และด้านกระบวนการ

3.6 อภิปรายผล สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ข้อมูลและผลการศึกษาวิจัยต่างๆ ได้นำมาทำการสรุปผลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ซึ่งแบ่งการการสรุปและข้อเสนอแนะดังนี้

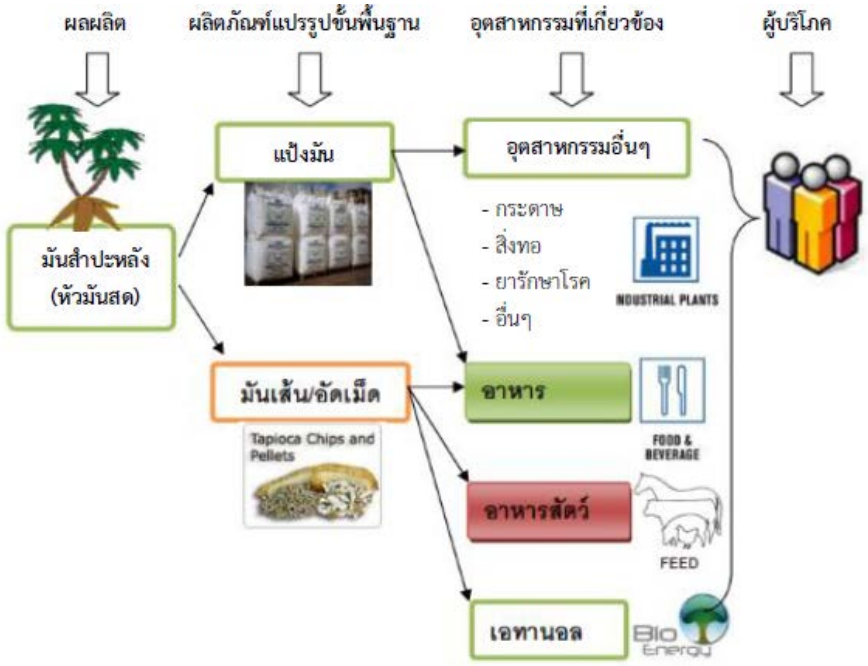
(1) สรุปผลการศึกษาระบบโซ่อุปทานและโลจิสติกส์สำหรับผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังส่งออกการบ่งชี้และหาแนวทางการแก้ปัญหาของโซ่อุปทานนี้และพิจารณาการปรับปรุงกิจกรรมในโซ่อุปทาน

(2) เสนอแนะแนวทางในการดำเนินการปรับปรุงระบบโซ่อุปทานและการดำเนินการวิจัยต่อเนื่องในอนาคต

4. ผลการวิจัย

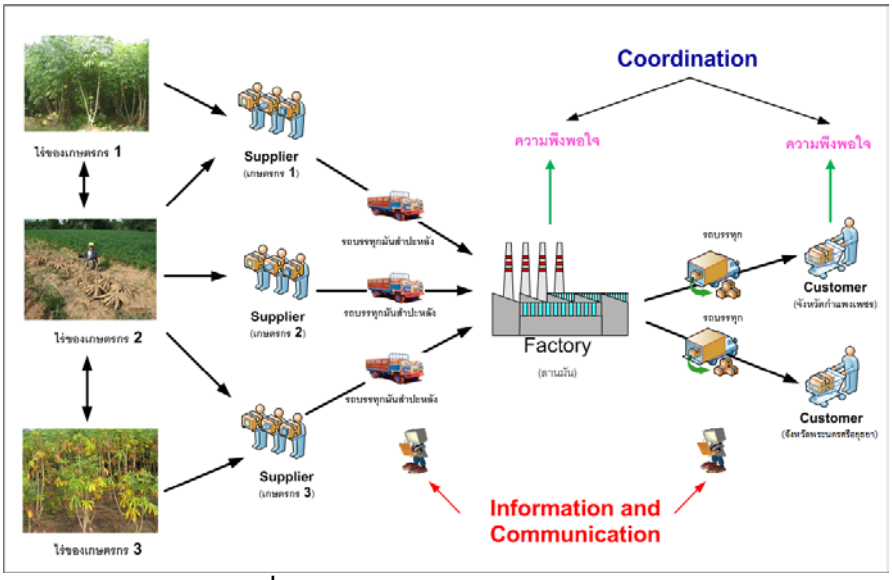
4.1 ศึกษาระบบโซ่อุปทานของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังในงาวิจัยนี้จะศึกษาสามอำเภอของจังหวัดพิษณุโลก ได้แก่ อำเภอวัดโบสถ์ อำเภอวังทอง และอำเภอชาติตระการ เนื่องจากว่าเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกมากที่สุด ภาพที่ 2 แสดงรูปแบบการบริโภคหรือใช้ประโยชน์จาก มันสำปะหลัง (สุดใจ สูนาสวน, 2554)



ภาพที่ 2 รูปแบบกำรบริโภคหรือใช้ประโยชน์จำกมันสำปะหลัง

โซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เริ่มต้นจากส่วนต้นน้ำ คือ เกษตรกรผู้ผลิตมันสำปะหลัง เกษตรกรที่มีปริมาณผลผลิตน้อย จะขายผลผลิตให้กับพ่อค้าคนกลางซึ่งรวบรวมมันสำปะหลังสดไปขายต่อให้กับลานมันและโรงงานแปรรูป สำหรับเกษตรกรที่มีผลผลิตมากพอจะสามารถขายผลิตผลโดยตรงให้กับลานมันและโรงงานแปรรูป การขนส่งหัวมันมันสำปะหลังสดจากไร่ของเกษตรกรไปยังลานมันและโรงงานแปรรูปโดยจะใช้รถบรรทุกทางการเกษตร นอกจากนี้จะมีการใช้รถจักรยานยนต์ขนส่งบ้าง ในกรณีขนส่งปริมาณน้อยเพื่อไปขายให้กับพ่อค้าคนกลางหรือลานมัน ส่วนมากเกษตรกรจะขายผลผลิตให้กับลานมันหรือโรงงานแปรภาพที่อยู่ในเขตพื้นที่ใกล้เคียง ส่วนลานมันเป็นผู้ประกอบการที่รับซื้อหัวมันสำปะหลังสดจากเกษตรกรรายย่อยแล้วจึงทำการแปรรูปจากหัวมันสดเป็นมันเส้น และจำหน่ายให้กับผู้ส่งออกมันเส้น นอกจากนี้การขนส่งมันเส้นจากลานมันไปคลังสินค้าของผู้ส่งออกมันเส้นและโรงงานต่างๆจะใช้ รถบรรทุกสิบล้อ และรถบรรทุกพ่วง ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ขนส่งและระยะทางในการขนส่ง โดยมากจะใช้รถบรรทุกพ่วงสำหรับการขนส่งมันเส้นจากคลังสินค้าของผู้ส่งออกทำได้ 1 วิธี คือ ขนส่งทางถนนด้วยรถบรรทุกสิบล้อ หรือรถบรรทุกพ่วง เพื่อขนต่อไปยังผู้รับซื้อ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โซ่อุปทานมันสำปะหลังกรณีศึกษา

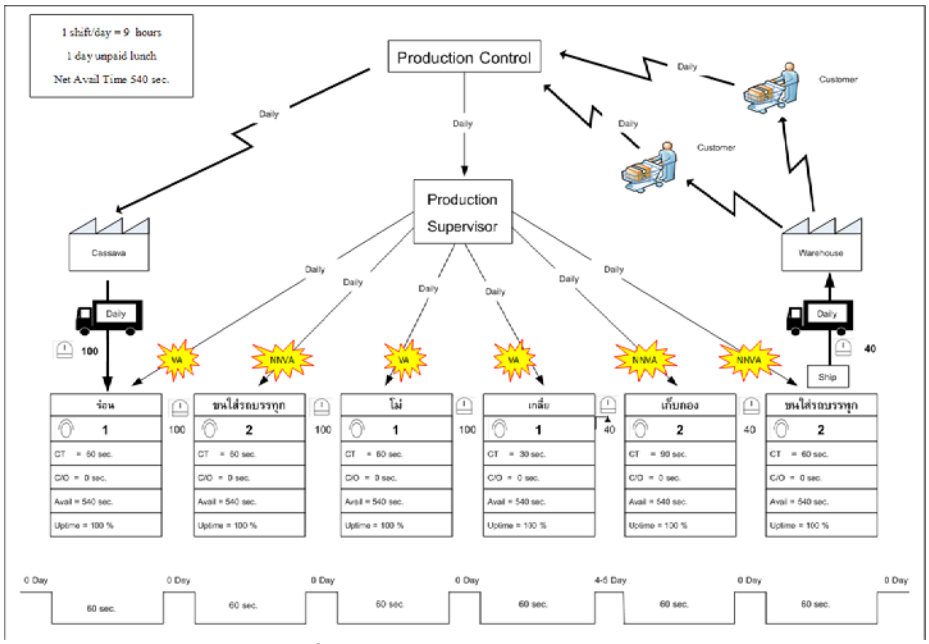
4.2 การวิเคราะห์ของห่วงโซ่คุณค่า

สำหรับแบบจำลองห่วงโซ่คุณคุณค่าได้มุ่งเน้นความสำคัญกับกิจกรรม ตั้งแต่การจัดหาแหล่งวัตถุดิบ การแปรรูป ตลอดจนกระบวนการส่งมอบสินค้า การบริการลูกค้า โดยมุ่งสร้างความสมารถการแข่งขันทางธุรกิจด้วยการวิเคราะห์คุณค่าเพิ่มที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนหรือกิจกรรม ดังนั้นใน ห่วงโซ่คุณค่า จึงเป็นการเชื่อมโยงกิจกรรมต่างๆ ที่สร้างคุณค่าเพิ่มให้กับธุรกิจ ซึ่งเชื่อมโยงกิจกรรมที่เกิดขึ้นทั้งภายในและภายนอกองค์กรที่ส่งผลต่อการแข่งขันดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 โซ่คุณค่าของมันสำปะหลังกรณีศึกษา

4.3 การวิเคราะห์สายธารคุณค่า

วัตถุประสงค์ของการนำ VSM มาประยุกต์ในอุตสาหกรรมมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นเครื่องมือเบื้องต้นที่ช่วยมองเห็นภาพสถานะของกระบวนการปัจจุบัน (Visualize the current state) เพื่อใช้เป็นแนวทางระบุสถานะที่ควรเป็นอนาคต (Future state) และปรับปรุงกระบวนการธุรกิจให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นหลังจากที่ได้การศึกษากระบวนการผลิตในระบบโซ่อุปทานของมันสำปะหลัง จึงทำหารสร้างแผนภาพกระบวนการผลิตจำแนกตามภาพกิจกรรม (Process activity mapping) ตั้งแต่การร่อนมันสะปะหลังจนกระทั่งถึงกระบวนการขนย้ายผลิตภัณฑ์ไปยังผู้ส่งออก จากนั้นจึงวิเคราะห์แต่ละกิจกรรมเพื่อจำแนกกิจกรรมเหล่านั้นออกเป็น 1) กิจกกรมที่มีคุณค่าเพิ่ม 2) กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่มีคุณค่าเพิ่ม 3) กิจกรรมที่ไม่มีคุณค่าเพิ่ม และจัดประเภทของกิจกรรมออกเป็น การดำเนินการ (Operation) การตรวจสอบ (Inspection) การขนส่ง (Transportation) และการจัดเก็บ (Storage) รวมทั้งระบุระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมและระยะเวลารวมทั้งกระบวนการผลิตจนกระทั่งส่งไปยังผู้ส่งออกข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ทั้งข้อมูลที่ได้จากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง พบว่าสมารถจำแนกกิจกรรมได้ทั้งสิ้น 7 กิจกรรม แต่เนื่องจากเวลาในแต่ละกิจกรรมในอุตสาหกรรมมันสำปะหลังมีความแตกต่างกัน ทำให้ไม่สามารถกำหนดเวลาของการทำงานแต่ละงานเป็นค่าตัวเลขที่แน่นอนได้จึงเปรียบเสมือนเป็นตัวแปรเชิงสุ่ม ซึ่งต้องการทำการประมาณเวลาการทำงาน ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนผังสายธารคุณค่าปัจจุบัน

4.4 การวิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์ผ่านเขตการค้าชายแดนกรณีศึกษาด่านมุกดาหาร

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจเส้นทางโลจิสติกส์เพื่อการส่งออกไปด่านการค้าชายแดนมุกดารหาร ซึ่งด่านแห่งนี้มีความสำคัญต่อการนำเข้า ส่งออกสินค้าโดยเฉพาะจากประเทศลาวและเวียดนาม จากการสำรวจเบื้องต้นเมื่อสินค้าออกจากจังหวัดพิษณุโลก จะผ่านจังหวัดเพชรบูรณ์ ขอนแก่น กาฬสินธุ์ และมุกดาหาร โดยใช้เส้นทางหลวงหมายเลข 12 เป็นหลัก เมื่อข้ามสะพานแม่น้ำโขงไปจะเป็นเขตเมืองสะหวันนะเขตประเทศลาว ดังภาพที่ 6

ภาพที่ 6 ศูนย์กลางการค้าเมืองสะหวันนะเขตประเทศลาว

จากการลงพื้นที่สำรวจลักษณะการค้ามันสำปะหลังจังหวัดมุกดาหารพบว่า มันสำปะหลังที่ส่งออกไปประเทศเพื่อนบ้านนั้นเป็นมันสำปะหลังที่มาจากจังหวัดใกล้เคียงส่วนใหญ่เนื่องสภาพดินมีความอุดมสมบูรณ์มากกว่า เช่น สกลนคร กาฬสินธุ์ และร้อยเอ็ดเป็นต้น ส่วนการนำเข้ามันสำปะหลังนั้นไม่มีการนำเข้าที่ด่านแห่งนี้เนื่องจากว่ามันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศลาวมีปริมาณที่ไม่เพียงพอในการส่งออก อีกทั้งมีการสั่งซื้อมันสำปะหลังเป็นจำนวนมากจากประเทศเวียดนามและจีน เพราะมันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศลาวมีขนาดที่ใหญ่และสมบูรณ์กว่าประเทศไทยมาก

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

สำหรับการศึกษาโซ่อุปทานในงานวิจัยนี้ได้มีแหล่งที่มาของข้อมูล คือ (1) ตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ของเกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นหญิง (ร้อยละ 73.33) มีอายุอยู่ในช่วง 36-55 ปี (ร้อยละ 33.33) ระดับการศึกษาของเกษตรกรอยู่ในระดับชั้น ประถมศึกษามากที่สุด (ร้อยละ 63.33) ดังนั้น ในการถ่ายทอดความรู้ ควรหลีกเลี่ยงการใช้ศัพท์ทางวิชาการที่เข้าใจยาก และควรมีการให้ความรู้อย่างละเอียด ผ่านการอบรมปฏิบัติจริง สำหรับ

ประสบการณ์ของเกษตรกรในด้านการเพาะปลูกส่วนใหญ่จะมีประสบการณ์ในการปลูก มันสำปะหลังมายาวนานกว่า 20 ปี (ร้อยละ26.67) แต่จากการที่เกษตรกรมีประสบการณ์ยาวนาน เกษตรกรอาจจะยึดถือการผลิตแบบเดิมที่เคยทำมา จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่อาจส่งผลต่อการยอมรับการถ่ายทอดความรู้ใหม่ๆ ส่วนด้านพื้นที่การเพาะปลูก เกษตรกรในท้องถิ่นที่ทำการศึกษาส่วนใหญ่ใช้พื้นที่ของตนเองในการปลูกมันสำปะหลัง (ร้อยละ 90.32) แต่ก็มีบางส่วนเช่าหรือเช่าพื้นที่ในการเพาะปลูก และบางส่วนทำการเพาะปลูกทั้งบนพื้นที่ของตนเองและพื้นที่เช่า (2) การรับรู้ข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับการปลูกมันสำปะหลังเกษตรกรที่ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ได้รับความรู้เกี่ยวกับการปลูกมันสำปะหลังจากเพื่อนบ้านที่ปลูกมันสำปะหลัง (ร้อยละ 24.24) รองลงมาคือ เจ้าหน้าที่กรมส่งเสริมการเกษตร (ร้อยละ 18.18) และสมาชิกในครอบครัว (ร้อยละ 16.67) ตามลำดับ ดังนั้น กรมส่งเสริมการเกษตรควรให้ความสำคัญเกี่ยวกับการฝึกอบรมและพัฒนาเจ้าหน้าที่ให้มีความรู้ที่ถูกต้องสามารถถ่ายทอดความรู้ให้เกษตรกรได้เป็นอย่างดี ซึ่งนอกจากจะเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรที่มาติดต่อเจ้าหน้าที่โดยตรงแล้ว ยังส่งผลต่อการเผยแพร่ความรู้กันเองในหมู่เกษตรกรอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากหากเกษตรกรส่วนหนึ่งในพื้นที่สามารถยอมรับเทคโนโลยีใหม่ๆ ได้ ก็อาจจะส่งผลให้เกษตรกรรายอื่นๆ ได้เห็นและรับรู้ถึงผลของการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากเกษตรกรเพื่อนบ้านหรือญาติและปฏิบัติตาม แหล่งข้อมูลและความรู้หลักอื่นๆ ของเกษตรกร ได้แก่ ร้านจำหน่ายอุปกรณ์การเกษตร (ร้อยละ 9.09) การฝึกอบรม (ร้อยละ 7.58) นักวิชาการ หรืออาจารย์ (ร้อยละ 7.58) และแปลงสาธิต (ร้อยละ6.06)

นอกจากนี้ พบว่าเกษตรกรจำนวนหนึ่งมีการบันทึกข้อมูลการเพาะปลูก (ร้อยละ 50.00) ส่วนใหญ่บันทึกข้อมูลเนื่องจากต้องการทราบต้นทุนการผลิต และนำมาใช้คำนวณผลกำไรเป็นหลัก มีเพียงเกษตรกรบางส่วนเท่านั้นที่บันทึกข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการจัดการแปลงเพาะปลูก เช่น บันทึกข้อมูลการใส่ปุ๋ยแต่ละครั้งโดยเฉพาะผู้ที่มีแปลงเพาะปลูกหลายแปลง หรือนำข้อมูลที่บันทึกมาใช้ในการวางแผนการเพาะปลูกในรอบถัดไป หรือเพื่อเปรียบเทียบผลการปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตใหม่ๆ ที่ได้เรียนรู้มาส่วนเกษตรกรที่ไม่บันทึกข้อมูลนั้น ส่วนใหญ่ให้เหตุผลว่า ยุ่งยาก เห็นว่าไม่มีความจำเป็นหรือไม่ทราบว่าควรจะบันทึกข้อมูลใดบ้าง ดังนั้น การให้ความรู้เกษตรกรในเรื่องการบันทึกข้อมูลและการนำข้อมูลที่ได้บันทึกไว้มาใช้ประกอบการตัดสินใจ ก็น่าจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรอย่างมาก

การสรุปผลการวิจัยสามารถสรุปออกมาได้หลายประเด็น ดังนี้

(1) สภาพปัญหาที่ไร่มันสำปะหลัง พบว่าเกษตรกรที่เพาะปลูกมันสำปะหลังมานานจะมีประสิทธิภาพในการเพาะปลูกมันสำปะหลังค่อนข้างดี แต่บางรายขาดทุนทรัพย์ในการลงทุนเพาะปลูก ทำให้ไม่สามารถเตรียมการเพาะปลูกและดูแลพืชได้เต็มที่ ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนการผลิตของตน ส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตต่อไร่ต่ำกว่าที่ควร เกษตรกรส่วนใหญ่ทำการเพาะปลูกโดยใช้ประสบการณ์เป็นหลักและนิยมปรึกษาปัญหาการเพาะปลูกกับญาติและเพื่อนบ้านซึ่งเป็นเกษตรกรด้วยกัน จึงมักพบว่า

เกษตรกรในพื้นที่เดียวกันมักจะดำเนินการเพาะปลูกในลักษณะคล้ายคลึงกัน และเป็นไปในรูปแบบเดิมๆ แต่อย่างไรก็ตาม พบว่ามีเกษตรกรจำนวนหนึ่งที่มีความสนใจเรียนรู้เทคโนโลยีการเพาะปลูกและการเพิ่มผลผลิตใหม่ๆ เพิ่มเติมอยู่เสมอ ดังนั้น หากหน่วยงานของรัฐฯ และเอกชนสามารถจัดการฝึกอบรมและนำเสนอความรู้และเทคโนโลยีการผลิตที่สามารถให้ผลสำเร็จได้จริงแก่เกษตรกรจำนวนหนึ่งแล้ว ก็จะสามารถผลักดันให้เกษตรกรในพื้นที่เดียวกันปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตตามได้ นอกจากนี้ ควรส่งเสริมการให้ความรู้แก่เกษตรกรอย่างทั่วถึง โดยอาจเน้นในพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกมากก่อน เพื่อเร่งรัดการปรับปรุงประสิทธิภาพการเพาะปลูกในภาพรวมของประเทศ นอกจากนี้ควรมีการฝึกอบรมให้เกษตรกรได้เรียนรู้วิธีการบันทึกข้อมูลการเพาะปลูก การจัดทำบัญชีธุรกิจการเกษตรอย่างง่าย และการวางแผนการเพาะปลูกอย่างเป็นระบบและครบวงจร ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรสามารถวางแผนการเพาะปลูกได้ดีขึ้น สามารถควบคุมต้นทุนการผลิตและวัดประสิทธิภาพการดำเนินงานของตนเองได้ ซึ่งข้อมูลที่เกษตรกรจัดเก็บยังเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรรายอื่นๆ

(2) สภาพปัญหาของผู้ประกอบการแปรรูปผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง จากการสำรวจด้วยแบบสอบถาม พบว่า ปัญหาที่ผู้ประกอบการแปรรูปผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจะพบมาก ได้แก่ ปัญหาปริมาณวัตถุดิบไม่ได้ตามแผน (ร้อยละ 100) ปัญหาคุณภาพวัตถุดิบไม่ได้ตามมาตรฐาน (ร้อยละ 11.11) และปัญหาเครื่องจักรเสียกะทันหันบ่อยๆ (ร้อยละ 9.26) ส่วนประเด็นที่ผู้ประกอบการต้องการได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลภายนอก ได้แก่ การตลาดการเงิน และอยากได้ราคาดี ซึ่งมีสัดส่วนของผู้ประกอบการที่ต้องการความช่วยเหลือในประเด็นดังกล่าวประมาณร้อยละ 100 ของผู้ตอบแบบสอบถาม ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกลยุทธ์การดำเนินธุรกิจและความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการแปรรูปผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง พบว่า การสร้างความร่วมมือและประสานงานระหว่างผู้ประกอบการกับทั้งเกษตรกร/ผู้ส่งมอบวัตถุดิบและลูกค้า จะช่วยให้องค์กรสามารถแข่งขันได้ในทั้งด้านราคา คุณภาพ เวลานำ การจัดส่งสินค้า เอกลักษณ์ของสินค้า และความหลากหลายของสินค้า การทำแผนการตลาดอย่างสม่ำเสมอ และการพัฒนาตลาดใหม่ๆ จะช่วยส่งเสริมความสามารถในการแข่งขันขององค์กรในหลายๆ ด้าน เช่นเดียวกับการให้ความสำคัญกับความพึงพอใจของลูกค้าในระดับสูง โดยกำหนดเป็นหนึ่งในนโยบายหลักขององค์กร องค์กรควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาความรู้ความสามารถของบุคลากรในทุกระดับ ในทุกตำแหน่งและหน้าที่อย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะความรู้ด้านระบบคุณภาพต่างๆ การให้ความสำคัญกับการประหยัดพลังงานก็จะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันได้ ทั้งนี้เนื่องจากอุตสาหกรรมมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมที่มีสัดส่วนกำไรต่อต้นทุนของสินค้าไม่มากนัก การมีนโยบายด้านการประหยัดพลังงานและนำไปปฏิบัติจริง จะสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตสินค้าลงได้มา

(3) สภาพปัญหาของการขนส่ง การขนส่งในโซ่อุปทานผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นการขนส่งด้วยถนนเป็นหลัก จากการศึกษาพบว่าเกษตรกรนิยมใช้รถบรรทุกขนาดเล็ก (รถอีแต๋น) ซึ่งมี

ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงต่ำในการขนส่งหรือขนส่งผลิตผลไม่เต็มคันรถ การรวมผลิตผลของเกษตรกรเพื่อขนส่งด้วยรถเที่ยวเดียวจะช่วยลดปัญหานี้ได้ สำหรับการขนส่งออกจากโรงงานจะใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่ขึ้น และยังมีโอกาสในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการขนส่งและประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง แม้เพียงเล็กน้อย ก็จะช่วยลดต้นทุนโดยรวมได้มาก

7. เอกสารอ้างอิง

จรุงสิทธ์ ลิ่มศิลา และอัจฉรา ลิ่มศิลา. (2547). **เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง**. กรุงเทพฯ: หจก. ไอเดียสแควร์.

ศตวรรษ สถิตเพียรศิริ. (2555). Value Chain ห่วงโซ่คุณค่า. ค้นจาก http://www.tpso10.org.

สุดใจ สูนาสวน. (2554). **รายงานผลการศึกษาสินค้าเกษตรประเภทมันสำปะหลัง**. สืบค้นจาก http://www.thailandtapiocastarch.net

การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม

THE OPTIMIZATION OF FORECASTING METHOD FOR SELECTION OF DECISION SUPPORT SYSTEM

ภัทร์อร ฟองสินธุ์[1*], สิทธินันท์ ทองศิริ[1] และ สุรพงษ์ หรรษนันท์[1]

Patorn Fongsin, Sittinan Thongsiri and Surapong Hansanan

[1] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ ประเทศไทย 53000

Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University, Muang, Uttaradit, Thailand, 53000

*Corresponding author E-mail: f.patorn@hotmail.com

วันที่เข้าระบบ 1 กุมภาพันธ์ 2562
วันที่แก้ไขบทความ 4 มีนาคม 2562
วันที่ตอบรับบทความ 19 เมษายน 2562

บทคัดย่อ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกวิธีการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลที่มีรูปแบบคงที่ โดยใช้โมดูล Solver ของโปรแกรม Microsoft Excel ในการหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดของการพยากรณ์ภายใต้เป้าหมายค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด วิธีการพยากรณ์ที่นำมาใช้ในระบบคือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก และวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ซึ่งระบบจะแสดงผลค่าพยากรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยผลการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่าระบบสามารถใช้ประกอบการตัดสินใจได้ดี มีระยะเวลาในการหาผลลัพธ์ที่รวดเร็ว โดยได้คะแนนเฉลี่ยของผลการประเมินเท่ากับ 4.19 ซึ่งอยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ, วิธีการพยากรณ์, ค่าความคลาดเคลื่อนการพยากรณ์

Abstract

Decision support system (DSS) for proper forecasting method selection was developed to support decision making about selecting appropriate forecasting method with constant data. The solver module in Microsoft Excel was used to find optimal solution of the forecast under minimal mean squared error objective. The forecasting methods used in this system are moving average method, weighted moving average method and exponential smoothing method. The result of this system will show forecasting result and forecasting discrepancy value. Efficiency evaluation was shown that DSS can be used well for making decision about selecting forecasting method with less computation time. The result of efficiency evaluation is 4.19 which is at high-level.

Keywords: Decision support system, Forecasting method, Forecasting discrepancy value

1. บทนำ

การพยากรณ์มีความสำคัญต่อกระบวนการในการตัดสินใจต่าง ๆ การพยากรณ์ที่ดีจะทำให้สามารถคาดการณ์ปริมาณสินค้าหรือบริการที่ผู้บริโภคต้องการในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการพยากรณ์สามารถพบเห็นได้ในงานส่วนต่าง ๆ เช่น การจัดการสินค้าคงคลังที่ต้องอาศัยการประมาณค่าการใช้วัตถุดิบเพื่อให้สามารถจัดซื้อจัดหาได้อย่างถูกต้อง การวางแผนการผลิตที่ต้องประมาณความต้องการของสินค้ามาสร้างเป็นแผนการผลิตสินค้าให้ได้ตามปริมาณและเวลาที่ต้องการ การวางแผนทางการเงินที่ต้องประมาณการรายรับรายจ่ายเพื่อการจัดสรรงบประมาณที่ถูกต้อง การวางแผนกำลังคนที่ต้องประมาณความต้องการกำลังคนในเวลาที่ต้องการ การวางแผนสิ่งอำนวยความสะดวกต้องประมาณปริมาณกิจกรรมที่จะเกิดขึ้นเพื่อวางแผนสิ่งก่อสร้างหรือสิ่งอำนวยความสะดวกได้อย่างเหมาะสม เป็นต้น

วิธีการที่ใช้ในการพยากรณ์มีหลายวิธี ซึ่งการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลจะส่งผลให้ผลลัพธ์ของการพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนน้อย ช่วยลดความผิดพลาดในการดำเนินงาน ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้ระบบสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ประกอบการตัดสินใจในการดำเนินงานในลักษณะต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อเลือกวิธีการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมกับข้อมูล และมีประสิทธิภาพ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กลุ่มชุมชนเป้าหมาย

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับปัญหาที่มีรูปแบบของข้อมูลนำเข้ามีลักษณะคงที่ โดยระบบสามารถป้อนข้อมูลได้ 2 รูปแบบ คือ ชุดข้อมูล 24 ค่า และ ชุดข้อมูล 36 ค่า ตามลำดับ

3.2 ขอบเขตในการพัฒนาเฟอร์นิเจอร์

วิธีการพยากรณ์ที่นำมาใช้ในระบบ ประกอบด้วย 3 วิธี คือ

(1) วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

(2) วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก

(3) วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

โดยระบบจะแสดงผลค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ 6 ค่า คือ

(1) ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสมบูรณ์

(2) ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง

(3) ค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง

(4) ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์

(5) ค่าความลำเอียงของการพยากรณ์

(6) ค่าอัตราส่วนของค่าความลำเอียงของการพยากรณ์กับค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสมบูรณ์ โดยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ และวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก จะแสดงค่าความคลาดเคลื่อนภายใต้ค่า k=2 ถึง k=7

3.3 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษาวิธีการพยากรณ์สำหรับข้อมูลที่มีรูปแบบคงที่ 3 วิธี คือวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก และวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล และการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีการพยากรณ์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสมบูรณ์ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง ค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ ค่าความลำเอียงของการพยากรณ์ และค่าอัตราส่วนของค่าความลำเอียงของการพยากรณ์กับค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสมบูรณ์

3.4 วางแผนและออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

วางแผนและออกแบบระบบโปรแกรมระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาทำการวางแผนและออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมให้สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงความสะดวกในการป้อนข้อมูล

3.5 เขียนโปรแกรมระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

เขียนโปรแกรมระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก และวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล จะใช้โมดูล Solver ของโปรแกรม Microsoft Excel ในการหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดของการพยากรณ์ ภายใต้เป้าหมายค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด

3.6 ตรวจสอบความถูกต้องของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ตรวจสอบความถูกต้องของระบบสนับสนุนการตัดสินใจสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ต้องถูกต้อง แม่นยำ โดยทำการทดสอบหลาย ๆ ครั้ง ด้วยโจทย์ปัญหาหลาย ๆ ชุด

3.7 ประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานของระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญ และวิเคราะห์ผลการประเมิน

4. ผลการวิจัย

เมื่อเข้าใช้งานระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่ได้สร้างขึ้น จะพบหน้าแรกของการใช้งานตามภาพที่ 1 ในแผ่นงานชื่อ Input n ซึ่งจะให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลนำเข้าตามช่วงเวลาที่กำหนด คือ 24 ช่วงเวลา หรือ 36 ช่วงเวลา

เมื่อป้อนข้อมูลนำเข้าเรียบร้อยแล้ว ระบบจะแสดงผลการคำนวณค่าพยากรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ค่าพยากรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนจากวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

ค่าพยากรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนจากวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ แสดงในแผ่นงานชื่อ MA k=2, MA k=3, MA k=4, MA k=5, MA k=6 และ MA k=7 โดย ค่า k หมายถึง จำนวนช่วงเวลาที่ใช้คำนวณค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ แสดงตัวอย่างการแสดงผลดังภาพที่ 2

4.2 ค่าพยากรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนจากวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก

ค่าพยากรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนจากวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก แสดงในแผ่นงานชื่อWMA k=2, WMA k=3, WMA k=4, WMA k=5, WMA k=6 และ WMA k=7 โดย ค่า k หมายถึง จำนวนช่วงเวลาที่ใช้คำนวณค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ และ ค่า w หมายถึง น้ำหนักความสำคัญของข้อมูล โดยผู้ใช้คลิกปุ่ม Solver เพื่อให้ระบบคำนวณหาค่า w ที่ดีที่สุด ภายใต้เป้าหมายค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด แสดงตัวอย่างการแสดงผลดังภาพที่ 3

4.3 ค่าพยากรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนจากวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

ค่าพยากรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนจากวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล แสดงใน

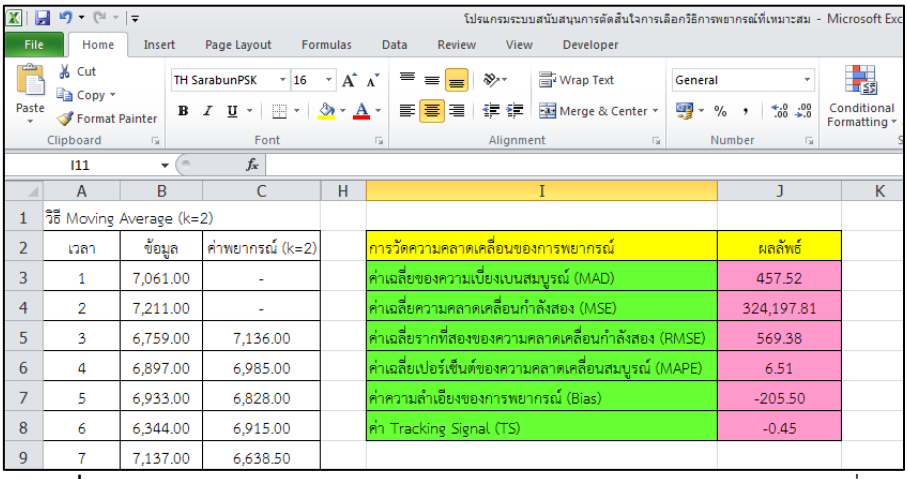
แผ่นงานชื่อ ES โดย ค่า "α" หมายถึง น้ำหนักความสำคัญของข้อมูล โดยผู้ใช้คลิกปุ่ม Solver เพื่อให้ระบบคำนวณหาค่า "α" ที่ดีที่สุด ภายใต้เป้าหมายค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด แสดงตัวอย่างการแสดงผลดังภาพที่ 4

โดยค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี จะแสดงผลโดยรวมในแผ่นงานชื่อ Result เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ในแต่ละวิธีได้ชัดเจนขึ้น ดังภาพที่ 5

ซึ่งผลการประเมินความสามารถในการใช้งานโดยให้ผู้เชี่ยวชาญทดลองใช้งานระบบ พบว่าภาพรวมของผลการประเมินเท่ากับ 4.19 ซึ่งอยู่ในระดับมาก

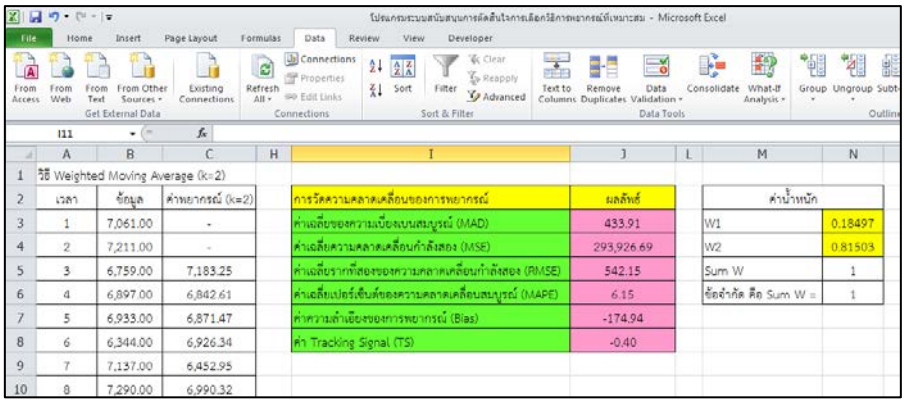
	A	B	C	D
1	ป้อนข้อมูล			
2	เวลา	ข้อมูล		
3	1	7061		
4	2	7211		
5	3	6759		
6	4	6897		
7	5	6933		
8	6	6344		

ภาพที่ 1 หน้าแรกของการใช้งานระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม



	A	B	C	H	I	J	K
1	วิธี Moving Average (k=2)						
2	เวลา	ข้อมูล	ค่าพยากรณ์ (k=2)		การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์	ผลลัพธ์	
3	1	7,061.00	-		ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสมบูรณ์ (MAD)	457.52	
4	2	7,211.00	-		ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE)	324,197.81	
5	3	6,759.00	7,136.00		ค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE)	569.38	
6	4	6,897.00	6,985.00		ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE)	6.51	
7	5	6,933.00	6,828.00		ค่าความลำเอียงของการพยากรณ์ (Bias)	-205.50	
8	6	6,344.00	6,915.00		ค่า Tracking Signal (TS)	-0.45	
9	7	7,137.00	6,638.50				

ภาพที่ 2 ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณค่าพยากรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนจากวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ เมื่อ k=2



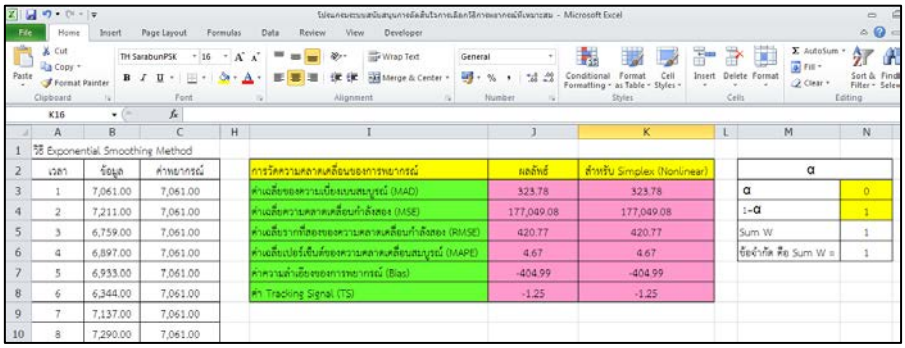
วิธี Weighted Moving Average (k=2)

เวลา	ข้อมูล	ค่าพยากรณ์ (k=2)
1	7,061.00	-
2	7,211.00	-
3	6,759.00	7,183.25
4	6,897.00	6,842.61
5	6,933.00	6,871.47
6	6,344.00	6,926.34
7	7,137.00	6,452.95
8	7,290.00	6,990.32

การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์	ผลลัพธ์
ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสมบูรณ์ (MAD)	433.91
ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE)	293,926.69
ค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE)	542.15
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE)	6.15
ค่าความลำเอียงของการพยากรณ์ (Bias)	-174.94
ค่า Tracking Signal (TS)	-0.40

ค่าน้ำหนัก	
W1	0.18497
W2	0.81503
Sum W	1
ข้อจำกัด คือ Sum W =	1

ภาพที่ 3 ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณค่าพยากรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนจากวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก เมื่อ k=2



วิธี Exponential Smoothing Method

เวลา	ข้อมูล	ค่าพยากรณ์
1	7,061.00	7,061.00
2	7,211.00	7,061.00
3	6,759.00	7,061.00
4	6,897.00	7,061.00
5	6,933.00	7,061.00
6	6,344.00	7,061.00
7	7,137.00	7,061.00
8	7,290.00	7,061.00

การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์	ผลลัพธ์	สำหรับ Simplex (Nonlinear)
ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสมบูรณ์ (MAD)	323.78	323.78
ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE)	177,049.08	177,049.08
ค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE)	420.77	420.77
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE)	4.67	4.67
ค่าความลำเอียงของการพยากรณ์ (Bias)	-404.99	-404.99
ค่า Tracking Signal (TS)	-1.25	-1.25

α	
α	0
1-α	1
Sum W	1
ข้อจำกัด คือ Sum W =	1

ภาพที่ 4 ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณค่าพยากรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนจากวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

	วิธีการพยากรณ์												
	Moving Average						Weighted Moving Average						Exponential Smoothing
การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	
ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสมบูรณ์ (MAD)	457.52	455.21	420.21	410.08	414.64	417.21	433.91	424.99	417.91	420.71	409.40	1,126.14	323.78
ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE)	324,197.81	307,605.81	267,291.73	254,577.42	250,981.52	257,093.53	293,926.69	270,682.58	245,811.11	242,663.58	234,912.92	1,535,427.00	177,049.08
ค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE)	569.38	554.62	517.00	504.56	500.98	507.04	542.15	520.27	495.79	492.61	484.68	1,239.12	420.77
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE)	6.51	6.46	5.99	5.85	5.87	5.92	6.15	6.01	5.93	5.98	5.77	16.38	4.67
ค่าความลำเอียงของการพยากรณ์ (Bias)	-205.50	88.67	333.75	578.40	1,198.50	836.00	-174.94	190.79	272.87	460.12	1,081.74	-19,144.31	-404.99
ค่า Tracking Signal (TS)	-0.45	0.19	0.79	1.41	2.89	2.00	-0.40	0.45	0.65	1.09	2.64	-17.00	-1.25
ค่า Weight ของวิธี Weighted Moving Average ใดๆ ที่ให้ MSE													
W1							0.185	0.168	0.164	0.148	0.000	0.167	
W2							0.815	0.168	0.164	0.148	0.150	0.167	
W3								0.663	0.164	0.148	0.150	0.167	
W4									0.508	0.148	0.150	0.167	
W5										0.407	0.150	0.167	
W6											0.401	0.167	
W7												0.167	
ค่า α ของวิธี Exponential Smoothing ใดๆ ที่ให้ MSE													
α													0.000
1-α													1.000

ภาพที่ 5 แสดงผลค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ผลจากการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม พบว่าระบบยังมีข้อจำกัดในด้านการป้อนข้อมูลนำเข้า จึงควรมีการพัฒนาให้ระบบสามารถป้อนข้อมูลให้มีจำนวนค่าที่มีความหลากหลาย เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น การพยากรณ์มีความสำคัญต่อกระบวนการในการตัดสินใจต่างๆ การพยากรณ์ที่ดีจะทำให้สามารถคาดการณ์ปริมาณสินค้าหรือบริการที่ผู้บริโภคต้องการในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกวิธีการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลที่มีรูปแบบคงที่ โดยวิธีการพยากรณ์ที่นำมาใช้ในระบบคือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก และวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ซึ่งระบบจะแสดงผลค่าพยากรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านการวิจัย สำหรับบุคลากร และนักศึกษา

7. เอกสารอ้างอิง

บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์. (2552). **การวางแผนและควบคุมการผลิต.** กรุงเทพฯ: ท้อป.

พิภพ ลลิตาภรณ์. (2545). **ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต** (พิมพ์ครั้งที่ 8). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ยุทธ ไกยวรรณ์. (2549). **การวางแผนและควบคุมการผลิต.** กรุงเทพฯ: ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.

รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ และพรธิภา องค์คุณารักษ์. (2556). **การวิจัยดำเนินงาน.** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

วิชัย แหวนเพชร. (2547). **การวางแผนและควบคุมการผลิต** (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: ธรรกมลการพิมพ์.

สุมล มาลาสิทธิ์. (2552). **การจัดการการผลิตและการดำเนินงาน** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สามลดา.

ปัจจัยที่มีผลกับการใช้พลังงานในการขนส่งในภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

FACTORS AFFECTING TO THE TRANSPORTATION ENERGY CONSUMPTION IN NORTHERN REGION OF THAILAND USING MULTIPLE REGRESSION ANALYSIS MODELS

เจษฎา โพธิ์จันทร์[1*], วชิระ วิจิตรพงษา[1], ปรีดา พิชยาพันธ์[2],
และ เกรียงไกร อรุโณทยานันท์[2]

Jessada Pochan[1*], Wachira Wichitphongsa[1], Preda Pichayapan[2],
and Kriangkrai Arunotayanun[2]

[1]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย 50200
[1]Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Mueang, Phitsanulok, Thailand, 65000
[2]Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50200
*Corresponding author E-mail: markpochan@gmail.com

วันที่เข้าระบบ 12 มกราคม 2562
วันที่แก้ไขบทความ 14 กุมภาพันธ์ 2562
วันที่ตอบรับบทความ 19 เมษายน 2562

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในการขนส่ง และระบุปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในการขนส่งในภาคเหนือของประเทศไทย โดยในการวิจัยนี้ได้นำแบบจำลอง 2 แบบ ได้แก่ แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบเส้นตรง และแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบลอการิทึม มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในการขนส่งขนส่งในภาคเหนือของประเทศไทย 3 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองการใช้พลังงานดีเซล แบบจำลองการใช้พลังงานเบนซิน และ แบบจำลองการใช้พลังงานแอลพีจี ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองได้ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2561 โดยมีตัวแปรตาม ได้แก่ การใช้พลังงานดีเซล เบนซิน และแอลพีจี และตัวแปรอิสระ ได้แก่ จำนวนประชากร จำนวนยานพาหนะจดทะเบียน จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน ลักษณะภูมิประเทศ และผลิตภัณฑ์มวลรวมของแต่ละจังหวัด ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่าแบบจำลองเส้นตรงให้ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกว่าแบบจำลองลอการิทึม ซึ่งปัจจัยที่มีผลกับการใช้พลังงานดีเซลโดยแบบจำลองเส้นตรง คือ ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน และ รถบรรทุก ส่วนปัจจัยที่มีผลกับพลังงานเบนซิน คือ จำนวนประชากร รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง และ ลักษณะภูมิประเทศ และปัจจัยที่มีผลกับพลังงานแอลพีจี คือ จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงานรถยนต์ นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง และลักษณะภูมิประเทศ

คำสำคัญ: การใช้พลังงานในการขนส่ง, การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ, ข้อมูลภาคตัดขวาง

Abstract

The objectives of this research were to formulate models of energy consumption in transportation and to define the factors that affect the amount of provincial energy consumption in northern region of Thailand. Multiple linear regression analysis models and multiple log-linear regression analysis models were applied to develop three transportation energy consumption models; diesel consumption model, petrol consumption model, and LPG consumption model. Also, the models were separately developed to investigate the factors affecting the consumption of Diesel, Petrol, and LPG by using previous data in 2018. The independent variables include the number of populations, the number of registered vehicles, the number of gas stations, terrain of each province, and gross provincial product. It was revealed that the result of the multiple linear regression analysis models was more accurate than that of the multiple log-linear analysis regression models. The factors that affect the consumption of diesel are gross provincial product, the number of gas stations, and the number of trucks. The factors affecting the consumption of petrol are the number of populations, the number of sedans with no more than 7 passengers, and the terrain. Finally, the consumption of LPG is affected by the number of gas stations, the number of sedans with no more than 7 passengers, and the terrain.

Keywords: Transportation energy consumption, Multiple regression analysis, Cross sectional data

1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานในภาคการขนส่งของประเทศไทยสูงถึงร้อยละ 37 ของการใช้พลังงานทั้งประเทศ ซึ่งเป็นลำดับ 1 ส่วนอันดับ 2 คือภาคอุตสาหกรรม (ร้อยละ 36) (Energy policy and planning office, 2017) โดยพลังงานที่ใช้ในภาคการขนส่งประกอบไปด้วย พลังงานดีเซล (39 %) พลังงานเบนซิน (22 %) พลังงานแอลพีจี (8 %) และ พลังงานอื่นๆ (31 %) เช่น น้ำมันเตา และน้ำมันเครื่องบิน เป็นต้น (Energy policy and planning office, 2016) ซึ่งจากปริมาณการใช้พลังงานดังกล่าวทำให้ภาครัฐมีความจำเป็นต้องจัดทำแผนและมาตราการที่จะช่วยลดการใช้พลังงานและส่งเสริมการลงทุนด้านพลังงานทดแทนให้มากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มความมั่นคงด้านพลังงานให้กับประเทศ (Energy policy and planning office, 2015)

คณะผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความสำคัญในการจัดทำแผนและมาตราการด้านการใช้พลังงาน จึงได้ทำการศึกษาความต้องการและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในภาคการขนส่ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุน การกำหนดนโยบาย และกำหนดแผนงานด้านการใช้พลังงานในอนาคต อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ได้พัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในการขนส่ง 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบเส้นตรง (Multiple linear regression analysis models) และ แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบลอการิทึม (Multiple log-linear regression analysis models) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกับการใช้พลังงานในการขนส่งในภาคเหนือของประเทศไทย รวมไปถึงเพื่อคาดการณ์การใช้พลังงานในอีก 20 ปีข้างหน้า

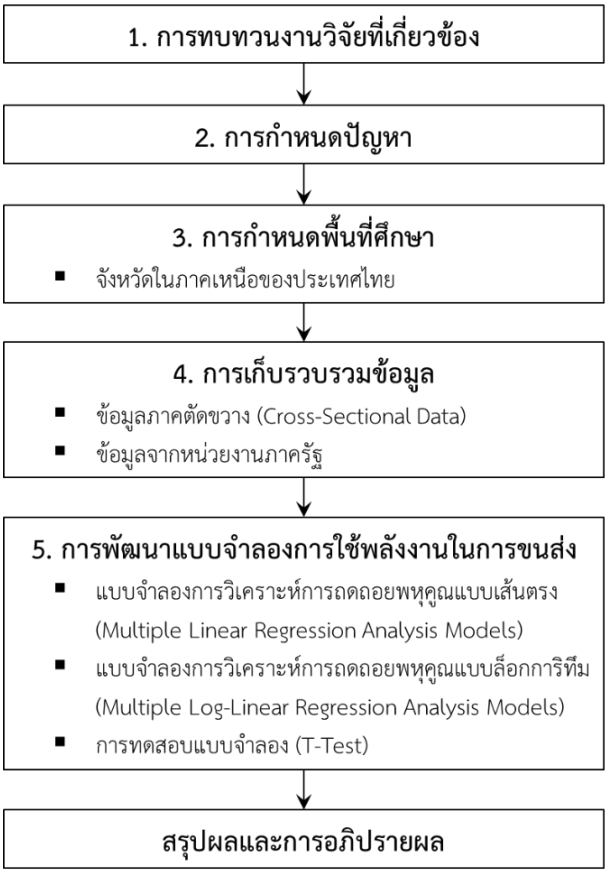
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกับการใช้พลังงานในการขนส่งในภาคเหนือของประเทศไทย

2.2 เพื่อคาดการณ์การใช้พลังงานในอีก 20 ปีข้างหน้า (พ.ศ. 2581)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้แบ่งวิธีการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ประกอบด้วย 1) การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2) การกำหนดปัญหา 3) การกำหนดพื้นที่ศึกษา 4) การเก็บรวบรวมข้อมูล และ 5) การพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในการขนส่ง ซึ่งเป็นขั้นตอนที่นำไปสู่ผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่วางไว้ โดยกรอบแนวคิดของการวิจัย ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

3.1 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวโน้มและเทคนิคการคาดการณ์การใช้พลังงานมีความสำคัญในการพิจารณาเพื่อวางแผนการลงทุนในการผลิตพลังงานและการจัดจำหน่ายในแต่ละประเทศ โดยทั่วไปได้มีการนำแบบจำลองความต้องการพลังงานในการขนส่ง (Transport energy demand models) มาประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์การใช้พลังงาน ซึ่งเป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานกับข้อมูลเศรษฐกิจและสังคม โดยแต่ละแบบจำลองมีการใช้ตัวแปรอิสระที่แตกต่างกัน อาทิเช่น Haldenbilen, S., & Ceylan, H. (2005) พัฒนาแบบจำลอง Genetic Algorithm โดยใช้ ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP) จำนวนประชากร และกิโลเมตรยานพาหนะเดินทาง (Vehicle – Kilometer: VKT) Murat, Y.S., & Ceylan, H. (2006) พัฒนาแบบจำลอง Artificial neural networks โดยใช้ จำนวนประชากร และกิโลเมตรยานพาหนะเดินทาง ในการคาดการณ์การใช้พลังงานในประเทศตุรกี Ceylan, H. *et al.* (2008) พัฒนาแบบจำลอง Harmony search โดยใช้ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ จำนวนประชากร และกิโลเมตรยานพาหนะเดินทาง Zhang, M. *et al.* (2009) พัฒนาแบบจำลอง Partial least square regression โดยใช้ ผลิตภัณฑ์มวลรวมของ

ประเทศ อัตราการขยายตัวของเมือง กิโลเมตรคนเดินทาง (Person – Kilometer: PKT) และกิโลเมตรสินค้าเดินทาง (Ton – Kilometer: TKT) ในการคาดการณ์การใช้พลังงานในประเทศจีน Limanond, T. *et al.* (2011) พัฒนาแบบจำลอง Log – linear regression และ Feed – forward neural network โดยใช้ ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ จำนวนประชากร และจำนวนยานพาหนะจดทะเบียน ในการคาดการณ์การใช้พลังงานในประเทศไทย และ Zong, W.G. (2011) พัฒนาแบบจำลอง Artificial neural network โดยใช้ ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ จำนวนประชากร ราคาน้ำมัน จำนวนยานพาหนะจดทะเบียน และกิโลเมตรคนเดินทาง ในการคาดการณ์การใช้พลังงาน

อย่างไรก็ตามชนิดและจำนวนของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองความต้องการการใช้พลังงานในการขนส่งจะขึ้นอยู่กับวิธีการศึกษาซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละการศึกษา โดยในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้ข้อมูลเศรษฐกิจและสังคมเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์มวลรวม และจำนวนประชากร เป็นต้น รวมถึงข้อมูลอื่นๆ ที่ถูกรวบรวมโดยหน่วยงานของภาครัฐ อาทิเช่น จำนวนยานพาหนะจดทะเบียน จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน เป็นต้น โดยตัวแปรอิสระที่เลือกใช้เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับการใช้พลังงานในการขนส่งโดยตรง อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์มวลรวมซึ่งเป็นตัวแทนของแนวโน้มของความเจริญทางเศรษฐกิจในพื้นที่และมีอิทธิพลต่อการเพิ่ม-ลดการใช้พลังงานในการขนส่ง เช่นเดียวกับประชากรที่เป็นตัวแปรที่บ่งชี้ในการใช้พลังงาน คือ ยิ่งมีประชากรมากขึ้นก็จะส่งผลให้มีการใช้พลังงานมากขึ้นด้วย และในทำนองเดียวกันถ้าจำนวนยานพาหนะจดทะเบียนเพิ่มขึ้นก็จะทำให้มีความต้องการการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น เป็นต้น

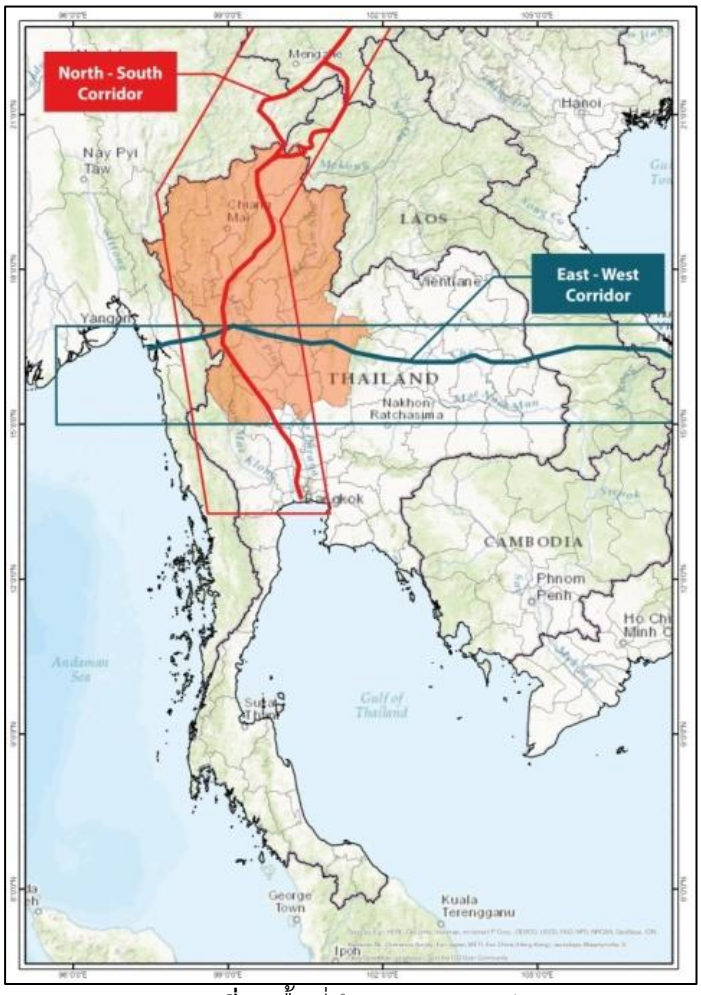
3.2 การกำหนดปัญหา

แนวทางการพิจารณาปัจจัยที่มีผลกับการใช้พลังงานในการขนส่งจะพิจารณาโดยการพัฒนาแบบจำลองที่มีความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานกับข้อมูลเศรษฐกิจและสังคม โดยในเบื้องต้นจะกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกับการใช้พลังงานก่อน แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองและการตรวจสอบแบบจำลองเพื่อให้ได้ปัจจัยที่มีผลการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นจึงนำแบบจำลองที่ได้มาใช้ในการคาดการณ์ความต้องการใช้พลังงานในอนาคตเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุนและกำหนดนโยบายด้านพลังงานในอนาคตต่อไป

3.3 การกำหนดพื้นที่ศึกษา

ผู้วิจัยได้เลือกพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยที่แบ่งตามเขตการปกครอง (ประกอบด้วย 17 จังหวัด) ดังแสดงในภาพที่ 2 เป็นพื้นที่ศึกษาเนื่องจากเป็นภูมิภาคที่ครอบคลุมทั้งแนวพื้นที่เศรษฐกิจเหนือ-ใต้ (North-south economic corridor: NSEC) และแนวพื้นที่เศรษฐกิจตะวันออก-ตะวันตก (East-west economic corridor: EWEC) จึงเป็นภูมิภาคที่มีแนวโน้มการเติบโตทางเศรษฐกิจที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงกับการใช้พลังงานในอนาคต อีกทั้งยังเป็นภูมิภาคที่มีลักษณะภูมิ

ประเทศทั้งพื้นที่ราบและพื้นที่ภูเขา จึงทำให้การพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานในการขนส่งมีปัจจัยที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2 พื้นที่ศึกษาของงานวิจัย

3.4 ข้อมูลและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่เลือกใช้เป็นตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นในการศึกษานี้ เป็นข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับการใช้พลังงานในการขนส่ง (ตัวแปรตาม) โดยตรง อาทิเช่น ข้อมูลด้านเศรษฐกิจและสังคม จำนวนยานพาหนะจดทะเบียน จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน และ ลักษณะภูมิประเทศ เป็นต้น โดยข้อมูลที่คาดว่าจะมีผลกับการใช้พลังงานในการขนส่งแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่คาดว่าจะมีผลกับการใช้พลังงานในการขนส่ง

ข้อมูล	แหล่งรวบรวมข้อมูล
การใช้พลังงานดีเซล	กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน
การใช้พลังงานเบนซิน	
การใช้พลังงานแอลพีจี	
จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน	
ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด	สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ
จำนวนประชากร	กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย
จำนวนนักท่องเที่ยว	กรมการท่องเที่ยว กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา
จำนวนยานพาหนะจดทะเบียน ▪ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน ▪ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน ▪ รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล ▪ รถยนต์สามล้อส่วนบุคคล ▪ รถยนต์รับจ้างระหว่างจังหวัด ▪ รถยนต์รับจ้างบรรทุกคน ▪ รถจักรยานยนต์ ▪ รถโดยสารประจำทาง/ไม่ประจำทาง ▪ รถบรรทุก (เล็ก/กลาง/ใหญ่) ▪ ฯลฯ	กรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม
ลักษณะภูมิประเทศ	กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ข้อมูลที่ได้ทำการเก็บรวบรวมนี้เป็นข้อมูลแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional data) คือ เป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวม ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น โดยในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลรายจังหวัดในปี พ.ศ. 2561 เพื่อการพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในการขนส่ง อย่างไรก็ตามการใช้ตัวแปรจำนวนยานพาหนะจดทะเบียนอาจไม่ถูกต้องมากนัก เนื่องจากในพื้นที่ใดๆ จะมียานพาหนะจากภายนอกเข้ามาในพื้นที่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีการพิจารณาตัวแปรจำนวนสถานีจำหน่ายพลังงานเข้ามาในแบบจำลองร่วมด้วย ซึ่งจะสามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้

3.5 การพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในการขนส่ง

การพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในการขนส่งสำหรับการศึกษานี้ เป็นการพัฒนาเพื่อหาแบบจำลองตัวแทนของจังหวัดในภาคเหนือ (แบ่งตามเขตการปกครอง) โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

หลัก คือ 1) การสร้างแบบจำลอง ซึ่งมี 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบเส้นตรง (Multiple linear regression analysis models) และ แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบลอการิทึม (Multiple log-linear regression analysis models) และ 2) การทดสอบแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบเส้นตรง

แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบเส้นตรง (Multiple linear regression analysis models) เป็นเทคนิคทางเศรษฐมิติ (Econometric technique) ซึ่งถูกนำมาใช้เพื่อการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent variable) และตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (Independent variable) โดยมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง (Neter, J., Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J. *et al.*, 1996) ซึ่งเทคนิคนี้สามารถช่วยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกันและอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีทางสถิติที่มีการพิสูจน์แล้ว นอกจากนี้การพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบเส้นตรงยังสามารถใช้เพื่อประมาณหรือคาดการณ์ค่าของตัวแปรตามภายใต้สถานการณ์อนาคต ซึ่งทำได้โดยการประมาณค่าของตัวแปรต้นในอนาคต โดยรูปแบบของแบบจำลองแสดงในสมการที่ (1)

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_n X_n + \varepsilon \qquad (1)$$

เมื่อ Y = ตัวแปรตาม

Y_i = ตัวแปรต้น โดยที่ i = 1, 2, ... , n

β_i = ค่าสัมประสิทธิ์ โดยที่ i = 1, 2, ... , n

ε = ค่าความคลาดเคลื่อน

ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองสามารถหาค่าโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) เป็นกระบวนการทดลองสุ่มเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าผลต่างกำลังสองน้อยที่สุดระหว่างค่าจากแบบจำลอง (Y_i) และค่าจากข้อมูลจริง ($\hat{Y}_i$) ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$Minimize \sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \hat{Y}_i\right)^2 = Minimize \sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \beta_1 X_i - \ldots - \beta_n X_n\right)^2 \qquad (2)$$

โดยมีสมมุติฐานดังนี้

1) ในแต่ละค่าความคลาดเคลื่อน (ε_i) มีค่าเป็น 0

2) $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_1$ เป็นอิสระจากกัน

3) ε สำหรับการกำหนดตัวแปรต้น (X) ให้เป็นการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) ด้วย ค่าเฉลี่ย 0 และ ความแปรปรวน

2. แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบลอการิทึม

แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบลอการิทึม (Multiple log-linear regression analysis models) เป็นแบบจำลองการวิเคราะห์อย่างง่ายโดยมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent variable) และ ตัวแปรต้น (Independent variable) ในรูปแบบของลอการิทึมธรรมชาติ (Natural logarithms) ซึ่งการประมาณค่าสัมประสิทธิ์แสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นของตัวแปรตามที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรต้น โดยรูปแบบของแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบลอการิทึม ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$\ln(Y) = \beta_1 \ln(X_1) + \beta_2 \ln(X_2) + \ldots + \beta_n \ln(X_n) + \varepsilon \quad (3)$$

เมื่อ Y = ตัวแปรตาม

X_i = ตัวแปรต้น โดยที่ i = 1, 2, ... , n

β_i = ค่าสัมประสิทธิ์ โดยที่ i = 1, 2, ... , n

ε = ค่าความคลาดเคลื่อน

ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบลอการิทึม สามารถหาค่าโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) เช่นเดียวกับแบบจำลองเส้นตรง

3. การทดสอบแบบจำลอง

การวิจัยนี้ได้ทดสอบระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรในแบบจำลองจากค่า Coefficient of determination (R^2) และมีการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ไม่เท่ากับศูนย์ (T - test) ที่ช่วงความเชื่อมั่น (Level of confident) 95 % โดยค่า T-Statistic หาได้จากสมการที่ (4)

$$\text{สำหรับ } \beta_i : \mathrm{T} = \frac{\hat{\beta}_i}{\frac{s_\varepsilon}{\sqrt{S_{xx}}}} \quad (4)$$

การทดสอบทางสถิติสำหรับ β_i จะใช้ T-Test ในรูปของ T=Estimate/Standard Error สำหรับ H_0: $\beta_i = 0$, H_a: $\beta_i \neq 0$

นอกจากนี้ในการศึกษายังได้มีการทดสอบสหสัมพันธ์ (Correlation) โดยเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ว่ามีความอิสระต่อการหรือไม่ (ไม่เกี่ยวพัน ไม่ความสอดคล้อง ไม่การแปรผันร่วมกัน) ซึ่งเป็นสิ่งคุณสมบัติที่พึงมีสำหรับตัวแปรต้นที่จะนำมาใช้เพื่อการสร้างแบบจำลอง โดยในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร จะใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) หาได้จากสมการที่ (5) และใช้เกณฑ์ดังตารางที่ 2

$$r_{XY} = \frac{N \cdot \sum(XY) - (\sum X) \cdot (\sum Y)}{\sqrt{\left[N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2\right] \cdot \left[N \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2\right]}} \quad (5)$$

เมื่อ r_{XY} = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

ΣX = ผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1 (X)

ΣY = ผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2 (Y)

$\Sigma(XY)$ = ผลรวมของผลคูณระหว่างข้อมูลตัวแปรที่ 1 และ 2

ΣX^2 = ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1

ΣY^2 = ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2

N = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 2 เกณฑ์พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ค่า r	ระดับของความสัมพันธ์
0.90 - 1.00	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
0.70 - 0.90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
0.50 - 0.70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
0.30 - 0.50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
0.00 - 0.30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

(Hinkle, D. E., William, W. & Stephen G. J., 1998)

4. ผลการวิจัย

การวิจัยนี้แบ่งผลการวิจัยออกเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย 1) ผลการวิเคราะห์เบื้องต้น 2) ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยพหุคูณแบบเส้นตรง 3) ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยพหุคูณแบบลอการิทึม และ 4) ผลการคาดการณ์การใช้พลังงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์เบื้องต้น

ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญกับการใช้พลังงานประกอบด้วย จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด จำนวนประชากร รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน รถบรรทุก และ ลักษณะภูมิประเทศ โดยผลการทดสอบสหสัมพันธ์ของปัจจัยแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบสหสัมพันธ์ของปัจจัย

		STA	GPP	POP	SE	TRUCK	TER
STA	Pearson Correlation	1.00	0.23	0.76**	0.19	0.29	-0.18
	Sig. (2-tailed)	.	0.38	0.00	0.43	0.33	0.44
	N	17	17	17	17	17	17
GPP	Pearson Correlation	0.23	1.00	0.89**	0.24	0.26	-0.24
	Sig. (2-tailed)	0.38	.	0.00	0.37	0.35	0.36
	N	17	17	17	17	17	17
POP	Pearson Correlation	0.76**	0.89**	1.00	0.26	0.21	-0.09
	Sig. (2-tailed)	0.00	0.00	.	0.35	0.40	0.73
	N	17	17	17	17	17	17
SE	Pearson Correlation	0.19	0.24	0.26	1.00	0.17	0.12
	Sig. (2-tailed)	0.43	0.37	0.35	.	0.46	0.64
	N	17	17	17	17	17	17
TRUCK	Pearson Correlation	0.29	0.26	0.21	0.17	1.00	-0.13
	Sig. (2-tailed)	0.33	0.35	0.40	0.46	.	0.55
	N	17	17	17	17	17	17
TER	Pearson Correlation	-0.18	-0.24	-0.09	0.12	-0.13	1.00
	Sig. (2-tailed)	0.44	0.36	0.73	0.64	0.55	.

หมายเหตุ: ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

เครื่องหมาย บวก (+) หมายถึง มีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน

เครื่องหมาย ลบ (-) หมายถึง มีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม

STA หมายถึง จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน

POP หมายถึง จำนวนประชากร

SE หมายถึง รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง

TRUCK หมายถึง รถบรรทุก

TER หมายถึง ลักษณะภูมิประเทศ

จากตารางผลการทดสอบสหสัมพันธ์ของปัจจัย พบว่า ตัวแปรส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก ยกเว้น จำนวนประชากร ที่มีความสัมพันธ์กันในระดับสูงกับ จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน และผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด ดังนั้นในการวิเคราะห์แบบจำลองจึงควรเลือกใช้ปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้วิเคราะห์สถิติพรรณนา (Descriptive statistics) ประกอบด้วย ค่าต่ำสุด (Min) ค่าสูงสุด (Max) ค่าเฉลี่ย (Mean) และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: SD) ของปัจจัย โดยผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนา

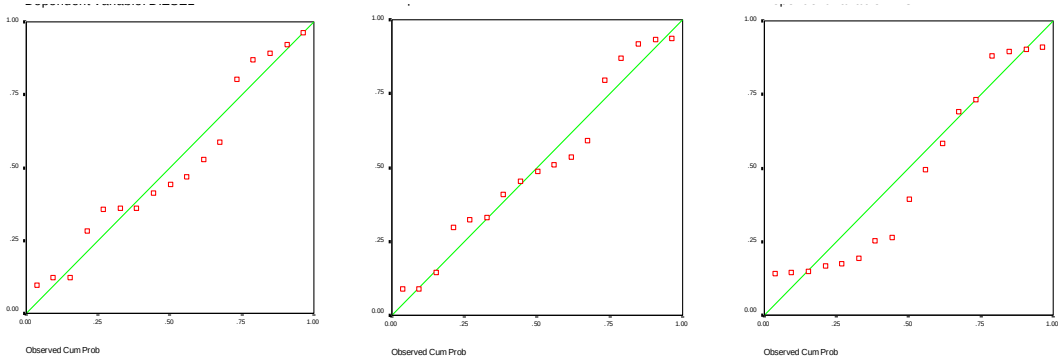
ปัจจัย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน (สถานี)	27	745	390	185
ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (ล้านบาท)	13,190	233,503	84,714	43,488
จำนวนประชากร (คน)	254,322	1,719,438	717,575	355,212
รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง (คัน)	2,691	321,834	63,046	52,990
รถบรรทุก (คัน)	779	22,894	9,473	5,115
ลักษณะภูมิประเทศ (0=พื้นที่ราบ 1= พื้นที่ภูเขา)	0	1	0.59	0.49

หมายเหตุ: ปีฐาน พ.ศ. 2561 (ข้อมูลจากการเก็บรวบรวมข้อมูล)

4.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยพหุคูณแบบเส้นตรง

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยพหุคูณแบบเส้นตรง พบว่า ปัจจัยที่มีผลกับการใช้พลังงานดีเซล คือ ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน และ รถบรรทุก ส่วนปัจจัยที่มีผลกับพลังงานเบนซิน คือ จำนวนประชากร รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง และลักษณะภูมิประเทศ และปัจจัยที่มีผลกับพลังงานแอลพีจี คือ จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง และ ลักษณะภูมิประเทศ โดยผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 5 และการตรวจสอบข้อสมมุติฐานของการวิเคราะห์โดยกราฟ Normal P-P plot of regression

standardized residual ของแต่ละพลังงาน พบว่า ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าเข้าใกล้การแจกแจงปกติ ดังแสดงในภาพที่ 3



ดีเซล เบนซิน แอลพีจี

ภาพที่ 3 กราฟ P-P Plot of Regression Standardized Residual (แบบจำลองเส้นตรง)

4.3 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยพหุคูณแบบลอการิทึม

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยพหุคูณแบบลอการิทึม พบว่า ปัจจัยที่มีผลกับการใช้พลังงานดีเซล คือ ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด และ รถบรรทุก ส่วนปัจจัยที่มีผลกับพลังงานเบนซิน คือ จำนวนประชากร และ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง และปัจจัยที่มีผลกับพลังงานแอลพีจี คือ จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน และ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง โดยผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 6 และการตรวจสอบข้อสมมุติฐานของการวิเคราะห์โดยกราฟ Normal P-P plot of regression standardized residual ของแต่ละพลังงาน พบว่า ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าเข้าใกล้การแจกแจงปกติ ดังแสดงในภาพที่ 4

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกับการใช้พลังงาน (แบบจำลองลอการิทึม)

พลังงาน	ผลการวิเคราะห์		
	สมการ	R^2	T-Statistic
ดีเซล	$\ln(Y_1) = 0.768 \ln(X_1) + 0.292 \ln(X_5)$	0.999	2.695, 2.025
เบนซิน	$\ln(Y_2) = 0.423 \ln(X_2) + 0.466 \ln(X_4)$	0.999	6.547, 5.610
แอลพีจี	$\ln(Y_3) = 0.294 \ln(X_3) + 0.899 \ln(X_4)$	0.997	2.365, 21.125

โดยที่ Y_1 = การใช้พลังงานดีเซล (1,000 ลิตร)

Y_2 = การใช้พลังงานเบนซิน (1,000 ลิตร)

Y_3 = การใช้พลังงานแอลพีจี (1,000 ลิตร)

X_1 = ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (ล้านบาท)

X_2 = จำนวนประชากร (คน)

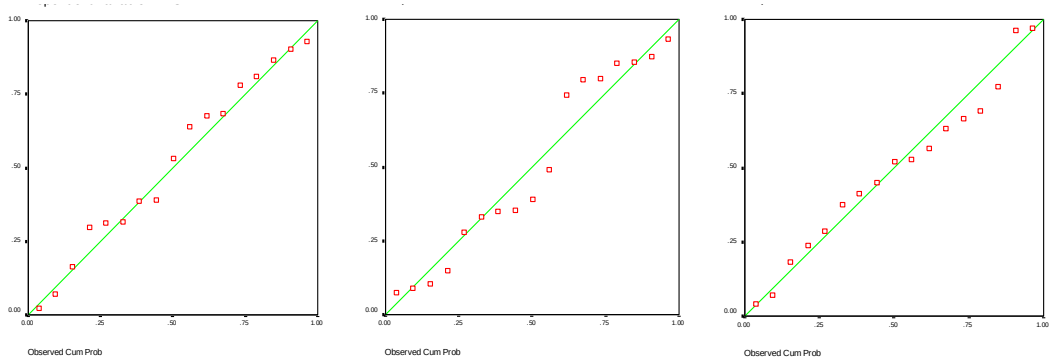
X_3 = จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน (สถานี)

X_4 = รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง (คัน)

X_5 = รถบรรทุก (คัน)

T – Statistic = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % 2-tails > $|t_{0.025}|$ (1.96)

$\ln(X) = \log_e(X)$, โดยที่ e=2.718



ดีเซล เบนซิน แอลพีจี

ภาพที่ 4 กราฟ P-P Plot of Regression Standardized Residual (แบบจำลองลอการิทึม)

4.4 ผลการคาดการณ์การใช้พลังงาน

ผู้วิจัยได้นำปริมาณการใช้พลังงานในการขนส่งในภาคเหนือที่ได้จากแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบเส้นตรง และ แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบลอการิทึม มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง ปี พ.ศ. 2561 ซึ่งผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ความแตกต่างของปริมาณการใช้พลังงานในการขนส่งในภาคเหนือ

พลังงาน	ข้อมูล ปี พ.ศ. 2561 (1,000 ลิตร)	แบบจำลองเส้นตรง		แบบจำลองลอการิทึม	
		พลังงาน (1,000 ลิตร)	ความแตกต่าง (%)	พลังงาน (1,000 ลิตร)	ความแตกต่าง (%)
ดีเซล	2,472,260	2,417,376	2.22	2,551,125	3.19
เบนซิน	930,808	917,125	1.47	877,565	5.72
แอลพีจี	633,644	646,254	1.99	672,296	6.10

จากตารางที่ 7 พบว่า แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบเส้นตรงให้ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกว่าแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบลอการิทึม ดังนั้นในการคาดการณ์ปริมาณการใช้พลังงานในการขนส่งในภาคเหนือสำหรับปีอนาคต จึงใช้แบบจำลองเส้นตรง มีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปี (Growth rate) ของปัจจัย (ตัวแปรต้น) เป็นไปตามตารางที่ 8 โดยจะคาดการณ์ทุกๆ 5 ปี นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 ไปจนถึง 20 ปี หรือ พ.ศ. 2581 ซึ่งผลการคาดการณ์แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 8 อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปี (Growth Rate) ของปัจจัย

ปัจจัย	อัตราการเพิ่มขึ้น (%)
ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด	8.24
จำนวนประชากร	1.04
จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน	4.39
รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง	10.14
รถบรรทุก	1.64

(วิเคราะห์จากข้อมูลย้อนหลัง 10 ปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2561)

ตารางที่ 9 ผลการคาดการณ์การใช้พลังงานในการขนส่งในภาคเหนือ

พลังงาน	การใช้พลังงานในการขนส่งในภาคเหนือ (1,000 ลิตร)				
	พ.ศ. 2561**	พ.ศ. 2566	พ.ศ. 2571	พ.ศ. 2576	พ.ศ. 2581
ดีเซล	2,472,260	3,103,429	3,986,646	5,199,558	6,562,049
เบนซิน	930,808	1,325,268	1,962,657	2,986,047	4,191,713
แอลพีจี	633,644	874,864	1,233,125	1,781,525	2,418,953

หมายเหตุ: ** ปีฐาน พ.ศ. 2561 (ข้อมูลจากการเก็บรวบรวมข้อมูล

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการพัฒนาแบบจำลองความต้องการการใช้พลังงานทั้ง 2 แบบจำลอง พบว่า ปัจจัยที่มีผลกับการใช้พลังงานในการขนส่งของทั้ง 2 แบบจำลองไม่แตกต่างกันมากนัก กล่าวคือปัจจัยที่ได้จากแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบลอการิทึมจะเป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยที่ได้จากแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบเส้นตรง โดยแบบจำลองแบบเส้นตรง ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานดีเซล ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน และ รถบรรทุก ส่วนปัจจัยจำนวนประชากร รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง และลักษณะภูมิประเทศ มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานเบนซิน และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานแอลพีจี คือ จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง และ ลักษณะภูมิประเทศ ส่วนแบบจำลองลอการิทึม ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานดีเซล ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด และ รถบรรทุก ส่วนปัจจัยจำนวนประชากร และ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานเบนซิน และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานแอลพีจี คือ จำนวนสถานีจำหน่ายพลังงาน และ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง ซึ่งแบบจำลองแบบเส้นตรงสามารถคาดการณ์การใช้พลังงานในภาคการขนส่งในภาคเหนือของประเทศไทยได้ใกล้เคียงกว่าแบบจำลองแบบลอการิทึม

การคาดการณ์การใช้พลังงานในภาคการขนส่งในภาคเหนือของประเทศไทยโดยแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบเส้นตรงในอีก 20 ปีข้างหน้า (พ.ศ. 2581) พบว่า มีการใช้พลังงานดีเซล เบนซิน และ แอลพีจี ประมาณ 6,562,049 พันลิตร 4,191,713 พันลิตร และ 2,418,953 พันลิตร ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างมากจากปี พ.ศ. 2561 ที่มีการใช้พลังงานเพียง 2,472,260 พันลิตร 930,808 พันลิตร และ 633,644 พันลิตร ตามลำดับ หรือคิดเป็น 2.65 4.50 และ 3.82 เท่า ตามลำดับ ดังนั้นหากภาครัฐต้องการจะควบคุมการใช้พลังงานในภาคการขนส่ง ควรจะให้ความสำคัญกับปัจจัยที่เกี่ยวกับจำนวนยานพาหนะเป็นหลัก ได้แก่ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง และ รถบรรทุก

เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ภาครัฐสามารถควบคุมได้ง่ายกว่าปัจจัยอื่นๆ โดยการส่งเสริมให้มีการใช้ระบบขนส่งสาธารณะให้มากยิ่งขึ้น อาทิเช่น ระบบการขนส่งทางราง เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้การใช้จำนวนยานพาหนะในการขนส่งลดลง และส่งผลให้มีการใช้พลังงานลดลงด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิชาเอกเทคโนโลยีก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนด้วยดีเสมอมา ตลอดจนข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อการทำการศึกษาในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

Ceylan, H., Ceylan, H., Haldenbilen, S., & Baskan, O. (2008). Transport energy modeling with meta-heuristic harmony search algorithm, an application to Turkey. **Energy Policy**, 36, 2527 – 2535.

Energy Policy and Planning Office. (2015). **Journal of energy policy No. 109**. Ministry of Energy. (in Thai)

Energy Policy and Planning Office. (2016). **Oil management plan 2015-2036**. Ministry of Energy. (in Thai)

Energy Policy and Planning Office. (2017). **Strategic plan of office of energy policy and planning 2017-2021**. Ministry of Energy. (in Thai)

Haldenbilen, S., & Ceylan, H. (2005). Genetic algorithm approach to estimate transport energy demand in Turkey. **Energy Policy**, 33, 89 – 98.

Hinkle, D. E., William, W., & Stephen G. J. (1998). **Applied statistics for the behavior sciences** (4th ed). New York: Houghton Mifflin, 118.

Limanond, T., Jomnonkwao, S., & Srikaew, A. (2011). The projection of future transport energy demand of Thailand. **Energy Policy**, 39, 2754 – 2763.

Neter, J., Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J., & Wasserman, W. (1996). **Applied Linear 40 Statistical Models (4th Ed.)**. IL: IRWIN, Chicago.

Zhang, M., Mu, H., Li, G., & Ning, Y. (2009). Forecasting the transport energy demand based on PLSR method in China. **Energy Policy**, 34, 1396 – 1400.

Zong, W.G. (2011). Transport energy demand modeling of South Korea using artificial Neural network. **Energy Policy**, 39, 4644 – 4650.

ผลกระทบของความละเอียดของผงฝุ่นหินปูนต่อการกำลังอัดประลัยของมอร์ต้าร์ในระยะต้น

EFFECT OF FINENESS OF LIMESTONE POWDER ON COMPRESSIVE STRENGTH IN FIRST STATE

สุรเชษฐ์ วรรณา[1*], วรางคณา แสงสร้อย[2] และ สมนึก ตั้งเติมสิริกุล[3]

Surachet Wanna[1*] Warangkana Saengsoy[2] and Somnuk Tangtermsirikul[2]

[1]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

[2]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

อ. คลองหลวง จ.ปทุมธานี ประเทศไทย 12120

[1]Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Ratjabhat University, Maeung, Phitsanulok, Thailand 65000

[2]School of Civil Engineering and Technology, Sirindhorn International Institute of Technology,

Thammasat University, Klong Luang, Pathumthani, Thailand, 12120

*Corresponding author E-mail: w.surachet24@psru.ac.th

วันที่เข้าระบบ 22 มกราคม 2562
วันที่แก้ไขบทความ 22 กุมภาพันธ์ 2562
วันที่ตอบรับบทความ 19 เมษายน 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของความละเอียดและร้อยละของผงฝุ่นหินปูนในการแทนที่ในปูนซีเมนต์ต่อการพัฒนาการรับกำลังอัดประลัยในช่วงต้นของคอนกรีต โดยใช้มอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.45 และอัตราส่วนวัสดุประสานต่อทราย 1:2.75เป็นตัวทดสอบในการวิจัยและมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงฝุ่นหินปูนที่มีค่าความละเอียด 5 ไมครอนและ 8 ไมครอน ในสัดส่วนร้อยละ 5 และ 10 การหล่อตัวอย่างมอร์ต้าร์เพื่อทดสอบการรับกำลังอัดประลัยเป็นตามมาตรฐาน ASTM C 618 จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าความละเอียดและร้อยละการแทนที่ในปูนซีเมนต์มีผลต่อค่าการพัฒนากำลังประลัยของมอร์ต้าร์ โดยค่ากำลังอัดประลัยของมอร์ต้าร์ที่มีการแทนที่ด้วยผงฝุ่นหินปูนขนาด 5 ไมครอน ร้อยละ 10 (M95LP5-10) ที่อายุบ่ม 3 วัน 7 วันและ 28 วัน มีค่าสูงที่สุดคือ 46 MPa, 59 MPa และ 65 MPa

คำสำคัญ: ผงฝุ่นหินปูน, มอร์ต้าร์, การพัฒนากำลังอัดประลัย

Abstract

This research aims to study the effect of fineness and percentage of limestone powder for cement replacement on the development of compressive strength in the first state of the concrete. Mortars cast at water to binder ratio (w/b 0.45) and at binder to sand ratio 1:2.75 were tested in this research. The cement was replaced with the limestone powders whose fineness were 5 microns and 8 microns in the proportion of 5% and 10%. Casting of the mortar samples to perform compressive strength testing was conformed to the standard test of the American Society for Testing and Materials (ASTM) C 168. The test result revealed that the fineness and the percentage of cement replacement affected the development of compressive strength of mortars. The result found that M95LP5-10 showed its highest compressive strength, 46 MPa, 59 MPa and 65 MPa at 3 days, 7 days and 28 days, respectively.

Keywords: Limestone powder, Mortar, Compressive strength

1. บทนำ

ปัจจุบันได้มีการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตในด้านต่าง ๆ เช่นการพัฒนากำลังอัดในระยะยาว, ความทนทานของคอนกรีตในสภาพวะแวดล้อมที่เป็นกรด, ความทนทานของคอนกรีตในต่อซัลเฟต, น้ำทะเล และสารเคมีต่าง ๆ ด้วยการนำวัสดุปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย (Pulverized fuel ash ; PFA), ตะกรันเหล็ก (Ground granular blast furnace slag ; GGBS), ผงฝุ่นซิลิกา (Microsilica ; MS หรือ Silica fume ; SF), เถ้าแกลบ (Rice husk ash ; RHA) มาแทนที่บางส่วนในปูนซีเมนต์ การที่วัสดุปอซโซลานช่วยให้คอนกรีตมีคุณสมบัติดีขึ้นนั้นเพราะมีซิลิก้าไดออกไซด์ (SiO_2) ที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุปอซโซลานสามารถทำปฏิกิริยา (Reactive) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CH) จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคอนกรีต เกิดเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ที่มีความแข็งแรงมากขึ้นอีกทั้งยังสามารถลดการเยิ้ม (Bleeding) และแนวโน้มการแยกตัวของคอนกรีตลดลงได้ ที่สำคัญการใช้วัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีตจะช่วยลดมลภาวะโลกร้อนได้อีกด้วยแต่อย่างไรก็ดีการใช้วัสดุปอซโซลานยังมีข้อด้อยคือ การพัฒนากำลังอัดประลัยในช่วงต้น (28 วันแรก) ของคอนกรีตจะมีการพัฒนาที่ช้ากว่าคอนกรีตทั่วไปเนื่องจากปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CH) ที่ลดลงเนื่องจากการมีการลดลงของปริมาณของปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต (Aydın *et al.*, 2007 และ Cyr *et al.*, 2013).

ปัจจุบันได้มีการลดปัญหาดังกล่าวด้วยการใช้ผงฝุ่นหินปูนเพิ่มในส่วนผสมคอนกรีต ซึ่งการใช้ผงฝุ่นหินปูนในงานคอนกรีตนี้จะช่วยให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังในช่วงต้นได้ดีขึ้นเนื่องจากอนุภาคที่

ขนาดเล็กของผงฝุ่นหินปูนนี้เองจะช่วยให้ปูนซีเมนต์สามารถกระจายตัวได้ดีขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นสมบูรณ์ยิ่งขึ้นแต่ปริมาณและความละเอียดของผงฝุ่นหินปูนที่ใช้ในส่วนผสมคอนกรีตควรจะได้รับการศึกษาเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นสมบูรณ์มากขึ้นที่สุด (Kaewmanee and Tangtermsirikul, 2014).

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาปริมาณการแทนที่ในปูนซีเมนต์และความละเอียดของผงฝุ่นหินปูนที่ส่งผลให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังได้มากที่สุดในช่วงต้น

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

(1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐานมาตรฐาน มอก. 15 หรือ ASTM C150

(2) ผงหินปูนที่ใช้ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สุรินทร์ ออมย่า จำกัด โดยขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ใช้ คือ 5 ไมครอน และ 8 ไมครอน

(3) ทราย เป็นทรายหยาบแม่น้ำที่มีอยู่ในจังหวัดพิษณุโลกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-4 มิลลิเมตร โดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 มีค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย 2.58

(4) น้ำ ที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำประปาที่มีความสะอาดคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของวัสดุที่ใช้สามารถแสดงดังตารางที่ 1

2.2 วิธีการทดลอง

(1) ออกแบบส่วนผสมมอร์ต้าร์โดยใช้ส่วนผสมวัสดุประสานต่อทราย เท่ากับ 1:2.75 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 โดยมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงฝุ่นหินปูนร้อยละ 5 กับร้อยละ 10

(2) ทำการหล่อก้อนตัวอย่างมอร์ต้าร์ส่วนผสมละ 9 ก้อน ตามมาตรฐาน ASTM C618 เพื่อทดสอบการรับกำลัง

(3) ก้อนตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่ทำการอัดและขึ้นรูปแล้วจะทำการบ่มในน้ำสะอาดเป็นเวลา 28 วัน

(4) ทำการทดสอบคุณสมบัติการรับการรับกำลังอัดประลัยของก้อนตัวอย่างมอร์ต้าร์ ที่อายุ 3วัน, 7 วันและ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C618

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของวัสดุประสาน

องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (C)	ผงฝุ่นหินปูน (LP)
SiO_2	19.7	0.40
Al_2O_3	5.19	0.06
Fe_2O_3	3.34	0.03
CaO	64.8	55.25
MgO	1.2	0.37
Na_2O	0.16	0.01
K_2O	0.44	0.01
SO_3	2.54	0.01
Free lime	0.87	-
LOI	2.1	43.79
ค่าความถ่วงจำเพาะ	3.15	2.70
ค่าความละเอียด (cm^2/g)	3,550	7,500
ขนาดของอนุภาค (ไมครอน)	18	5 และ 8

2.3 ส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองครั้งนี้จะใช้ส่วนผสมทั้งหมด 4 สัดส่วนผสมซึ่งสามารถแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง

สัดส่วนที่	ชื่อ	อัตราส่วนน้ำ/วัสดุประสาน (w/b)	ประเภทของปูนซีเมนต์	วัสดุประสาน (โดยน้ำหนัก)			
				ปูนซีเมนต์น้ำปูน	ผงฝุ่น	หิน	ทราย
1	M100	0.45	1	1.00	-	0.45	2.75
2	M95LP5-5	0.45	1	0.95	0.05	0.45	2.75
3	M95LP5-10	0.45	1	0.90	0.10	0.45	2.75
4	M90LP8-5	0.45	1	0.95	0.05	0.45	2.75
5	M90LP8-10	0.45	1	0.90	0.10	0.45	

หมายเหตุ: M100 หมายถึง มอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ล้วน

M95LP5-5 หมายถึง มอร์ต้าร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงฝุ่นหินปูนขนาด 5 ไมครอน จำนวนร้อยละ 10

M95LP5-10 หมายถึง มอร์ต้าร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงฝุ่นหินปูนขนาด 5 ไมครอน จำนวนร้อยละ 5
M90LP5-5 หมายถึง มอร์ต้าร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงฝุ่นหินปูนขนาด 8 ไมครอน จำนวนร้อยละ 5
M90LP5-10 หมายถึง มอร์ต้าร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงฝุ่นหินปูนขนาด 8 ไมครอน จำนวนร้อยละ10

3. การทดสอบ

การศึกษาหาผลกระทบของความละเอียดของผงฝุ่นหินปูนต่อการกำลังอัดประลัยของมอร์ต้าร์ในระยะต้นในครั้งนี้นั้นได้ทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน AASTM C 618 ซึ่งจะทำการทดสอบ 3 ก้อนตัวอย่าง/ส่วนผสมเพื่อหาค่าเฉลี่ย การทดสอบการรับกำลังอัด (Compressive strength) หล่อตัวอย่างมอร์ต้าร์ ขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร ที่ส่วนผสมต่าง ๆ จำนวนส่วนผสมละ 3 ก้อนตัวอย่าง หลังจากทำการบ่มในน้ำประปาที่สะอาดเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จึงทำการทดสอบการรับน้ำหนักของก้อนตัวอย่างโดยค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากก้อนตัวอย่าง 3 ก้อนตัวอย่าง

4. การอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าแกลบบดแสดงในตารางที่ 1 โดยวิธี X-ray fluorescence (XRF) พบว่าผงฝุ่นหินปูนมีองค์ประกอบหลักคือ CaO ปริมาณร้อยละ 55.25 ซึ่งมีปริมาณมที่ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ผลการทดสอบการรับกำลังอัดประลัยของมอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของผงฝุ่นหินปูน มีค่าดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลค่ากำลังอัดประลัยของมอร์ต้าร์ที่อายุ 3 วัน, 7 วันและ 28 วัน

ส่วนผสม Mix proportion	ร้อยละการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (LP/C ratio)	กำลังอัดประลัย(เมกะปาสคาล) โดยเฉลี่ย 3 ก้อน		
		3 วัน	7 วัน	28 วัน
M100	-	39	43	57
M95LP5-5	5	44	48	64
M95LP5-10	5	46	59	65
M90LP8-5	10	41	44	56
M90LP8-10	10	40	45	57

จากตารางที่ 3 พบว่าค่ากำลังอัดประลัยของมอร์ต้าร์ที่มีการแทนที่ด้วยผงฝุ่นหินปูนขนาด 5 ไมครอนร้อยละ 10 (M95LP5-10) ที่อายุบ่ม 3 วัน, 7 วันและ 28 วันมีค่าสูงที่สุดคือ 46 MPa, 59 MPa

และ 65 MPaรองลงมาคือ M95LP5-5 มีค่ากำลังอัดประลัยที่ 44 MPa, 48 MPaและ 64 MPa ที่อายุบ่ม 3วัน,7 วันและ 90 วัน ส่วน M90LP8-5 และ M90LP8-10 มีค่ากำลังอัดประลัยที่ 41,40 MPa, 44, 45 MPa และ 56, 57 MPa, ที่อายุบ่ม 3วัน, 7 วัน และ 90 วันตามลำดับ ส่วน M100 มีค่ากำลังอัดประลัยต่ำที่สุดคือ 39 MPa, 43 MPa และ 57 MPa อายุบ่ม 3วัน, 7 วัน และ 90 วัน

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าความละเอียดและร้อยละการแทนที่ในปูนซีเมนต์มีผลต่อค่าการพัฒนากำลังประลัยของมอร์ต้าร์โดยที่ผงฝุ่นหินปูนขนาดอนุภาค 5 ไมครอนจะส่วนทำให้เม็ดปูนซีเมนต์มีการกระจายตัวได้ดีกว่าผงฝุ่นหินปูนขนาดอนุภาค 8 ไมครอน ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดได้สมบูรณ์มากกว่าส่งผลให้มีการพัฒนากำลังอัดได้มากกว่าที่อายุของมอร์ต้าร์ที่ 3 วัน, 7 วัน และ 28 วัน ส่วนร้อยละการแทนที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเช่นกันเนื่องจากการแทนที่ผงฝุ่นหินปูนร้อยละ 5 ยังไม่ทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้สมบูรณ์มากนักเนื่องจากยังเป็นปริมาณที่น้อยไป

5. สรุป

5.1 ผงหินปูน (LP) สามารถพัฒนากำลังอัดประลัยต้นของมอร์ต้าร์ได้เนื่องจากทำให้ปฏิกิริยาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

5.2 ค่าความละเอียดและร้อยละการแทนที่ของผงฝุ่นหินปูนมีอิทธิพลต่อการพัฒนากำลังอัดประลัยของมอร์ต้าร์อย่างมีนัยสำคัญ

6. เอกสารอ้างอิง

Aydın, S., Yazıcı, H., Yiğiter, H., & Baradan, B. (2007). Sulfuric acid resistance of high-volume fly ash concrete. **Building and Environment**, 42(2), 717-721.

Cyr, M. (2013). Influence of supplementary cementitious materials (SCMs) on concrete durability. **In Eco-efficient concrete**, 153-197.

Kaewmanee, K., & Tangtermsirikul, S. (2014). Properties of binder systems containing cement, fly ash and limestone powder. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, 36(5), 569-576.

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย

THE DEVELOPMENT OF NONGTOOM SUB-DISTRIIC BANANA PACKAGING, KONGKRAIRART DISTRICT, SUKHOTHAI

ปรารถนา ศิริสานต์[1*], ณิชกานต์ จูนก[1], เทียนชัย ชื่นบางบ้า[1] และ พรญาณี เขียวบ้านยาง[1]

Prattana Sirisan[1*], Nidchakan Junok[1], Thianchai ChueBangba[1], and Pornyanee Keawbanyang[1]

[1]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

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

*Corresponding author E-mail: s_prattana@hotmail.com

วันที่เข้าระบบ 4 กุมภาพันธ์ 2562
วันที่แก้ไขบทความ 11 มีนาคม 2562
วันที่ตอบรับบทความ 19 เมษายน 2562

บทคัดย่อ

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อการศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป 2) เพื่อพัฒนาแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภคในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป วิธีวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนแรก คือการสืบค้นและรวบรวมข้อมูลจากแหล่งชุมชน เพื่อทราบปัญหาและความต้องการ โดยการสัมภาษณ์จากนั้นกำหนดแนวคิดในการทำแบบร่างบรรจุภัณฑ์และดำเนินการออกแบบ โดยใช้แนวคิดจากการตัดทอนจากรูปทรงของกล้วยโดยผลิตภัณฑ์มี 4 ประเภท คือกล้วยอบเนย กล้วยปาปริก้า กล้วยม้วน กล้วยเบรกแตก เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ขายดีที่สุด ดังนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการออกแบบโดยใช้แนวคิดจากการใช้ส่วนต่างๆ ของกล้วยในการออกแบบและทำการสร้างแบบประเมินผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบจำนวน 3 ท่าน ทำการประเมินเพื่อให้ได้แนวทางและรูปแบบในการพัฒนาต้นแบบบรรจุภัณฑ์ เพื่อประเมินความพึงพอใจของการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป คือ รูปแบบที่ใช้ลายเส้นจากใบตองและลูกกล้วยในการจัดองค์ประกอบของตัวบรรจุภัณฑ์ สามารถสร้างเป็นบรรจุภัณฑ์ต้นแบบกล้วยแปรรูปในด้านการป้องกันและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้านการใช้สอย ด้านความสวยงาม และด้านการส่งเสริมการขาย โดยคำนึงถึงตัวผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์เพื่อให้สื่อถึงตัวผลิตภัณฑ์ได้ง่ายและเป็นเอกลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ: การพัฒนาบรรจุภัณฑ์, กล้วยแปรรูป

Abstract

The packaging development for processed banana products in Nongtoom Sub-district, Kongkrairart District, Sukhothai Province aims to 1) study packaging for processed banana products, 2) develop packaging for processed banana products, and 3) evaluate consumers' satisfaction towards the packaging development. In the first step, data research and collection, interviewing is applied to explore the problems and the demand in the community. Then the concept of drafting packaging based on four types of the best-selling banana products; butter banana, paprika banana, banana rolls, and banana chips, is determined and designed. In the design process, the concept of using parts of bananas is applied. The evaluation form conducted by three experts in designing is used to develop the packaging model and to evaluate the consumers' satisfaction towards the packaging. The packaging with the components of banana leaf lines and bananas can be the model of processed banana packaging when it is considered on the aspects of product quality protection and maintenance, usability, beauty, and promotion. Therefore, the packaging should reflect simply about products and be unique to its products.

Keywords: Development the package, Banana product

1. บทนำ

เศรษฐกิจของประเทศไทยในปัจจุบันรายได้ส่วนใหญ่ที่ได้มาจากผลิตภัณฑ์จากเกษตรกร และกลุ่มชุมชนที่จัดตั้งขึ้นภายในหมู่บ้านของแต่ละจังหวัด ซึ่งในอดีตเรามีชุมชนที่เข้มแข็งสามารถดำเนินชีวิตอยู่ได้ด้วย การพึ่งพาอาศัยกันและกัน มีขนบธรรมเนียมที่ดีงามสืบทอดกันมาหลายชั่วอายุคน อันทรงคุณค่าในเอกลักษณ์ ของความเป็นไทยที่เกิดจากภูมิปัญญาของคนในชุมชนท้องถิ่น (นพวรรณ ชีวอารี, 2555)

การออกแบบจึงเป็นตัวแปรสำคัญของการแข่งขันสร้างความแตกต่างระหว่างเป็นความจดจำสัมพันธภาพระหว่างผู้ผลิตกับผู้บริโภค และสินค้าที่ดีจะต้องมีบรรจุภัณฑ์ที่ดี การออกแบบบรรจุภัณฑ์จึงมีบทบาทที่สำคัญยิ่ง ต่อจากผู้ผลิตสินค้า เนื่องจากบรรจุภัณฑ์สามารถทำหน้าที่ส่งเสริมการขาย กระตุ้นยอดขาย ให้เพิ่มขึ้นในเวลาเดียวกันมีโอกาสลดต้นทุนสินค้าอันจะนำไปสู่ยอดกำไรสูง ซึ่งเป็นเป้าหมายการออกแบบบรรจุภัณฑ์จึงเป็นส่วนสำคัญในขั้นตอนการผลิตสินค้าบรรจุภัณฑ์เป็นวัสดุ หรือภาชนะที่ใช้ในการรองรับ บรรจุหรือหีบห่อสิ่งของสำหรับการเก็บการใช้งานการขนส่งการกระจายสินค้าการตลาดการจัดจำหน่าย บรรจุภัณฑ์ทำหน้าที่เป็นสิ่งสำคัญ สินค้าจากแหล่งผลิตไปยังจุดหมาย

บรรจุภัณฑ์ จึงจะเป็นส่วนหนึ่งของวงจรการค้า การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ และพัฒนาบรรจุภัณฑ์จะต้องประเมินความรู้ความเข้าใจทางด้านศิลปะและ เทคโนโลยีต่างๆ เพื่อทำให้บรรจุภัณฑ์มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น (ชัยรัตน์ อัศวางกูร, 2548)

กลุ่มผู้ประกอบการตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย เป็นวิสาหกิจชุมชนโดยทำการผลิตกล้วยแปรรูปเพื่อจำหน่ายและส่งออก ปัจจุบันยังขาดรูปแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อการจัดจำหน่ายที่มีเอกลักษณ์แตกต่างและน่าจดจำ จึงจำเป็นต้องพัฒนารูปแบบที่มีเอกลักษณ์ให้เป็นจุดเด่นเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์และสามารถส่งเสริมการขายปลีก ขายส่งของผู้ประกอบการร้านป้าเย็นเพื่อเป็นการสร้างรายได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อการศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย

2.2 เพื่อพัฒนาแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอ กงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย

2.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภคในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย

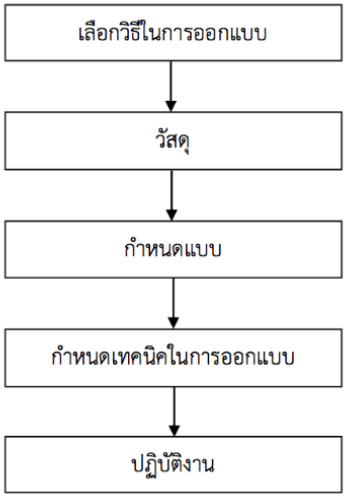
3. นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1 การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ หมายถึง การทำให้เปลี่ยนแปลงไปในทางดีขึ้น เจริญขึ้นที่ใช้ในการบรรจุสินค้า โดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อการคุ้มครอง ปกป้องสินค้าจากผู้ผลิตจนถึงมือลูกค้า อย่างปลอดภัยด้วยต้นทุนการผลิตที่เหมาะสม

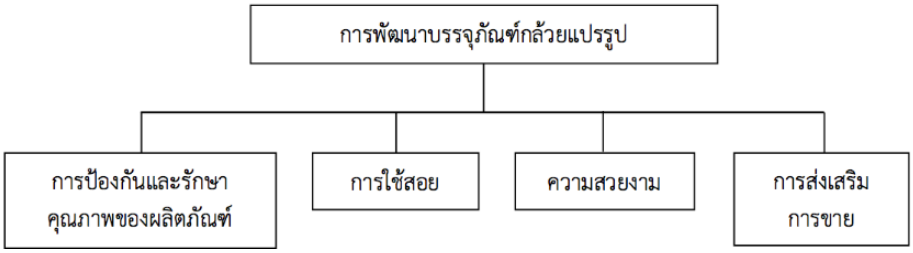
3.2 กล้วยแปรรูป หมายถึง กล้วยที่ผ่านกระบวนการแปรรูป โดยการทอด จำนวน 4 รสชาติ กล้วยอบเนย กล้วยม้วน กล้วยปาปริก้าและกล้วยเบรคแตก

4. กรอบแนวคิดในการวิจัย

4.1 เพื่อการศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย โดยใช้กรอบแนวความคิดของ (สุมารี ทองรุ่งโรจน์, 2555)

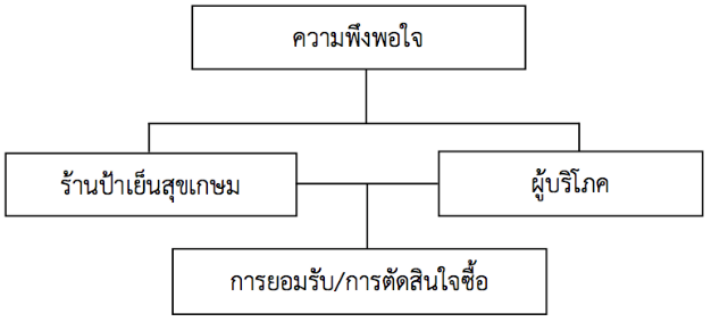


ภาพที่ 1 แสดงกรอบแนวความคิดการศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป เพื่อพัฒนาแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ต.หนองตูม อ.กงไกรลาศ จ.สุโขทัย (คณิณ อ่ำบุญ, 2549)



ภาพที่ 2 แสดงกรอบแนวความคิดในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์

4.2 เพื่อประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภคในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย ใช้กรอบแนวความคิดของสมจิต สุรพัฒน์ (2547)



ภาพที่ 3 แสดงกรอบแนวความคิดความพึงพอใจของผู้บริโภค

5. วิธีการดำเนินการวิจัย

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป เพื่อพัฒนาแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป และเพื่อประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภคในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย

6. ขอบเขตการวิจัย

ประชากร ได้แก่ กลุ่มกล้วยแปรรูป จังหวัดสุโขทัย

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ การสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง กล้วยแปรรูป ตำบล หนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย จำนวน 1 กลุ่ม และกลุ่มผู้ที่สนใจผลิตภัณฑ์ จำนวน 100 คน

ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปรต้น ได้แก่ รูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรภาพที่มีการพัฒนาด้านโครงสร้างและลวดลาย

ตัวแปรตาม ได้แก่ ความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภคในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย

7. ขั้นตอนการดำเนินวิจัย

7.1 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และสอบถามแบบมีส่วนร่วมของกลุ่มผู้ประกอบการและศึกษาค้นคว้า จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูปมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ

7.2 ทำการออกแบบแบบร่างบรรจุภัณฑ์ตามข้อมูลพื้นฐาน

7.3 นำแบบแบบร่างบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูปไปเพื่อประเมิน

7.4 ได้รูปแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อทำแบบสอบถามตามแบบร่างบรรจุภัณฑ์ และไปทำการเก็บรวบรวมข้อมูล

7.5 ประเมิน สรุปรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบ

7.6 นำแบบบรรจุภัณฑ์มาเขียนแบบเพื่อการผลิต

7.7 ทำการสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป

8. การเก็บรวบรวมข้อมูล

8.1 การสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลเพื่อทราบสภาพพื้นฐานโดยทั่วไปของกลุ่มกล้วยแปรรูป

8.2 การสัมภาษณ์เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เป็นไปตามสภาพความจริง

8.3 ศึกษาทฤษฎีเอกสารตำราเป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการออกแบบบรรจุภัณฑ์วัสดุ

และกรรมวิธีการผลิตบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูปสำหรับส่งเสริมการขายกลุ่มกล้วยแปรรูป นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ค้นคว้าจากเอกสารตำราที่เกี่ยวกับการออกแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อ ส่งเสริมการขายโดยมีขั้นตอนในการดำเนินการรวบรวมข้อมูลดังต่อไปนี้

1) ศึกษาทฤษฎีเอกสารตำราเป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการออกแบบบรรจุภัณฑ์และวัสดุของวิธีการผลิตบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูปสำหรับส่งเสริมการขายแก่กลุ่มกล้วยแปรรูป

2) ทำการออกแบบร่างบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูปสำหรับส่งเสริมการขาย ตามข้อมูลพื้นฐานที่ศึกษาข้อมูลเอกสารตำราและการออกแบบที่เกี่ยวข้อง

3) ประเมินผู้เชี่ยวชาญและกลุ่มกล้วยแปรรูป

4) ทำการสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูปเพื่อส่งเสริมการขายแก่กลุ่มกล้วยแปรรูป

9. ผลการวิจัย

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย มีวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ 1) เพื่อการศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป 2) เพื่อพัฒนาแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภค ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป

9.1 ผลการศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย

ร้านป้าเย็นสุขเกษม ผลิตและจาหน่ายโดย ป้าเย็นสุขเกษม สถานที่ตั้ง 2/1 หมู่ 1 ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย ได้รับเกียรติบัตรจากบริษัทสยามพีวาย จำกัด ได้รับการคัดสรรเป็นผลิตภัณฑ์ระดับห้าดาวจาก โครงการคัดสรรสุดยอดหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ไทย ปี พ.ศ. 2559 ได้รับรางวัลการเป็นผู้ประกอบการ SME เกษตรต้นแบบของจังหวัดสุโขทัย สินค้าและผลิตภัณฑ์ทางร้านป้าเย็น มีผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 14 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กล้วยอบเนย กล้วยเบรคแตก กล้วยม้วน กล้วยปาปริก้า กล้วยตาก ขนมผิง มันม่วง ฟักทอง ทองม้วนรสหวาน ทองม้วน กล้วยสมุนไพร คุกกี้สิงคโปร์ กล้วยกวนและทอฟฟี่ถั่ว ได้มีการขายส่งและปลีกในแบรนด์ของป้าเย็น มี การส่งของสินค้าโดยเป็นผลิตภัณฑ์ของป้าเย็นแต่ส่งออกเป็นแบรนด์ของคนอื่น จากความต้องการบรรจุภัณฑ์ ร้านป้าเย็น ทางร้านมีความสนใจที่อยากจะได้บรรจุภัณฑ์และโลโก้แบบใหม่แต่มีปัญหาทางด้านต้นทุนในการผลิต และแนวทางในการบรรจุภัณฑ์แบบใหม่ สินค้าที่ส่งออกมีจานวนดังนี้ 1) ซิปล็อค 100 กรัม 2) กระปุก 80 กรัม 3) กล่อง 50 กรัม ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกมา 4ผลิตภัณฑ์เพราะว่า4ผลิตภัณฑ์นี้เป็นผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมตั้งแต่ก่อตั้งกลุ่มชุมชน วิสาหกิจและร้านป้าเย็นสุขเกษม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมาใช้ในการพัฒนารูปแบบบรรจุภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมมีทั้งหมด 14 ผลิตภัณฑ์ โดยตัวบรรจุภัณฑ์เป็นถุงพลาสติกใส โลโก้เป็นสติ๊ก

เกอร์ติดถุง ไม่มีลายกราฟิก สีที่ใช้ยังไม่สามารถสื่อถึงตัวผลิตภัณฑ์ในเรื่องของการสื่อสาร การบ่งบอกถึงรสชาติและตัวผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 4 ผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิม

9.2 ผลการพัฒนารูปแบบโดยใช้การถอดแบบลวดลายจากกล้วยน้ำว้าและใบตอง เพื่อใช้เป็นแนวคิดในการออกแบบ

ผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมมีทั้งหมด 14 ผลิตภัณฑ์ โดยตัวบรรจุภัณฑ์เป็นถุงพลาสติกใส โลโก้เป็นสติ๊กเกอร์ติดถุง ไม่มีลายกราฟิก สีที่ใช้ยังไม่สามารถสื่อถึงตัวผลิตภัณฑ์ในเรื่องของการสื่อสาร การบ่งบอกถึงรสชาติและตัวผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 5 ผลการถอดแบบจากกล้วยน้ำว้า

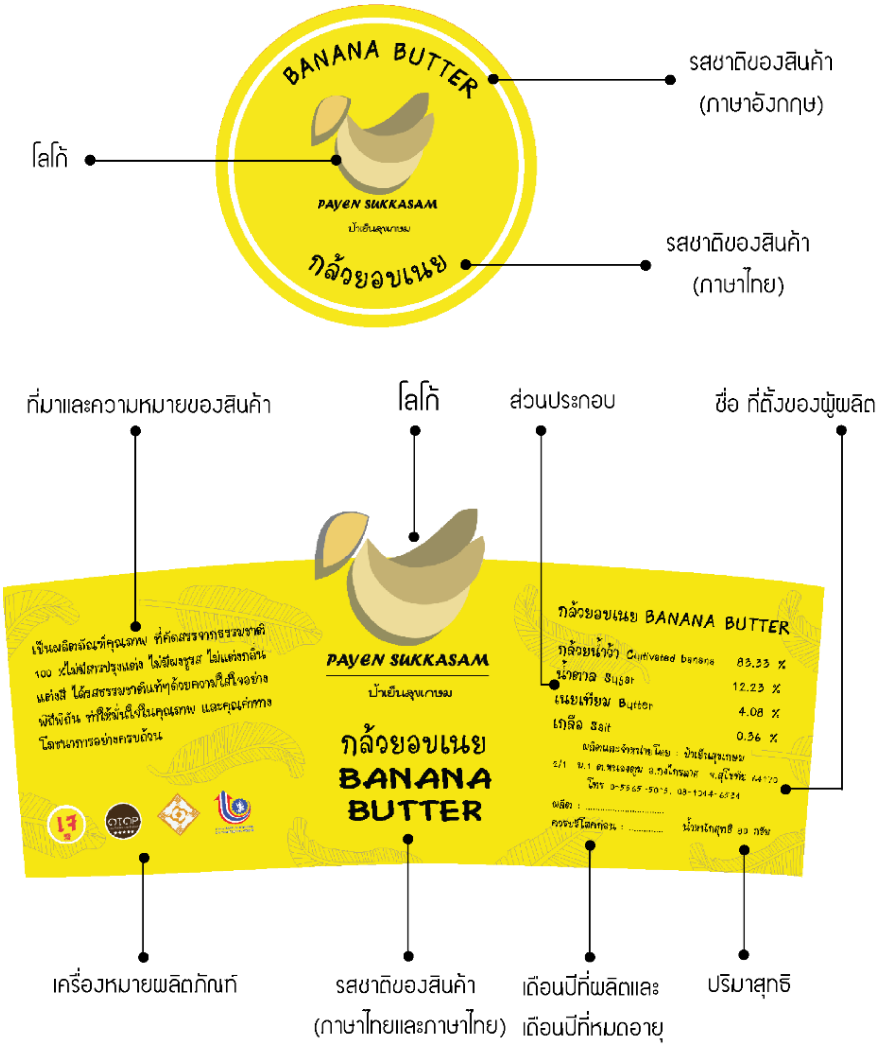
ภาพที่ 6 ผลการถอดแบบจากใบตอง

ผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิดในการออกแบบมาประยุกต์เป็นรูปแบบของโครงสร้างและลวดลายบนบรรจุภัณฑ์ กล้วยแปรรูป ดังนี้

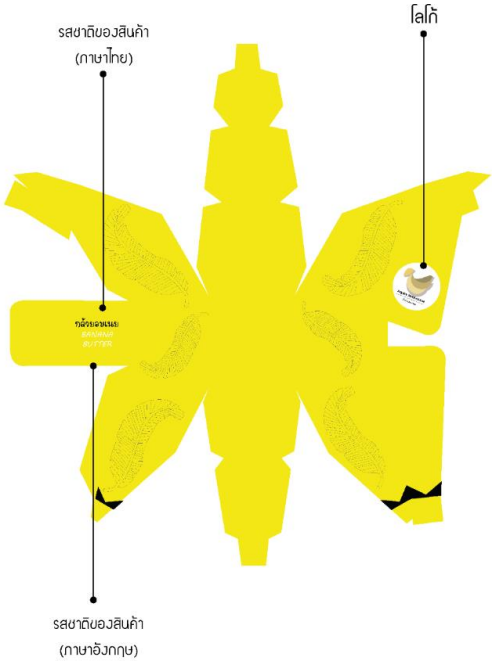
ภาพที่ 7 แสดงการออกแบบตราสัญลักษณ์

ภาพที่ 8 (รูปแบบ A) ประเภทถุงซิปล็อค กล้วยอบเนย

ภาพที่ 9 แสดงฉลากกล้วยแปรรูปรสชาติต่างๆ



ภาพที่ 10 แสดงฉลากกล้วยแปรรูปแบบกระปุก



ภาพที่ 11 แสดงรูปแบบแปลนบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป

ภาพที่ 12 แสดงต้นแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป

ภาพที่ 13 แสดงบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป

9.3 ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภคในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย

ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อรูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูปร้าน ป้าเย็นสุขเกษม สามารถสรุปได้ดังนี้

บรรจุภัณฑ์มีความสวยงาม ($\bar{X}$ = 4.14 S.D. = 0.63) อยู่ในระดับมาก มีความสะดวกในการบริโภค ($\bar{X}$ = 4.04 S.D. = 0.63) อยู่ในระดับมาก รูปแบบบรรจุภัณฑ์มีความทันสมัยและสื่อถึงตัวผลิตภัณฑ์ของกล้วย แต่ละรสชาติ ($\bar{X}$ = 4.02 S.D. = 0.71) อยู่ในระดับมาก ตัวอักษรอ่านได้ชัดเจนและสื่อความหมายได้ดี ($\bar{X}$ = 4.00 S.D = 0.67) อยู่ในระดับมาก บรรจุภัณฑ์ป้องกันความเสียหายต่อตัวผลิตภัณฑ์ ($\bar{X}$ = 3.84 S.D. = 0.65) อยู่ในระดับปานกลาง บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรงทานต่อการขนส่ง ($\bar{X}$ = 3.82 S.D. = 0.71) อยู่ในระดับปานกลาง บรรจุภัณฑ์สามารถดึงดูดความสนใจในการเลือกซื้อ ($\bar{X}$ = 3.78 S.D. = 0.58) อยู่ในระดับปานกลาง

10. สรุปและอภิปรายผล

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ตำบลหนองตูม อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อการศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป 2) เพื่อพัฒนาแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภคในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป

10.1 ผลการศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป

การศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป มีขั้นตอนการดำเนินงานโดยศึกษาจากตำราและสัมภาษณ์ พบว่ามีปัญหาทางด้านบรรจุภัณฑ์และการขนส่งจึงเป็นแนวทางใน การออกแบบบรรจุภัณฑ์ เพื่อส่งเสริมการขายและเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์

10.2 ผลการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพของการออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับกล้วยแปรรูป โดยใช้แนวคิดการออกแบบโดยใช้ส่วนต่างๆ ของกล้วยมาใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ และทำการประเมินทั้งหมด 4 ด้าน คือ ด้านการป้องกันและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้านการใช้สอย ด้านความสวยงาม ด้านการส่งเสริมการขาย โดยผู้วิจัยมีวิธีดำเดินการ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์มาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานใน การออกแบบ ทำการออกแบบภาพร่างบรรจุภัณฑ์ตามข้อมูลพื้นฐานศึกษาข้อมูลเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำแบบสอบถามภาพร่างบรรจุภัณฑ์ ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามจากกลุ่มเป้าหมาย

10.3 ผลประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภคในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป พบว่ารูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่ออกแบบมีความทันสมัยเปิดตัวผลิตภัณฑ์ กล้วยแปรรูปต่างๆ ได้มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรงทนทานต่อการขนส่ง สามารถป้องกันความเสียหายต่อตัวผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสม ตัวอักษรอ่าน ได้ชัดเจนและสื่อความหมายได้ดี สีสันและลวดลาย มีความน่าสนใจและ สามารถบ่งบอกถึงตัวผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์สามารถดึงดูดความสนใจในการเลือก สามารถบอกประโยชน์ของกล้วยแปรรูปแต่ละชนิด สามารถดึงดูดความสนใจ ณ จุดจำหน่ายได้มีความเหมาะสม

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป และประเมินความพึงพอใจของการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป โดยมีหลักพิจารณาดังนี้ คือ 1) เพื่อการศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์ กล้วยแปรรูป 2) เพื่อพัฒนาแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภคในการ พัฒนาบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูป ดังนี้คือ ในด้านการป้องกันและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้านการใช้สอย ด้านความสวยงาม และด้านการส่งเสริมการขาย ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดงานวิจัยของ นพวรรณ ชีวอารี (2555). จากการศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูปมีการสร้างเอกลักษณ์ให้กับสินค้า และเพื่อประเมินประสิทธิภาพของตัวบรรจุภัณฑ์ ได้แบ่งออกเป็น 5 ด้าน คือ ด้านการป้องกัน ด้านการบรรจุ ด้านการ อำนวยความสะดวก ด้านการส่งเสริมการจำหน่าย ด้านความสะอาดและปลอดภัย โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ อโนทัย เพ็ชรสุวรรณ (2549). และจากการศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูปโดยการศึกษาประสิทธิภาพ ด้านโครงสร้างในการรองรับตัวผลิตภัณฑ์ เพื่อสอดคล้องในเรื่องของวัสดุ โดยใช้กระดาษแข็งเคลือบเพราะ มีความแข็งแรงรับน้ำหนักได้ดีและพิมพ์สีได้สวยงาม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธัญรัศม์ ยุทธสารเสนีย์ (2557).

11. ข้อเสนอแนะ

11.1 สามารถเป็นการต่อยอดรูปแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยแปรรูปในผลิตภัณฑ์อื่นได้

11.2 วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอนาคตอาจคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมได้

12. เอกสารอ้างอิง

คณิณ อ่ำบุญ. (2549). **การสานเส้นใยกล้วย: วัสดุจากธรรมชาติเพื่องานสถาปัตยกรรม.** (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชัยศักดิ์ เชื้อชาวนา. (2547). **รวมเทคนิคการออกแบบบรรจุภัณฑ์.** (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: ช.รุ่งเรืองอินเตอร์ ปริ้น.

ชัยรัตน์ อัศวางกูร. (2548). **ออกแบบให้โดนใจ.** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : ทั้งฮั่วซินการพิมพ์.

ทัศนีย์ ผาสุก และ วรรณนภา เผือกเปีย. (2556). **การพัฒนาลวดลายบรรจุภัณฑ์ถั่วทอดลอนศิลป์ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย.** มหาวิยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, พิษณุโลก.

ธัญรัศม์ ยุทธสารเสนีย์. (2557). **การออกแบบบรรจุภัณฑ์ดอกไม้ประดิษฐ์จาก.** มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, บุรีรัมย์.

นพวรรณ ชีวอารี. (2555). **การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์หมูแปรรูปเพื่อส่งเสริมการขาย กรณีศึกษาบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์หมูแปรรูปในชุมชนท้องถิ่นจังหวัดนครปฐม.** (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. (2545). **กล้วย.** (พิมพ์ครั้งที่ 3). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ

ปรารถนา ศิริสานต์, ชิตพล ประนม, ธีรยุทธ ติคา และปริพันธ์ จันทะนา. (2559). **การออกแบบบรรจุภัณฑ์สมุนไพรพร้อมชงกลุ่มแม่บ้านแหลมคูณก้าวหน้าโดยใช้แนวคิดเพื่อสิ่งแวดล้อม.** มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, พิษณุโลก.

ปาณิศา อินทนะ, พรปวีณ์ ด้วงชนะ, วันเพ็ญ แพบัว. (2559). **การออกแบบบรรจุภัณฑ์ถั่วเปลือกแข็งเพื่อส่งเสริมการขายแก่กลุ่มคนรักสุขภาพ.** มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, พิษณุโลก.

ร้านป้าเย็นสุขเกษม. (2561). รองประธาน. สัมภาษณ์โดย เทียนชัย ชื่นบางบ้า, ณิชกานต์ จูนก, พรญาณี เขียวบ้านยาง. สุโขทัย

สุมาลี ทองรุ่งโรจน์. (2555). **ออกแบบบรรจุภัณฑ์.** (พิมพ์ครั้ง 2). กรุงเทพฯ : วาดศิลป์.

อโนทัย เพ็ชรสุวรรณ. (2549). **การออกแบบบรรจุภัณฑ์สาหรับข้าวแต๋น ในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์.** (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์โดยวัฏจักรแรงคินขนาดเล็ก

SMALL-SCALE SOLAR ORGANIC RANKINE CYCLE POWER GENERATION

สรวิศ สอนสารี[1*], เอกภูมิ บุญธรรม[1] และ เอกกฤษ แก้วเจริญ[1]

Sorawit Sonsaree[1*], Eakpoom Boonthum[1] and Eakrit Kaewcharoen[1]

[1]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

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

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

วันที่เข้าระบบ 22 มกราคม 2562
วันที่แก้ไขบทความ 25 กุมภาพันธ์ 2562
วันที่ตอบรับบทความ 19 เมษายน 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในรูปแบบอุณหภูมิต่ำโดยวัฏจักรแรงคินขนาดเล็ก การศึกษาได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาจำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และขนาดถังน้ำร้อนที่มีความเหมาะสมที่ทำให้ระบบมีค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยต่ำสุด และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด ณ กรุงเทพฯ โดยในการศึกษาตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา ขนาด 2.08, 2.37, 2.16 m^2 ต่อแผง, ที่มีประสิทธิภาพเชิงแสง $\left(F_R(\tau\alpha)_e\right)$ และสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน $\left(F_R U_L\right)$ เท่ากับ 0.74, 0.57, 0.72 และ 3.62, 0.75, 0.97 W/m^2-K ตามลำดับ ต่อแบบขนานจำนวน 100 ถึง 1,200 แผง ร่วมกับถังน้ำร้อนที่มีขนาด 2,500 ถึง 50,000 ลิตร จะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อผลิตความร้อนป้อนให้กับวัฏจักรแรงคินขนาด 20, 40, และ 60 kW_e ที่ใช้ R-245fa เป็นสารทำงานในระบบ ผลการศึกษาที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้จะขึ้นอยู่กับจำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ได้รับการติดตั้ง และขนาดของถังน้ำร้อนที่มีความเหมาะสม โดยระบบเมื่อใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจำนวน 2000 แผง ผลิตน้ำร้อนร่วมกับถังน้ำร้อนที่มีขนาดรวม 42500 ลิตร ป้อนให้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินขนาดกำลังการผลิต 60 kW_e จำนวน 1 เครื่อง ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบจะมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.999 USD/kWh สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 97.02 MWh/Year และระบบสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้เท่ากับ 53.17 Ton CO_2 eq./Year, ตามลำดับ

คำสำคัญ: การผลิตไฟฟ้า, ตัวเก็บรังสีอาทิตย์, วัฏจักรแรงคิน

Abstract

In this study, the concept of utilizing the low-temperature heat from solar energy for power generation by a small-scale Organic Rankine Cycle system is proposed. The system is mathematically modeled and simulated to evaluate an appropriate of solar collectors and size of the thermal energy storage (TES) to produce the highest electricity, and the lowest levelized cost of electricity (LCOE) of the power system. The weather condition of Bangkok was taken as the input data of the simulation. The system is analyzed by using three different capacities (20, 40, and 60 kWe) of the ORC system with R-245fa in combination with solar water heating system (SWHS), using four different models. Flat-plate, evacuated-tube, and compound parabolic concentrator (CPC) solar collectors were used to generate heat with optical efficiency of 0.74, 0.57, 0.72, overall heat transfer coefficient of 3.62, 0.75, 0.97 W/m2-K, and collector area of 2.08, 2.37, 2.61 m2 per unit, respectively. Each type of the collectors was connected in parallel between 100 and 1200 units, and size of the TES between 2500 and 50000 litres. The results of the evaluation showed that the greater number of solar collectors are the more electricity of the systems can generate. It can generate the highest electricity of 97.02 MWh/Year, with the lowest of the LCOE of 0.999 USD/kWh when a 60 kWe of ORC power generation combined with 2000 units of solar collectors and the TES of 42500 litres with initial investment of the collectors and the TES taken into consideration. Moreover, in terms of the environment impact, as the same number of solar collectors the system can reduce CO2 emission of 67.06 Ton CO2 eq./Year.

Keywords: Power generation, Solar collectors, Organic Rankine Cycle (ORC)

1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy) ถือว่าเป็นพลังงานทดแทน (Renewable) อีกประเภทหนึ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของความร้อน (Thermal energy) หรือการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของไฟฟ้า (Electrical energy) เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่มีวัดหมดสิ้น และเป็นพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีรวม (Total solar Radiation) ค่อนข้างสูงประมาณ 18 MJ/m^2-day (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2560) (Department of Alternative Energy Development and Efficiency

of Ministry of Energy, 2017) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาศักยภาพรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีตรง (Direct or beam solar radiation) พบว่า ประเทศไทยมีศักยภาพรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีตรงค่อนข้างต่ำประมาณ 1350 – 1400 kWh/m^2-year (Sonsaree *et al*., 2018) ซึ่งไม่เหมาะกับการประยุกต์ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์แบบรวมแสง (Concentrating solar power (CSP) technology) เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวจะเกิดความคุ้มค่าหรือมีความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์เมื่อศักยภาพรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีตรงมีความเข้มรังสีอาทิตย์สูงกว่า 1500 kWh/m^2-year แต่อย่างไรก็ตามสามารถประยุกต์ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในรูปของน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำถึงอุณหภูมิปานกลางที่ผลิตได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบไม่รวมแสง (Non-concentrating solar collectors) เช่น ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat-plate (FP) solar collectors), ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ (Evacuated-tube (ET) solar collectors), ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อความร้อนชนิดท่อสุญญากาศ (Heat pipe evacuated-tube (HPE) solar collectors), และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา (Compound parabolic concentrating (CPC)s collectors) เช่น การผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้งานในที่พักอาศัย อาคาร หรือแม้กระทั่งโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ในส่วนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar Thermal Energy) เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงคิน (Organic Rankine cycle (ORC)) นับว่าเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ (Low-temperature heat source) ได้ นอกจากนี้เทคโนโลยีดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย และที่สำคัญกำลังการผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงคินจะมีตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ จึงง่ายที่จะเลือกขนาดให้มีความเหมาะสมกับแหล่งความร้อน

การศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา Sonsaree *et al*., 2017 และ Sonsaree *et al*., 2016 ได้ศึกษาการใช้เทคนิคของปั๊มความร้อน (Heat pump) ในการเพิ่มคุณภาพความร้อนที่ได้รับจากความร้อนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar hot water system, SHWS) จากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำให้เป็นแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิก่อนป้อนให้กับวัฏจักรแรงคินเพื่อผลิตไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่า ระบบดังกล่าวเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีแหล่งความร้อนเหลือทิ้งในปริมาณสูง และระบบจะมีความน่าสนใจเมื่อโรงงานอุตสาหกรรมได้ดำเนินการติดตั้งหรือได้รับการสนับสนุนค่าดำเนินการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นที่เรียนบร้อยแล้ว นอกจากนี้ Sonsaree *et al*., 2018 ยังได้ศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์อุณหภูมิต่ำด้วยวัฏจักรแรงคิน โดยในการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 3 แบบ ได้แก่ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ, ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบสุญญากาศ, และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา เพื่อผลิตน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิในช่วง 70 – 95 °C ป้อน

ให้กับวัฏจักรแรงคินเพื่อผลิตไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่า ระบบดังกล่าวเหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย โดยระบบจะมีความน่าสนใจในเชิงเศรษฐศาสตร์เมื่อภาครัฐให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในส่วนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคิน

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีงานวิจัยจำนวนมากที่ได้ดำเนินการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ แต่การศึกษาส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง ประกอบกับกำลังการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินที่มีกำลังการผลิตขนาดเล็กยังมีน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงคินขนาดเล็กที่มีกำลังการผลิตแตกต่างกัน โดยในการศึกษาจะเป็นการหาจำนวนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ขนาดของถังน้ำร้อนที่มีความเหมาะสม ที่ทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (Levelized cost of electricity, LCOE) ของระบบมีค่าต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังได้รวมถึงการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเทอมของการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงคินขนาดเล็กจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ในรูปของอุณหภูมิต่ำ (<100 °C) ที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าแตกต่างกัน

2.2 เพื่อหาจำนวนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และขนาดของถังน้ำร้อนที่มีความเหมาะสมที่จะทำให้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด

2.3 เพื่อหาปริมาณการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบ

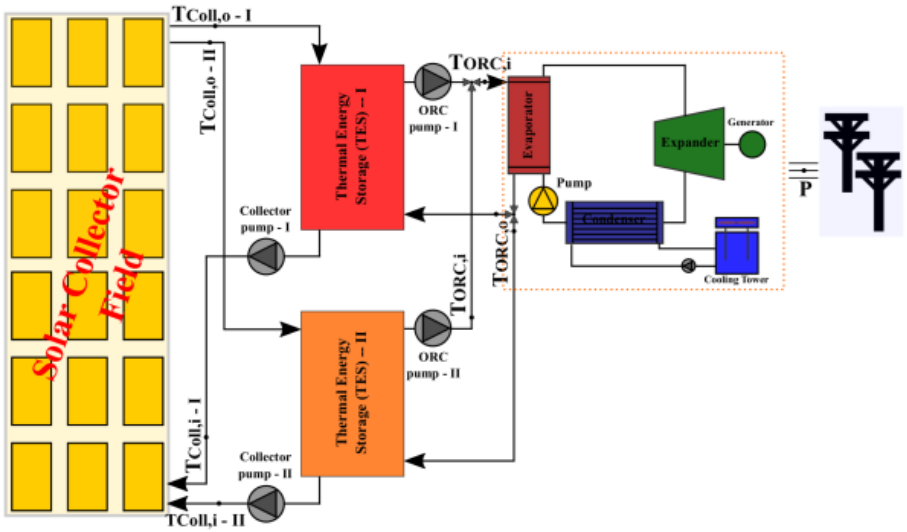
3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงคินขนาดเล็กด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในรูปของอุณหภูมิต่ำ (<100 °C) โดยส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ รวมถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการศึกษาสามารถแสดงได้ดังนี้

3.1 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วยวัฏจักรแรงคินขนาดเล็ก (Small-scale organic Rankine cycle (SORC) power plant) (แสดงดังภาพที่ 1)

1. ส่วนประกอบของระบบ: ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collectors), ถังเก็บสะสมความร้อน (Storage tank), วัฏจักรแรงคิน (ORC), หอผึ่งเย็น (Cooling tower), และปั๊มน้ำ (Water pump)

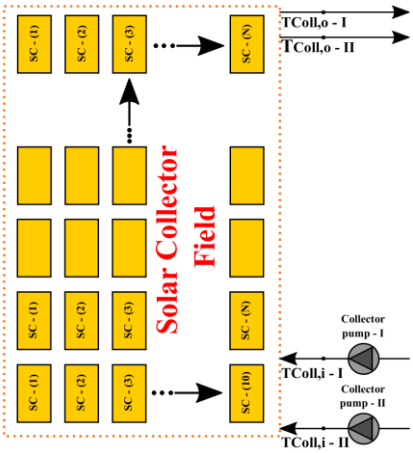
2. หลักการทำงานของระบบ: น้ำร้อนอุณหภูมิต่ำจากถังน้ำร้อนถังที่ 1 จะถูกปั๊มด้วยปั๊มน้ำไปยังตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิสูงก่อนที่จะนำไปเก็บไว้ในถังเก็บน้ำร้อนถังที่ 1 น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงจากถังน้ำร้อนถังที่ 1 จะถูกป้อนให้กับวัฏจักรแรงคินเพื่อผลิตไฟฟ้า โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่ได้ถูกใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน (จำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งทั้งหมดแสดงดังภาพที่ 2 (ก), ภาพที่ 2 (ข) ส่วน A คือ จำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมในแต่ละวันที่เป็นตัวแทนเดือน โดยน้ำร้อนที่ผลิตได้ในส่วนนี้จะถูกนำไปเก็บไว้ในถังน้ำร้อนถังที่ 1 และ ภาพที่ 2 (ข) ส่วน B คือ จำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ส่วนเกินที่ได้ดำเนินการติดตั้งไปแล้ว โดยน้ำร้อนที่ผลิตได้ในส่วนนี้จะถูกนำไปเก็บไว้ในถังน้ำร้อนถังที่ 2) น้ำร้อนที่ผลิตได้จะถูกนำมาป้อนให้กับระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าในช่วงที่ไม่มีแสงแดด



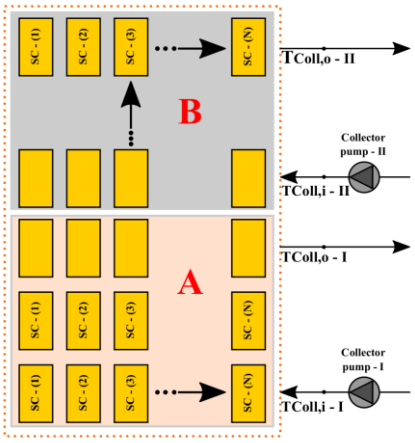
ภาพที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์โดยวัฏจักรแรงคินขนาดเล็ก

3.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์: ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 3 ชนิด ได้แก่ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ, ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา ที่มีประสิทธิภาพเชิงแสง (Optical efficiency $F_R(\tau\alpha)_e$) 0.74, 0.57, 0.72 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน (Overall heat transfer coefficient $F_R U_L$) 3.62, 0.75, 0.97 W/m^2-K และพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์รวม (Gross area) 2.08, 2.37, 2.16 m^2 ต่อแผง ตามลำดับ ต่อแบบขนานจำนวน 100 ถึง 1,200 แผง (เพิ่มขึ้นครั้งละ 50 แผง) ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อผลิตน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 70 ถึง 95 °C (ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่วัฏจักรแรงคินในงานวิจัยนี้สามารถผลิตไฟฟ้าได้)

3.3 ถังน้ำร้อน: ถังน้ำร้อนที่มีขนาดตั้งแต่ 2,500 ถึง 50,000 ลิตร (เพิ่มขึ้นครั้งละ 2,500 ลิตร)



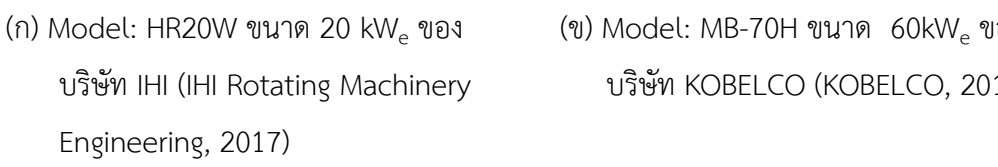
(ก) กรณีใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งทั้งหมดผลิตไฟฟ้า



(ข) กรณีใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตน้ำร้อนในช่วงเวลากลางวัน (A) และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ส่วนเกินที่ใช้ผลิตน้ำร้อนในช่วงเวลากลางคืน (B)

ภาพที่ 2 การใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ได้รับการติดตั้ง

3.4 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคิน: ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินที่มีกำลังการผลิต (1) ขนาด 20 kW_e จำนวน 1 เครื่อง (SORC-I), (2) ขนาด 20 kW_e จำนวน 2 เครื่อง (SORC-II), (3) ขนาด 20 kW_e จำนวน 3 เครื่อง (SORC-III), และ (4) ขนาด 60 kW_e จำนวน 1 เครื่อง (SORC-IV) ที่ซึ่งหาได้จากประสิทธิภาพการทำงาน (Performance characteristic) ซึ่งประกอบไปด้วย อัตราการไหลของน้ำร้อน, อุณหภูมิน้ำร้อน, อุณหภูมิแวดล้อม และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินของบริษัท IHI company (IHI Rotating Machinery Engineering, 2017) ขนาด 20 kW_e แสดงดังภาพที่ 3 (ก) และของบริษัท KOBELCO company (KOBELCO, 2017) ขนาด 60 kW_e แสดงดังภาพที่ 3 (ข) ที่ใช้ R-245fa เป็นสารทำงานในระบบ



(ก) Model: HR20W ขนาด 20 kW_e ของบริษัท IHI (IHI Rotating Machinery Engineering, 2017)

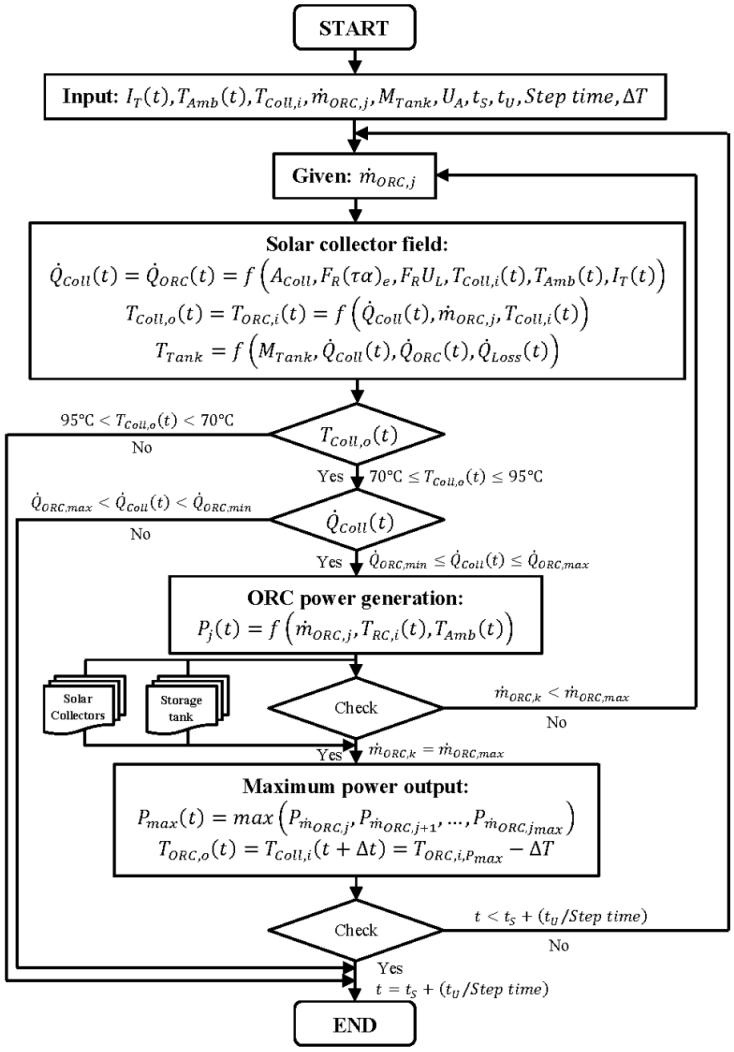
(ข) Model: MB-70H ขนาด 60kW_e ของบริษัท KOBELCO (KOBELCO, 2017)

ภาพที่ 3 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคิน

3.5 ปริมาณรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อม: กรุงเทพฯ

3.6 โปรแกรมที่ใช้สำหรับการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ โปรแกรม MATLAB

3.7 ขั้นตอนการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินขนาดเล็กแสดงดังภาพที่ 4 ข้อมูลปริมาณรังสีอาทิตย์ (I_T) อุณหภูมิแวดล้อม(T_{Amb}) ขนาดถังน้ำร้อน (M_{Tank})และคุณลักษณะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคิน จะถูกป้อนให้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้คำนวณหาอัตราความร้อนที่ผลิตได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ $(\dot{Q}_{Coll})$ อุณหภูมิน้ำร้อนในถังน้ำร้อน (T_{Tank}) และพลังงานไฟฟ้าที่วัฏจักรแรงคินผลิตได้ (P) โดยในขั้นตอนดังกล่าวข้อมูลต่างๆ เช่น จำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้า และขนาดถังน้ำร้อน จะถูกบันทึก ก่อนที่จะนำมาประมวลผลเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดที่สามารถทำให้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคิน

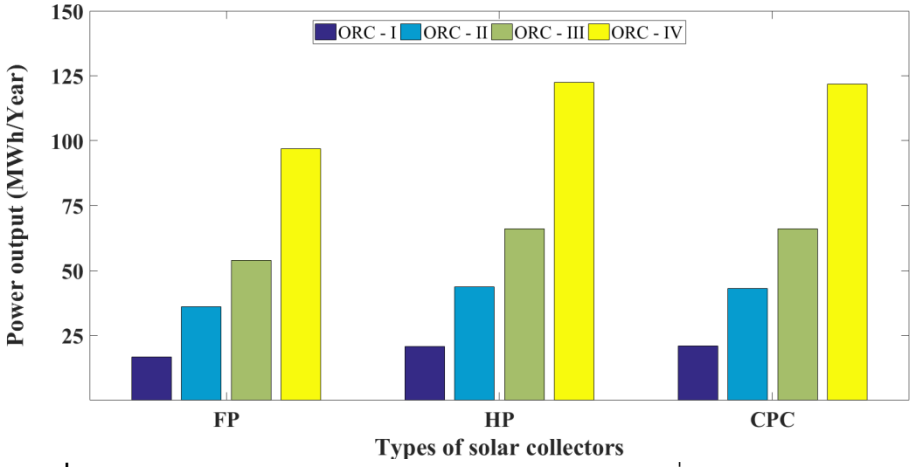
4. ผลการวิจัย

4.1 พลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้

พลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ขนาดของถังเก็บสะสมความร้อน และอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสม โดยปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อจำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้เมื่อกำลังการผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสูงขึ้น ระบบก็จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น โดยพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้สูงสุด จำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และขนาดของถังเก็บสะสมความร้อนที่มีความเหมาะสม แสดงดังตารางที่ 1 ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า ที่ขนาดกำลังการผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินเท่ากัน ระบบผลิตไฟฟ้าจะผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดเมื่อระบบใช้ตัวเก็บ

รังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ โดยระบบจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มสูงขึ้นเมื่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินมีขนาดกำลังการผลิตเพิ่มสูงขึ้น

จากตารางที่ 1 เมื่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ, ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ , และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีจำนวน 1,150 930 และ 830 แผง และถังเก็บสะสมความร้อนมีขนาด 7,500 2,500, และ 2,500 ลิตร ตามลำดับ ถูกนำมาผลิตน้ำร้อนป้อนให้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินที่มีกำลังการผลิต 40 kW_e (ขนาด 20 kW_e จำนวน 2 เครื่อง) ระบบจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้เท่ากับ 35.98, 43.68, และ 43.01 MWh/Year ตามลำดับ กรณีพิจารณาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดเดียวกัน เมื่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศผลิตน้ำร้อนป้อนให้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินที่มีกำลังการผลิต 20 kW_e (ขนาด 20 kW_e จำนวน 1 เครื่อง), 40 kW_e (ขนาด 20 kW_e จำนวน 2 เครื่อง), 60 kW_e (ขนาด 20 kW_e จำนวน 3 เครื่อง), และ 60 kW_e (ขนาด 60 kW_e จำนวน 1 เครื่อง) พบว่า ระบบจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 20.78, 43.68, 66.09, และ 122.38 MWh/Year ตามลำดับ ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่แต่ละระบบผลิตได้ จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินมีขนาดกำลังการผลิตที่สูงขึ้นระบบจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงขึ้น



ภาพที่ 5 ผลเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละระบบที่ผลิตได้ (MWh/Year)

4.2 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 emission)

สำหรับงานวิจัยนี้ตัวประกอบค่าคงที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีค่าเท่ากับ 0.497 kg CO_2 eq./kWh (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2560) (Energy Policy and Planning office of Ministry of Energy, 2017) ได้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณการลดการ

ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบ ในการคำนวณสามารถนำค่าดังกล่าวคูณกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่แต่ละระบบผลิตได้ (MWh/Year) ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 1 พบว่า การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยเมื่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อความร้อนผลิตน้ำร้อนป้อนให้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคิน ระบบจะสามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากที่สุด รองลงมา คือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ จากตารางที่ 1 เมื่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศผลิตน้ำร้อนป้อนให้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินทั้ง 4 ระบบ (SORC-I, SORC-II, SORC-III, และ SORC-IV) ที่มีกำลังการผลิต 20, 40, 60, และ 60 kW_e พบว่า ระบบจะสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เท่ากับ 11.39, 23.94, 36.22, และ 67.06 Ton CO_2 eq./Year ตามลำดับ

4.3 ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (LCOE)

ผลที่ได้จากการศึกษา พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น โดยค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบจะลดลงไปจนถึงค่าที่มีความเหมาะสมก่อนที่จะเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เพิ่มสูงขึ้น จากตารางที่ 1 ผลการศึกษาพบว่า ระบบเมื่อใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบผลิตความร้อนป้อนให้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินที่มีขนาดกำลังการผลิต 60 kW_e จำนวน 1 เครื่อง ระบบจะมีค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยต่ำที่สุด โดยจะมีค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 0.999 USD/kWh ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากค่าใช้จ่ายต่อตารางเมตรของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีค่าใช้จ่ายที่ถูกที่สุดนั่นเอง

ตารางที่ 1 แสดงพลังงานไฟฟ้า (MWh/Year), การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Ton CO_2 eq./Year), พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (USD/kWh) ที่จำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (แผง) และขนาดถังน้ำร้อน (ลิตร) ที่มีความเหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้า

	FP-SORC			
	I	II	III	IV
Power (MWh/Year)	16.79	35.98	53.96	97.02
Solar collectors (Units)	570	1150	1740	2000
Size of the TES--1	5000	7500	10000	42500
CO_2 Emission	9.20	19.72	29.57	53.17
LCOE	1.493	1.208	1.346	0.999
	ET-SORC			
	I	II	III	IV
Power (MWh/Year)	20.78	43.68	66.09	122.38
Solar collectors (Units)	470	930	1410	1930
Size of the TES--1	2500	2500	7500	50000
CO_2 Emission	11.39	23.94	36.22	67.06
LCOE	1.531	1.321	1.361	1.059
	CPC-SORC			
	I	II	III	IV
Power (MWh/Year)	20.95	43.01	66.09	121.72
Solar collectors (Units)	420	830	1410	1700
Size of the TES--1	2500	2500	7500	50000
CO_2 Emission	11.48	23.57	36.22	66.70
LCOE	1.566	1.366	1.509	1.074

นอกจากนี้ผลที่ได้จากการศึกษายังได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับระบบผลิตไฟฟ้าแบบรวมแสงอาทิตย์ (CSP technology) และระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar photovoltaic) ที่มีค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยระหว่าง 0.20 ถึง 0.35 USD/kWh และ 0.14 ถึง 0.47 USD/kWh ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์โดยวัฏจักรแรงคินขนาดเล็กยังไม่ค่อยมีความน่าสนใจ เนื่องจากค่าพลังงาน

ไฟฟ้าต่อหน่วยที่มีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นในอนาคตถ้าราคาของเทคโนโลยีมีแนวโน้มลดลง ประกอบกับภาครัฐได้ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในส่วนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ หรือแม้กระทั่งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคิน ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในรูปของอุณหภูมิต่ำก็จะเกิดความน่าสนใจมากยิ่งขึ้น

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยวัฏจักรแรงคินขนาดเล็ก (Small-scale SORC power plant) สามารถที่จะนำมาประยุกต์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าใน กรุงเทพฯ ได้

5.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมที่สุดที่ส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยต่ำที่สุด คือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยปริมาณการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ โดยระบบผลิตไฟฟ้าเมื่อใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศผลิตน้ำร้อนป้อนให้กับวัฏจักรแรงคินที่มีกำลังการผลิต 60 kW_e จำนวน 1 เครื่อง จะสามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงที่สุด เนื่องระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงที่สุด

5.3 เมื่อระบบได้รับการสนับสนุนเงินลงทุนไม่ว่าจะเป็น ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และ/หรือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินจะทำให้ระบบมีความน่าสนใจ และน่าลงทุนมากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิชาเอกเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม สำหรับสถานที่ทำงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2: พลังงานแสงอาทิตย์.** ค้นจาก http://www.dede.go.th/article_attach/h_solar.pdf

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). **รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2560.** ค้นจาก http://www.eppo.go.th/index.php/en/component/k2/item/12949-energy-statistics-2560

Department of Alternative Energy Development and Efficiency of Ministry of Energy. (2017). **Guide to the development and investment of renewable energy**

production, Series 2: Solar Energy, Retrieved from http://www.dede.go. th/article_attach/h_solar.pdf (in Thail)

Energy Policy and Planning office of Ministry of Energy. (2017). **Energy statistics of thailand 2017.** Retrieved from http://www.eppo.go.th/index.php/en/component/k2/item/12949-energy-statistics-2560 (in Thai)

IHI Rotating Machinery Engineering. (2017). **ORC power generation, model: HR20W**. Retrieved from http://www.ihi.co.jp/compressor/binary/index.html

KOBELCO. (2017). **ORC power generation, model: MB-70H.** Retrieved from http://www.kobelco.co.jp/products/standard_compressors/microbinary/files/microbinary_catalog.pdf

Sonsaree, S., Asaoka, T., Jiajitsawat, S., Aguirre, H., & Tanaka, K. (2017). VCHP-ORC power generation from low-grade industrial waste heat combined with solar water heating system: power generation and CO_2 emission in industrial estate of Thailand. **Cogent Engineering,** doi:10.1080/23311916.2017.1359397

Sonsaree, S., Asaoka, T., Jiajitsawat, S., Aguirre, H., & Tanaka, K. (2018). A small-scale solar Organic Rankine Cycle power plant in Thailand: Three types of non-concentrating solar collectors. **Solar Energy**, 162, 541-560.

Sonsaree, S., Jiajitsawat, S., Asaoka, T., Aguirre, H., & Tanaka, K. (2016). Organic Rankine cycle power generation from industrial waste heat recovery integrated with solar hot water system by using vapor compression heat pump as heating booster in Thailand. **International Conference on Cogeneration, Small Power Plants and District Energy (ICUE)**, Bangkok, doi: 10.1109/COGEN.2016.7728939

จริยธรรมในการตีพิมพ์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมละวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม มีความมุ่งมั่นที่จะรักษามาตรฐานด้านจริยธรรมในการตีพิมพ์สูงสุด ดังนั้นทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องจะต้องปฏิบัติตามหลักการและมาตรฐานด้านจริยธรรมในการตีพิมพ์อย่างเคร่งครัด

บทบาทหน้าที่ของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาและตรวจสอบบทความที่ส่งมาเพื่อ เข้ารับการพิจารณาตีพิมพ์กับวารสารทุกบทความ โดยพิจารณาเนื้อหาบทความที่สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของวารสาร รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพบทความในกระบวนการประเมินและคุณภาพบทความก่อนการตีพิมพ์
2. บรรณาธิการต้องใช้เหตุผลทางวิชาการในการพิจารณาบทความทุกครั้งโดยปราศจากอคติที่มีต่อบทความและผู้นิพนธ์ในด้านเชื้อชาติ เพศ ศาสนา วัฒนธรรม การเมือง และสังกัดของผู้นิพนธ์
3. บรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์หรือผู้ทรงคุณวุฒิไม่นำบทความหรือวารสารไปใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจหรือนำไปเป็นผลงานทางวิชาการของตนเอง
4. บรรณาธิการต้องไม่แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาบทความและผลประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ รวมถึงไม่ปิดกั้นหรือแทรกแซงข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนระหว่างผู้ทรงคุณวุฒิและผู้นิพนธ์
5. บรรณาธิการต้องปฏิบัติตามกระบวนการและขั้นตอนต่าง ๆ ของวารสารอย่างเคร่งครัด
6. บรรณาธิการต้องรักษามาตรฐานของวารสาร รวมถึงพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพและมีความทันสมัยเสมอ

บทบาทหน้าที่ของผู้นิพนธ์

1. ผลงานของผู้นิพนธ์ต้องเป็นผลงานที่ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ใดมาก่อน และไม่อยู่ระหว่างการเสนอ เพื่อพิจารณาเผยแพร่ในวารสารฉบับอื่น
2. ผู้นิพนธ์ต้องไม่คัดลอกผลงานของผู้อื่น และต้องมีการอ้างอิงทุกครั้งเมื่อนำผลงานของผู้อื่นมานำเสนอหรืออ้างอิงในเนื้อหาบทความของตนเอง
3. ข้อมูลที่นำเสนอในผลงาน ต้องเป็นข้อเท็จจริงที่เกิดจากการศึกษาวิจัย ผู้นิพนธ์ต้องไม่บิดเบือน ปลอมแปลง หรือนำเสนอข้อมูลอันเป็นเท็จ
4. ผู้นิพนธ์พึงกระทำตามขั้นตอนของวารสาร เพื่อเป็นการรับรองคุณภาพของเนื้อหาที่ได้นำมาตีพิมพ์เผยแพร่โดยตระหนักว่าผลงานวิชาการต่าง ๆ ในวารสารมีวัตถุประสงค์และมาตรฐานที่แตกต่างกัน

5. หากผลงานทางวิชาการของผู้นิพนธ์เกี่ยวข้องกับมนุษย์ และสัตว์ทดลอง ต้องเป็นผลงานที่ได้ดำเนินการตามหลักจริยธรรม ปฏิบัติตามกฎหมายและข้อบังคับที่เกี่ยวข้องอย่างเคร่งครัด และต้องได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ และสัตว์ทดลอง

6. ผู้นิพนธ์ต้องเขียนบทความวิชาการหรือบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดไว้ใน “คำแนะนำผู้เขียน”

7. ชื่อผู้นิพนธ์ที่ปรากฏในบทความต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในผลงานวิชาการนี้จริง

บทบาทหน้าที่ของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องคำนึงถึงคุณภาพบทความเป็นหลัก พิจารณาบทความภายใต้หลักการและเหตุผลทางวิชาการโดยปราศจากอคติหรือความคิดเห็นส่วนตัว และไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์

2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่แสวงหาประโยชน์จากผลงานทางวิชาการที่ตนเองได้ทำการประเมิน

3. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตระหนักว่าตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาของผลงานวิชาการที่รับประเมินอย่างแท้จริง

4. หากผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบพบว่าบทความที่รับประเมิน เป็นบทความที่คัดลอกผลงานชิ้นอื่น ๆ ผู้ทรงคุณวุฒิต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบทันที

5. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องรักษาระยะเวลาประเมินตามกรอบเวลาประเมินที่กำหนด รวมถึงไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความให้ผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องได้รับรู้

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม