



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏนครปฐม

Journal of Engineering, RMUTT

ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม – ธันวาคม 2563

www.engineer.rmutt.ac.th/journal

Print : ISSN 2730-2148

Online : ISSN 2697-4339

การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ชั้นเลเยอร์ตัวกลางหลายชนิด Domestic Wastewater Treatment by Multiple Layer Media Filter โดย : ชนยัตริ แสงวิจิตร และประภากรณ์ แสงวิจิตร	1
การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสืบสวนสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ทางภูมิศาสตร์ของผู้ต้องหาหรือจำเลยตามกฎหมายจับของศาล Development of an Investigating Web Application for the Analysis of Geographic Information System of the Suspect or Defendant Under the Arrest Warrant โดย : ธวัช ธารณพิทักษ์ และพัชรา สีนลอยมา	11
การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งขนมกลีบลำดวนปราศจากกลูเตน Development of Gluten Free Thai Cookie “Kleeb Lum Duan” Powder โดย : กิตติพงษ์ สุวิโร เดือนเต็ม ทิมาพงศ์ ทักษิรัตน์ ธิมศิริ และวิภากร ติปัญญา	23
การระบุแนวทางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของเครื่องเกี่ยวรวงข้าวโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ Identifying Preventive Maintenance Guidelines for Rice Combine Harvester with Application of Failure Mode and Effect Analysis Technique โดย : ธีรพร กาญจนะ สุรัตน์ ตรีชนพงศ์ และกิตติพงษ์ ทิมะพงษ์	35
การลดเวลาในการปรับตั้งแม่พิมพ์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน Setup Time Reduction for Hot Pressing Mold Changeover โดย : พรภัส เลิศศักดิ์วานิช และประจวบ กล่อมจิตร	47
การวิเคราะห์และตรวจหาการผิดปกติบางส่วนในสายเคเบิลใต้ดิน ณ สถานีไฟฟ้าหินกอง อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี Partial Discharge Diagnosis and Localization in Underground Cable at Hin Kong Power Station, Nong Kae District, Saraburi, Thailand โดย : อติสร พงษ์ และวินัย พงษ์ะวัน	59
การศึกษาแนวทางเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง กรณีศึกษา บริษัท A ทรานสปอร์ต จำกัด A Guideline of to Reduce Transportation Cost: A Case study of A Transport Co., Ltd. โดย : ธัญญา แดงภูเขียว ณัฐนันท์ อัสสระพงศ์ พรศิริ คำหล้า และปิยนัฐ ไช้อ่อน	69
การศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม กรณีศึกษา เกษตรกรปลูกหญ้าเนเปียร์แคว A Study of Logistics Costs Using Activity-Based Cost Analysis Techniques: A Case Study of Dwarf Napier Grass Growers โดย : ธัญญา แดงภูเขียว ทฤษฎา ดลประเสริฐ และนริศรา สำราญสม	77
การศึกษาสมบัติเชิงกลในกระบวนการชุบแข็งของการเชื่อมเหล็กกล้า AISI 420 ด้วยแรงเสียดทานสำหรับอุตสาหกรรมการเชื่อมเหล็ก A Study of the Mechanical Properties of the Hardening Processes on the AISI 420 Stainless Steel by Friction Welding for Shaft Welding Industries โดย : ประจักษ์ อ่างบุญตา ศิริชัย ต่อสกุล และไพศาล ทองสงค์	87
การออกแบบบรรจุภัณฑ์กระป๋องเปลือกไข่จากกระเจี๊ยบเทศร้านปาเลตาไข่วิจิตร Package Design for Ostrich Shell bag of Palita Exquisite Eggs Shop โดย : ภัทรกร ออแก้ว	99
การออกแบบบรรจุภัณฑ์พระสุลลพูน นครศรีภูมิไชย กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมหาวัน Packaging Design for Buddhist Amulet of Lamphun Province by Mahawan Community Enterprise โดย : ภัทรกร ออแก้ว	111
เครื่องผสมยางมะตอยกับน้ำยางพาราเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมทาง Asphalt and Concentrated Rubber Latex Mixing Machine for Highway Engineering Laboratory Testing โดย : สมศักดิ์ เอื้ออัมมสสัย และอังคณา พันธุ์หล่อ	123
ความสามารถเก็บกักคลอไรด์และการดูดซับน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอย พงหินปูนและสารขยายตัว Chloride Binding Capacity and Water Absorption of Mortar Containing Fly Ash, Limestone Powder, and Expansive Additive โดย : สันติ ปรีก และทวิชัย สำราญวานิช	133
ระบบควบคุมการหล่อลิ้นแบบละอองน้ำมันโดยใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ Oil Mist Lubrication Control System using Programmable Logic Controller โดย : ไพโรจน์ ทองประศรี และไพศักดิ์ พูลพภา	145
ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีในการปรับส่วนผสมของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ Analysis of Characterization of Physicochemical Properties of Different Formulations of Riceberry Malted Beverage โดย : สุนัน ปานสาคร และจตุรงค์ ลังกาพันธ์	157
อิทธิพลของความเร็วลมและอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งของเมล็ดข้าวโพดหวานด้วยเทคนิคฟลูอิดไต์เบด Effect of Velocity and Temperature On the Drying Rate of Sweet Corn Kernels By Using Fluidized Bed Technique โดย : เจษฎา วิเศษมณี และสำรวม โกศลนันท์	169

การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ชั้นเลเยอร์ตัวกลางหลายชนิด Domestic Wastewater Treatment by Multiple Layer Media Filter โดย : ชนยิตรี แสงวิจิตร และประภากรณ์ แสงวิจิตร	หน้า 1
การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสืบสวนสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ทางภูมิศาสตร์ของผู้ต้องหาหรือจำเลยตาม หมายจับของศาล Development of an Investigating Web Application for the Analysis of Geographic Information System of the Suspect or Defendant Under the Arrest Warrant โดย : รพีภัค ธาราพิทักษ์ และพัชรา สีนลอยมา	11
การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งขนมกลีบลำดวนปราศจากกลูเตน Development of Gluten Free Thai Cookie “Kleeb Lum Duan” Powder โดย : กิตติพงษ์ สุวิโร เตือนเต็ม ทิมายงค์ หทัยรัตน์ ริมศิริ และวิหาร ดีปัญญา	23
การระบุแนวทางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ Identifying Preventive Maintenance Guidelines for Rice Combine Harvester with Application of Failure Mode and Effect Analysis Technique โดย : ระพี กาญจนะ สุรัตน์ ตรัยวนพงศ์ และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์	35
การลดเวลาในการปรับตั้งแม่พิมพ์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน Setup Time Reduction for Hot Pressing Mold Changeover โดย : พรภัส เลิศศักดิ์วานิช และประจวบ กล่อมจิตร	47
การวิเคราะห์และตรวจหาการดีสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิลใต้ดิน ณ สถานีไฟฟ้าหินกอง อำเภอนองแคว จังหวัดสระบุรี Partial Discharge Diagnosis and Localization in Underground Cable at Hin Kong Power Station, Nong Kae District, Saraburi, Thailand โดย : อติสร พงษา และวินัย พงษ์เกษวัน	59
การศึกษาแนวทางเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง กรณีศึกษา บริษัท A ทรานสปอร์ต จำกัด A Guideline of to Reduce Transportation Cost: A Case study of A Transport Co., Ltd. โดย : รัชฎา แต่งภูเขียว ณัฐนันท์ อิศระพงศ์ พรศิริ คำหล้า และปิยณัฐ โตอ่อน	69
การศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม กรณีศึกษา เกษตรกรผู้ปลูกหญ้าเนเปียร์แคว A Study of Logistics Costs Using Activity-Based Cost Analysis Techniques: A Case Study of Dwarf Napier Grass Growers โดย : รัชฎา แต่งภูเขียว กฤษณา ดลประเสริฐ และนริศรา สำราญสม	77

การศึกษาสมบัติเชิงกลในกระบวนการชุบแข็งของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ด้วยแรงเสียดทานสำหรับอุตสาหกรรมการเชื่อมเพลลา A Study of the Mechanical Properties of the Hardening Processes on the AISI 420 Stainless Steel by Friction Welding for Shaft Welding Industries โดย : ประจักษ์ อ่างบุญตา ศิริชัย ต่อสกุล และไพศาล ทองสงค์	87
การออกแบบบรรจุภัณฑ์กระเป๋าลูกจากเปลือกไข่นกกระจอกเทศร้านปาลิตาไข่วิจิตร Package Design for Ostrich Shell bag of Palita Exquisite Eggs Shop โดย : ภัทรกร ออแก้ว	99
การออกแบบบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมหาวัน Packaging Design for Buddhist Amulet of Lamphun Province by Mahawan Community Enterprise โดย : ภัทรกร ออแก้ว	111
เครื่องผสมยางมะตอยกับน้ำยางพาราเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมทาง Asphalt and Concentrated Rubber Latex Mixing Machine for Highway Engineering Laboratory Testing โดย : สมศักดิ์ เอื้ออักษณาสัย และอังคณา พันธุ์หล่อ	123
ความสามารถเก็บกักคลอไรด์และการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอย ผงหินปูนและสารขยายตัว Chloride Binding Capacity and Water Absorption of Mortar Containing Fly Ash, Limestone Powder, and Expansive Additive โดย : สันธา ปริก และทวีชัย สำราญวานิช	133
ระบบควบคุมการหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันโดยใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ Oil Mist Lubrication Control System using Programmable Logic Controller โดย : ไพโรจน์ ทองประศรี และไพศักดิ์ พูลผกา	145
ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีในการปรับส่วนผสมของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ Analysis of Characterization of Physicochemical Properties of Different Formulations of Riceberry Malted Beverage โดย : สุนัน ปานสาคร และจตุรงค์ ลังกาพันธ์	157
อิทธิพลของความเร็วลมและอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งของเมล็ดข้าวโพดหวาน ด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด Effect of Velocity and Temperature On the Drying Rate of Sweet Corn Kernels By Using Fluidized Bed Technique โดย : เจษฎา วิเศษมณี และสำรวม โกศลนันท์	169



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลัญบุรี

คณะกรรมการจัดทำวารสาร วิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลัญบุรี

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลัญบุรี
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการ

ศ.ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ
รศ.ดร.สุธี อักษรกิตติ
รศ.ดร.เข้มชัย เหมะจันทร์
รศ.ดร.ศิริวรรณ ศรีสรณ์
รศ.ดร.กัณวรัช พลุปราชญ์
รศ.ดร.อรรณรัตน์ มุ่งเจริญ
รศ.ณรงค์ บวบทอง
ผศ.ดร.สมเจตน์ พัทธพันธ์
ผศ.ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ
ผศ.ดร.อังคณา พันธุ์หล่อ
ดร.ชัชวาลย์ สุรัสวดี
ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง
รศ.ดร.กฤษณชนม์ ภูมิภักติพิชญ์
ผศ.ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร
ผศ.สมศักดิ์ แก่นทอง
ผศ.ดร.สุนนมาลย์ เนียมกลาง
ผศ.ดร.ธรรมศักดิ์ โรจน์วิรุฬห์
ผศ.ชวลิต แสงสวัสดิ์

ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
คณะกรรมการบริหาร มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
52/14 ถ.พหลโยธิน 45 แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลัญบุรี
33 ซอยอุดมสุข แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ดร.ปรกช สิริสุวัฒน์

เลขานุการ

นางสาวอมรรัตน์ ยิ้มอยู่

ผู้ช่วยเลขานุการ

นายอัศชนะ คูเจริญไพบุลย์

ผู้ดูแลระบบงานเทคโนโลยีสารสนเทศ

นายพัฒนร์พี สุนันทพจน์



Journal of Engineering, RMUTT

Editorial Board Members

Consultant Board Members

President of Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Vice President of Academic Affairs
Dean, Faculty of Engineering

Editorial Board

Prof.Dr.Narongrit Sombatsompop	Thai-Journal Citation Index (TCI)
Assoc.Prof.Dr.Sutee Auksonkitt	School of Aviation Eastern Asia University
Assoc.Prof.Dr.Khemchai Hemachandra	Faculty of Science Chulalongkorn University
Assoc.Prof.Dr.Siriwan Srisorrachatr	Faculty of Engineering Srinakharinwirot University
Assoc.Prof.Dr.Ganwarich Pluphrach	Faculty of Engineering Srinakharinwirot University
Assoc.Prof.Dr.Thumrongrat Mungcharoen	Faculty of Engineering, Kasetsart University
Assoc.Prof.Narong Buabthong	Faculty of Engineering Thammasat University
Asst.Prof.Dr.Somjate Patcharaphun	Faculty of Engineering, Kasetsart University
Asst.Prof.Dr.Pathomthat Chiradeja	Faculty of Engineering Srinakharinwirot University
Asst.Prof.Dr.Ankana Punlor	College of Engineering Rangsit University
Dr.Chadchawarn Surussavadee	52/14 Phaholyothin 45 Rd., Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900
Asst.Prof.Dr.Sivakorn Angthong	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc.Prof.Dr.Krischonme Bhumkittipich	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Dr.Jakkree Srinonchat	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Somsak Kanthong	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Dr.Sumonman Niamlang	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Dr.Thammasak Rojviroon	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Chavalit Sangswasd	33 Soi Udomsuk 28 BangNa District Bangkok 10260

Editor in Chief

Dr.Porakoch Sirisuwan

Secretary

Miss.Amonrat Yimyoo

Assistant Secretary

Mr.Uschana Koojarenphaiboon

System administrator

Mr.Patrapee Sunantapot



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี

บทบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี ฉบับนี้เป็นการตีพิมพ์ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน กรกฎาคม ถึง เดือน ธันวาคม ปีพุทธศักราช 2563 จำนวนบทความตีพิมพ์ 16 บทความ ที่มีเนื้อหาการวิจัยพื้นฐานและการวิจัยประยุกต์ในสาขาต่างๆ ทั้งด้านการวิเคราะห์และปรับปรุงระบบ ด้านวัสดุศาสตร์ ด้านการปรับปรุงผลิตภัณฑ์พืช ด้วยกระบวนการทางวิศวกรรม โดยวารสารยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่สาธารณชนอย่างเสมอมา

ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมาตั้งแต่ช่วงต้นปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยได้ประสบปัญหาในระดับโลกในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด - 19 จนถึงปัจจุบัน แม้สถานการณ์การระบาดของโรคนี้ในประเทศไทยจะคลี่คลายไปด้วยดี และมีการผ่อนคลายมาตรการป้องกันต่าง ๆ มากขึ้น แต่การระบาดนี้ส่งผลกระทบต่อทุกด้านทั้งด้านสุขภาพ เศรษฐกิจ และสังคมต่อบุคคลทุกระดับชั้น รวมถึงผลกระทบทางด้านการศึกษา และ ด้านการวิจัยต่างๆ ที่มีการปรับเปลี่ยนให้ใช้เทคโนโลยีที่สนับสนุนพัฒนานวัตกรรมและการวิจัยที่ช่วยป้องกันการแพร่ระบาดของโรคโควิด - 19 มากยิ่งขึ้น

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความทุกท่านที่ช่วยเหลือพิจารณาบทความและเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาผลงานวิจัยและผลงานวิชาการอย่างดีเสมอมา

กองบรรณาธิการ

Peer Reviews

Asst.Prof.Dr.Teerarat Itthisoponkul	Faculty of Agricultural Product Innovation and Technology Srinakharinwirot University
Assoc.Prof. Attaporn Ridhikerd	Faculty of Industrial Education and Technology King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst.Prof.Dr.Apisak Sindhuphak	Faculty of Industrial Education and Technology King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst.Prof.Dr.Pradya Prempraneerach	Faculty of Engineering Thammasat University
Asst.Prof.Dr.Ruslee Sutthaweeikul	Faculty of Engineering King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Assoc.Prof.Dr.Boonyang Plangklang	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Dr.Rapee Kanchana	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Dr.Manop Yamfang	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc.Prof.Dr Jaturoung Lungapin	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Dr. Panpong Komgpan	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc.Prof.Dr.Pitisan Krammart	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Dr.Manusak Janthong	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Dr.Kittipong Kimapong	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Dr.Anin Meemon	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Dr.Thammasak Rojviroon	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Dr.Prusayon Nintanavongsa	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Dr.Man Tuiprae	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Lanna
Assoc.Prof.Dr.Sanya Sirivithayapakorn	Faculty of Engineering, Kasetsart University
Asst.Prof.Gerametha Sungkasem	Faculty of Engineering Kasem Bundit University
Asst.Prof.Pisit Wimonthanakit	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
Asst.Prof.Dr. Chatree Homkhiew	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Srivijaya
Assoc.Prof.Dr.Wanida Rattanamanee	Faculty of Engineering Prince of Songkla University
Asst.Prof.Dr.Prapas Muangjunburee	Faculty of Engineering Prince of Songkla University
Assoc.Prof.Dr.Prachuab Klomjit	Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
Asst.Prof.Dr.Choosak Pornsing	Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
Asst.Prof.Dr.Rattana Muangrat	Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University
Asst.Prof.Dr.Sriwiang Rittisak	Faculty of Agro-Industry King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
Asst.Prof.Dr.Chanthima Phungamngoen	Faculty of Agro-Industry King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
Asst.Prof.Dr.Naphatrapi Luangsakul	Faculty of Food-Industry King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Assoc.Prof.Dr.Sontisuk Teerachaichayut	Faculty of Food-Industry King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst.Prof.Dr.Pakawat Sancharo	Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University

การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ชั้นเลเยอร์ตัวกลางหลายชนิด

ชนยิตรี แสงวิจิตร^{1*} และประภากรณ์ แสงวิจิตร²

chonyitree.kae@gmail.com^{1*}, prapagon.tom@gmail.com²

^{1*} ภาควิชาอนามัยชุมชน คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

Received : 18-Feb-2020

Revised : 02-Jun-2020

Accepted : 12-Jun-2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้ตัวกลาง 3 ชนิด ได้แก่ เปลือกหอยแครง อิฐบล็อก และซีโอไลต์ ซึ่งเป็นเศษวัสดุที่หาได้ง่าย เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ตัวกลางถูกบรรจุอยู่ในชั้นเลเยอร์เรียงขนานกันในแนวดิ่ง น้ำเสียไหลวนในระบบตลอดเวลา ด้วยปั้มน้ำ 19 วัตต์ อัตราการไหล 13 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 6 วัน และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของระบบบำบัดน้ำเสียระหว่างมีตัวกลางและไม่มีตัวกลาง ผลการทดลองพบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ที่มีตัวกลาง สามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และออร์โธฟอสเฟตได้ดี โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด ที่ระยะกักพักน้ำ 6 วัน ร้อยละ 100 และ 86.78 ตามลำดับ และระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ที่ไม่มีตัวกลาง สามารถบำบัดไขมันและน้ำมันได้ดี โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดที่ระยะกักพักน้ำ 6 วัน ร้อยละ 39.8 ทั้ง 2 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นที่มีตัวกลางและไม่มีตัวกลาง มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไลต์ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ: น้ำเสียชุมชน ชั้นเลเยอร์ เปลือกหอยแครง อิฐบล็อก ซีโอไลต์

Domestic Wastewater Treatment by Multiple Layer Media Filter

Chonyitree Sangwijit^{1*} and Prapagon Sangwijit²
chonyitree.kae@gmail.com^{1*}, prapagon.tom@gmail.com²

^{1*} Department of Community Health, Faculty of Public Health, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus

² Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus

Received	: 18-Feb-2020
Revised	: 02-Jun-2020
Accepted	: 12-Jun-2020

Abstract

This research was a quasi-experimental research. The objective was to apply 3 types of media, which were oyster shells, concrete rubbish, and zeolites, which were scrap materials that were easy to found for treating domestic wastewater. The medium was contained in layers vertically in parallel. Wastewater was continuous with 19 Watt pump, the flow rate of 13 liters per minute, the hydraulic retention time of 6 days and compares the efficiency of the wastewater treatment by multiple layers between media and without media. The results showed that wastewater treatment by multiple layers with media could treat total suspended solids and orthophosphate well with the highest removal efficiency, the hydraulic retention time of 6 was 100 and 86.78%, respectively. Wastewater treatment system using layers without media can treat fat and oil well with the highest removal efficiency, the hydraulic retention time of 6 was 39.8%. Both wastewater treatments by multiple layers with media and without media. The removal efficiency of COD was not different. With statistical significance at the level of 0.05.

Keywords: domestic wastewater, layer, oyster shells, concrete rubbish, concrete rubbish

1. บทนำ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำตั้งแต่ระดับครัวเรือน ไปจนถึงระดับชุมชนให้ถูกต้องเหมาะสม ก่อนที่จะปล่อย น้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เป็นการแนวทางหนึ่ง ในการจัดระบบสุขาภิบาลช่วยลดปัญหามลพิษทางน้ำ ที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ดังนั้น ระบบ บำบัดน้ำเสีย จึงถูกนำมาใช้เพื่อช่วยแก้ไขปัญหา มลพิษ ดังกล่าว โดยเฉพาะระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated sludge (AS) ซึ่งได้รับความนิยม ใช้หลักการเติมอากาศ ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ (Organic matter) เป็นมลสารหลักในปริมาณไม่สูงมาก โดยอาศัยแบคทีเรีย ที่ใช้อากาศ (Aerobic bacteria) เพื่อให้ได้พลังงาน ในการดำรงชีพ พร้อมทั้งสร้างเซลล์ใหม่ (New cells) และ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น (End product) ได้แก่ คาร์บอนได ออกไซด์ (CO_2) และน้ำ แต่การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้ มีข้อจำกัดในการควบคุมการหมุนเวียนตะกอนจุลชีพ หรือ สลัดจ์ (Sludge) ให้ได้ตามปริมาณที่ต้องการ และ ต้องมีถังตกตะกอน

ปัจจุบัน มีการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียที่มี หลักการคล้ายกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS เพื่อลด ข้อจำกัดเรื่องการใช้พื้นที่ ในการสร้างถังตกตะกอน เรียกว่า ระบบถังกรองชีวภาพเติมอากาศ (Biological aerated filter; BAF) อาศัยหลักการให้สารอินทรีย์ ที่อยู่ในน้ำเสียไหลผ่านชั้นตัวกลาง (Media) ที่มีจุลินทรีย์ ยึดติดบางๆ อยู่บนผิวตัวกลาง (Fixed film process) ซึ่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) เกาะอยู่ บนชั้นของตัวกลาง น้ำที่ผ่านการบำบัดจะใส ทำให้ ไม่จำเป็นต้องหมุนเวียนตะกอนกลับสู่ระบบอีกครั้ง และ ไม่ต้องมีถังตกตะกอน แต่เดินระบบได้สักระยะจะเกิดการ อุดตัน ดังนั้น การเลือกตัวกลาง จึงต้องมีขนาดสม่ำเสมอ มีช่องว่างเพียงพอสำหรับการถ่ายเทอากาศ ขนาดตัวกลาง ที่เป็นหิน เหมาะสมอยู่คือ 5 – 10 เซนติเมตร อัตราส่วน ช่องว่างประมาณร้อยละ 50 หากตัวกลางมีขนาดเล็กกว่านี้ ระบบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดดี แต่เกิดปัญหา อุดตันได้ง่าย [1] อีกทั้งการไหลของน้ำเสียในทิศทางลง จะมีประสิทธิภาพการกำจัด บีโอดี ซีโอดีและของแข็งแขวนลอย ดีกว่าน้ำเสียไหลขึ้น ซึ่งการไหลขึ้นสามารถ กำจัดไนโตรเจนได้ดี [2] ซีโอไลต์ (Zeolite) เป็นสาร ประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (Crystalline aluminosilicates) โครงสร้างรูพรุนขนาดตั้งแต่ 2^{-10} อังสตรอม มีคุณสมบัติในการดูดซับ (Adsorption) เป็นตัวเร่ง

ปฏิกิริยา (Catalyst) และเป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) [3] ได้มีผู้ทำการศึกษาอันตรกิริยา ระหว่างฟอสเฟตกับโครงสร้างของซีโอไลต์ (H-zeolite) บริเวณอะตอมออกซิเจนของฟอสเฟต ซึ่งที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง แสดงให้เห็นว่าซีโอไลต์ มีความสามารถดูดซับสารประกอบฟอสเฟตได้จริง [4] เช่นเดียวกับอิฐบล็อกถูกนำมาเป็นตัวกลางในระบบ บำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้บึงประดิษฐ์ที่มีการไหล ในแนวตั้ง มีประสิทธิภาพกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงสุด 93% [5] และเปลือกหอยแครง มีองค์ประกอบของ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) 98.56% ถูกนำมาใช้ ในกระบวนการดูดซับ ขนาดของเปลือกหอยแครง 0.30 - 0.85 มิลลิเมตร เวลาสัมผัส 2 ชั่วโมง เปลือกหอยแครง มีประสิทธิภาพการกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำดื่มเฉลี่ยมากกว่า 85% [6] ทั้งตัวกลาง ซีโอไลต์และเปลือกหอยแครง หลังจากนำไปใช้ในการบำบัดแล้ว สามารถนำกลับมา ใช้ใหม่ (Regenerate) หรือนำไปกำจัด โดยการนำไป ต่อยอดเป็นส่วนผสมคอนกรีต [7] สามารถเกิดประโยชน์ ได้อีกทางหนึ่ง

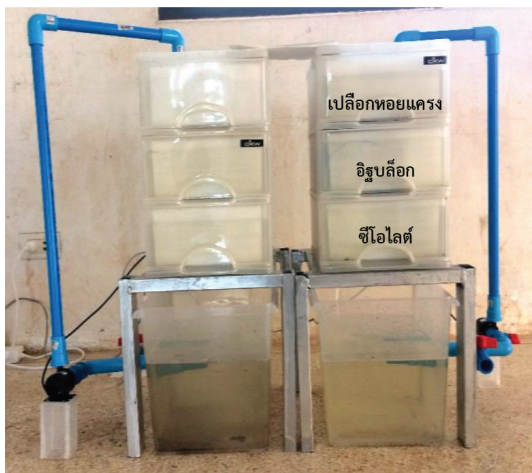
งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษา ตัวกลางเปลือกหอยแครง อิฐบล็อก และซีโอไลต์ที่มี ขนาดใกล้เคียงกัน แยกบรรจุอยู่ในชั้น (Layer) ทำการ เปรียบเทียบกับระบบบำบัดที่ไม่มีตัวกลาง เพื่อบำบัด น้ำเสียชุมชน (Domestic wastewater) โดยวิธีเติม อากาศแบบหมุนเวียนน้ำเสียในทิศทางลงตลอดเวลา ลักษณะอัตราการบำบัดต่ำ (Low rate) เพื่อลดการ อุดตันของฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ลดปริมาณสลัดจ์ ส่วนเกิน สามารถนำระบบบำบัดน้ำเสียไปใช้ในพื้นที่ ค่อนข้างจำกัดและสามารถใช้วัสดุที่หาได้ง่าย

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1. การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้ชั้นเลเยอร์

การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ประกอบ ด้วยชั้นเลเยอร์ (Layer) โดยทำการแบ่งระบบบำบัด น้ำเสียเป็น 2 ชุด ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีตัวกลาง และไม่มีตัวกลาง โครงสร้างของระบบประกอบด้วย ถังรองรับน้ำเสียทำจากพลาสติกมีความกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ $22.4 \times 34.6 \times 26$ เซนติเมตร สามารถบรรจุ น้ำเสียได้ 15 ลิตร ชั้นเลเยอร์แต่ละชั้นมีความกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ $21 \times 30 \times 10$ เซนติเมตร จำนวน 3 ชั้น

แต่ละชั้นบรรจุน้ำเสีย 5 ลิตร ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีตัวกลาง จะบรรจุเปลือกหอยแครง อิฐบล็อก และซีโอไลต์ โดยคัดตัวกลางทั้ง 3 ชนิดให้มีขนาดใกล้เคียงกัน บรรจุตัวกลางลงในแต่ละชั้น ให้มีความสูงร้อยละ 50 ของชั้นเลเยอร์ ตัวกลางจะจมน้ำ (Submerged attached growth system) น้ำเสียไหลวนในระบบตลอดเวลา ด้วยปั๊มน้ำที่มีอัตราการไหล 13 ลิตรต่อวินาที ทำหน้าที่ปั๊มน้ำเสียจากถังรองรับน้ำเสีย 15 ลิตร อัตราการไหลของน้ำเสียต่อพื้นที่ (Surface loading rate) 1.27 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ในทิศทางลง ลักษณะอัตราการบำบัดต่ำ (Low rate) ปริมาตรน้ำเสียรวมทั้งระบบบำบัด 30 ลิตร ดังรูปที่ 1



ก. ชุดที่ไม่มีตัวกลาง ข. ชุดที่มีตัวกลาง
รูปที่ 1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชั้นเลเยอร์

2.2 รูปแบบการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-experimental research) เพื่อศึกษาคุณลักษณะน้ำเสีย และประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียของชุมชน (Domestic wastewater) ระหว่างมีตัวกลาง และไม่มีตัวกลาง โดยที่น้ำเสียจะไหลผ่านตัวกลางในทิศทางไหลลง ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดพารามิเตอร์ที่เคอเน (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN) ได้น้อย จึงไม่ศึกษาพารามิเตอร์ดังกล่าว ส่วนพารามิเตอร์ฟอสฟอรัสศึกษาในรูปของออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate; PO_4^{3-}) ด้วยจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้สร้างเซลล์ใหม่ (New cells) ได้ทันที

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำและการเก็บตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ใช้น้ำเสียชุมชน (Domestic wastewater) ทำการทดลองแบบแบทช์ (Batch) วิเคราะห์พารามิเตอร์ ดังนี้ พีเอช (pH) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solids; TSS) น้ำมันและไขมัน (Oil & grease) ซีโอดี (Chemical oxygen demand; COD) และออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate; PO_4^{3-}) ตามมาตรฐาน (APHA, AWWA & WEF) [8] เก็บตัวอย่างน้ำตรงกึ่งกลางถังรองรับน้ำเสีย ณ เวลา 13.00 น. ของทุกวัน มีระยะกักพักน้ำ (Hydraulic Retention Time; HRT) 6 วัน

2.4 การเตรียมตัวกลาง

ตัวกลางมีคุณสมบัติทางกายภาพ ดังตารางที่ 1 และบรรจุ ร้อยละ 50 ของความสูงของชั้นเลเยอร์

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลาง

คุณสมบัติ	เปลือกหอยแครง	อิฐบล็อก	ซีโอไลต์
Size (cm)	4-5	5-6	4-5
Specific surface area (m^2/g)	0.75 ^[5]	3.24 ^[5]	24.9-40 ^[9]
Fluid volume (L)	5	5	5

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids; TSS) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ซีโอดี (Chemical oxygen demand; COD) และออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate; PO_4^{3-}) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างในแต่ละวันของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีตัวกลาง และไม่มีตัวกลาง โดยใช้สถิติ One-way ANOVA

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ลักษณะระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ และคุณลักษณะน้ำเสียชุมชน

ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์เป็นระบบบำบัดทางชีวภาพ มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับ ระบบถังกรองชีวภาพเติมอากาศ (Biological aerated filter; BAF) แตกต่างกันเพียงตัวกลางจะมีขนาดใหญ่ ลดปัญหาการอุดตันของฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ไม่ต้องล้างย้อน (Backwash) บ่อย มีค่าอัตราการไหลของน้ำเสียต่อพื้นที่ $1.27 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-h}$ ต่ำ ทำให้สูญเสียพลังงาน ในการนำน้ำเสียไหลผ่านตัวกลางน้อย ผลทำให้แรงดันต่ำ

คุณลักษณะน้ำเสียชุมชนก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียแบบชั้นเลเยอร์ (Influent) พารามิเตอร์ส่วนใหญ่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นพารามิเตอร์ พีเอช (pH) และน้ำมันและไขมัน (Oil & grease) ส่วนน้ำทิ้ง (Effluent) หลังผ่านระบบ HRT 6 วัน ระบบที่มีตัวกลาง ทุกพารามิเตอร์ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้น ออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) เกินเกณฑ์มาตรฐานเล็กน้อย เช่นเดียวกับระบบบำบัดที่ไม่มีตัวกลาง ทุกพารามิเตอร์ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้น ออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) เกินเกณฑ์มาตรฐานมากกว่าระบบบำบัดที่มีตัวกลาง

ตารางที่ 2 คุณลักษณะน้ำเสียชุมชนก่อนเข้าและออกระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ HRT 6 วัน

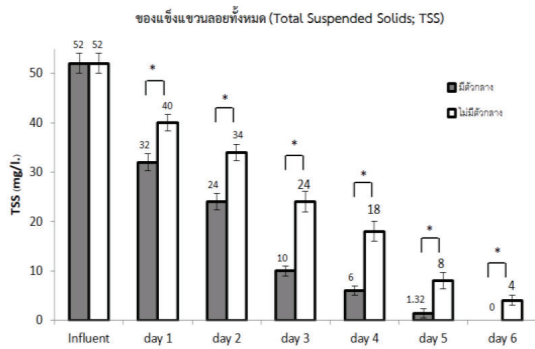
พารามิเตอร์	น้ำเสีย เข้าระบบ (Influent)	น้ำทิ้ง (Effluent)		ค่ามาตรฐาน*
		มีตัวกลาง	ไม่มีตัวกลาง	
พีเอช	7.22±0.1	8.50±0.5	7.95±0.2	5.5 – 9.0
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก/ล.)	52.0±3.0	0.0±0.0	4.0±0.0	30 มก/ล.
บีโอดี (มก/ล.)	450.0±10.0	18.0±2.0	17.0±2.0	20 มก/ล.
ซีโอดี (มก/ล.)	700.0±163.0	50±12.0	70.0±16.0	120 มก/ล.
ออร์โธฟอสเฟต (มก/ล.)	18.0±0.27	2.4±0.07	8.5±0.04	2 มก/ล.
น้ำมันและไขมัน (มก/ล.)	0.084±0.05	0.052±0.02	0.050±0.02	5 มก/ล.

* ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน ลงวันที่ 7 เมษายน 2553 ประกาศ ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 127 ตอนพิเศษ 69 ง วันที่ 2 มิถุนายน 2553

3.2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะน้ำเสียชุมชนของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ

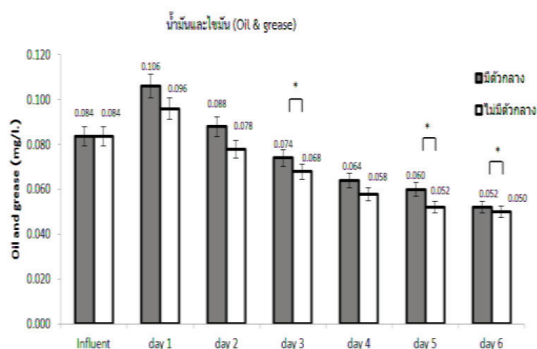
ในการเปรียบเทียบคุณลักษณะน้ำเสียชุมชนในแต่ละวัน ของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ระหว่างมีตัวกลางและไม่มีตัวกลาง จะศึกษาเฉพาะพารามิเตอร์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ซีโอดี (COD) ออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) น้ำมันและไขมัน (Oil & grease) ส่วนบีโอดี (BOD) ไม่ทำการศึกษาเปรียบเทียบในแต่ละวัน ศึกษาเฉพาะก่อนและหลังเข้าระบบบำบัด HRT 6 วัน ผลการวิเคราะห์ พบว่าคุณลักษณะน้ำเสียพารามิเตอร์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีตัวกลาง HRT วันที่ 1 - 6 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 32.00 24.00 10.00 6.00 1.32 และ 0.00 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีตัวกลาง HRT วันที่ 1 - 6 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 40.00 34.00 24.00 18.00

8.00 และ 4.00 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ที่มีตัวกลางกับไม่มีตัวกลาง มีค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตั้งแต่ HRT วันที่ 1 ถึงวันที่ 6 ที่ระดับ P-value < .05 ดังรูปที่ 2 เห็นได้ว่ามีของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ถูกดูดซับ (Adsorb) ไว้บนตัวกลางตั้งแต่วันที่ 1 ทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ลดลงเรื่อยๆ จนไม่ถูกตรวจพบที่ HRT 6 วัน สอดคล้องกับงานวิจัยถังกรองชีวภาพแบบไหลลงที่ใช้เปลือกหอยเป็นตัวกลางกรอง โดยระบบสามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพดี มีของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำต่ำกว่า 30 มก./ล. [10] และสอดคล้องกับงานวิจัยที่ใช้วัสดุเปลือกเป็นตัวกลางในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้บึงประดิษฐ์ที่มีการไหลในแนวตั้ง สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ที่ HRT 6 วัน ให้ลดลงเหลือ 4 มก./ล. [11]



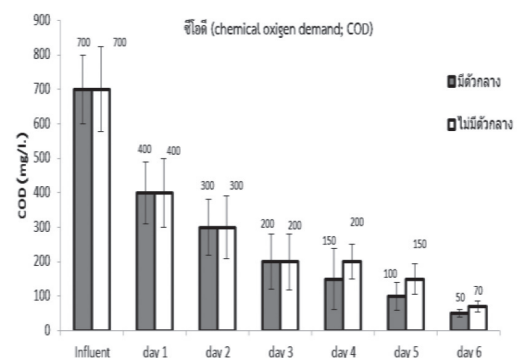
รูปที่ 2 ผลการทดสอบสถิติค่าเฉลี่ย TSS ในแต่ละวัน

คุณลักษณะน้ำเสียพารามิเตอร์น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีตัวกลาง HRT วันที่ 1 - 6 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.106 0.088 0.074 0.064 0.060 และ 0.052 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีตัวกลาง HRT วันที่ 1 - 6 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.08 0.096 0.078 0.068 0.058 0.052 และ 0.050 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ที่มีตัวกลางกับไม่มีตัวกลาง มีค่าเฉลี่ยน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ HRT วันที่ 3 วันที่ 5 และวันที่ 6 ที่ระดับ P-value < .05 ดังรูปที่ 3 เห็นได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีตัวกลางเป็นการเติมอากาศลงไปใต้น้ำเสียโดยตรง เพื่อให้ฟองอากาศพาบน้ำมันและไขมันในน้ำเสียลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ โดยฟองอากาศเป็นตัวช่วยพาให้น้ำมันและไขมันลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำเร็วยิ่งขึ้น เป็นการกำจัดน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ทางกายภาพที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง [12] และสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยระบบบำบัดน้ำเสียจากภาคการในฮ่องกง โดยการเติมสารเคมีและอัดอากาศลงไปถึงดักไขมัน ผลการศึกษาพบว่า ระบบบำบัดสามารถลดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ให้ลดลงเหลือ 41 มก./ล. [13]



รูปที่ 3 ผลการทดสอบสถิติค่าเฉลี่ย Oil & Grease ในแต่ละวัน

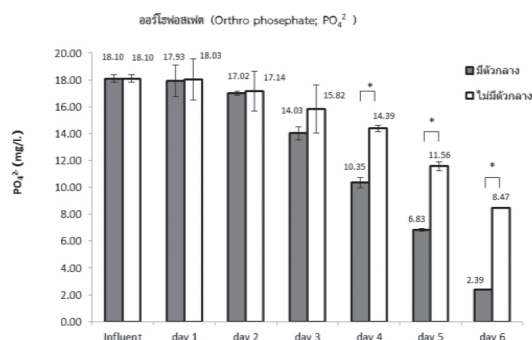
คุณลักษณะน้ำเสียพารามิเตอร์ซีโอดี (COD) ของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีตัวกลาง HRT วันที่ 1 - 6 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 400 300 200 150 100 และ 50 ตามลำดับ ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีตัวกลาง HRT วันที่ 1 - 6 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 400 300 200 200 150 และ 70 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ชั้นเลเยอร์ที่มีตัวกลางกับไม่มีตัวกลาง มีค่าเฉลี่ยซีโอดี (COD) ลดลงไม่แตกต่างกันทุกวัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ P-value < .05 ดังรูปที่ 4 เห็นได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ที่มีตัวกลางและไม่มีตัวกลาง มีปริมาณการลดลงของซีโอดี (COD) ใน HRT 3 วันแรก เท่ากัน เริ่มมีปริมาณลดลงแตกต่างกันใน HRT วันที่ 4 อาจมีการยึดติดของจุลินทรีย์บางๆ อยู่บนผิวตัวกลาง (Fixed film process) ทั้งนี้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเดิมอากาศในลักษณะน้ำเสียไหลลงผ่านตัวกลาง จะมีการใช้เวลาในการสร้างฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) บนตัวกลาง ประมาณ 8-10 วัน [10] ทำให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ที่เกิดจากจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนบนตัวกลางค่อยๆ ลดปริมาณซีโอดี (COD) ลง แต่ปริมาณการลดลงของทั้ง 2 ระบบ ยังไม่แตกต่างกันมากนัก ในช่วง HRT 6 วัน เป็นไปได้ว่า หากมีจำนวนวันในการบำบัดมากขึ้น ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีตัวกลางอาจจะมีการลดปริมาณซีโอดี (COD) ได้ดีกว่า



รูปที่ 4 ผลการทดสอบสถิติค่าเฉลี่ย COD ในแต่ละวัน

คุณลักษณะน้ำเสียพารามิเตอร์ออร์โธ-ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีตัวกลาง HRT วันที่ 1 - 6 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 17.93 17.02 14.03 10.35 6.83 และ 2.39 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีตัวกลาง HRT วันที่ 1 - 6 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 18.03

17.14 15.82 14.39 11.56 และ 8.47 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ที่มีตัวกลางกับไม่มีตัวกลางมีค่าเฉลี่ยออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 4 ถึงวันที่ 6 ที่ระดับ P-value < .05 ดังรูปที่ 5 เห็นได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ที่มีตัวกลางและไม่มีตัวกลางมีปริมาณการลดลงของออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) คล้ายกับปริมาณการลดลงของซีโอดี (COD) คือ HRT วันที่ 4 จึงมีปริมาณลดลงต่างกัน ด้วยปัจจัยการเกิดฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) และออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) เองเป็นหนึ่งในประเภทของฟอสฟอรัสที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้สร้างเซลล์ใหม่ (New cells) ได้ทันที ทำให้ออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ลดปริมาณลงเรื่อยๆ ในทั้งระบบบำบัดที่มีตัวกลางและไม่มีตัวกลาง แต่ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีตัวกลางจะลดลงดีกว่า โดยมีหลายงานวิจัยที่ใช้ตัวกลางบำบัดฟอสเฟตในน้ำเสีย อาทิ การใช้ถักรองบรรจุ เศษคอนกรีตบำบัดน้ำทิ้งชุมชน ที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 แบบไหลลง มีความเป็นไปได้สูง สำหรับนำมากำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ [14] รวมถึงการบำบัดแบบบึงประดิษฐ์มาบำบัดน้ำเสีย ใช้ตัวกลางซีโอไลต์มีความสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้ 2.15 กรัมต่อกิโลกรัม [15]



รูปที่ 5 ผลการทดสอบสถิติค่าเฉลี่ย PO_4^{3-} ในแต่ละวัน

3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ที่มีตัวกลางและไม่มีตัวกลาง

ประสิทธิภาพการกำจัดของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ที่มีตัวกลางของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ซีโอดี (COD) ออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) มีค่าร้อยละ 100.00 92.86 91.26 86.78 และ 37.35 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ที่ไม่มี

ตัวกลาง ซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) มีค่าร้อยละ 92.43 92.31 91.88 53.19 และ 39.76 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ที่มีตัวกลาง และไม่มีตัวกลางพบว่า ระบบบำบัดที่มีตัวกลาง มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ได้สูงกว่า เนื่องจากเปลือกหอย อิฐบล็อก และซีโอไลต์ มีพื้นผิวเป็นรูพรุน ทำให้เกิดกระบวนการดูดซับ (Adsorption) ไว้ที่ผิวของตัวกลางโดยเฉพาะของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) จะดูดซับไว้ในตั้งแต่ HRT วันแรก จนถึง HRT วันที่ 6 และยังเกิดกระบวนการยึดติดของจุลินทรีย์อยู่บนผิวตัวกลาง (Fixed film process) ทำให้ระบบบำบัดที่มีตัวกลาง มีประสิทธิภาพการกำจัดได้ดี ส่วนระบบบำบัดไม่มีตัวกลาง มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) สูงกว่าเล็กน้อย และทั้ง 2 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (COD) ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ที่มีตัวกลางและไม่มีตัวกลาง HRT 6 วัน

พารามิเตอร์ (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการกำจัดระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์	
	มีตัวกลาง	ไม่มีตัวกลาง
TSS	100.00 ± 0.00	92.31 ± 1.00
Oil & Grease	37.35 ± 0.30	39.76 ± 0.50
COD	92.86 ± 12.00	92.43 ± 15.00
PO_4^{3-}	86.78 ± 0.07	53.19 ± 0.04

4. สรุปผลการศึกษา

คุณลักษณะน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ที่มีตัวกลางและไม่มีตัวกลางพารามิเตอร์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) มีปริมาณการลดลงแตกต่างกันทุกวัน ตั้งแต่ HRT วันที่ 1 ถึง วันที่ 6 น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) มีปริมาณการลดลงแตกต่างกันใน HRT วันที่ 3 5 และวันที่ 6 และออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ปริมาณการลดลงแตกต่างกันตั้งแต่

HRT วันที่ 4 ถึงวันที่ 6 ส่วนซีโอดี (COD) มีปริมาณการลดลงต่างกัน ใน HRT วันที่ 4 ถึงวันที่ 6 แต่ปริมาณที่ลดลง ไม่มีความแตกต่างกันของทั้ง 2 ระบบบำบัด

ดังนั้น ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีตัวกลางจะเกิดกระบวนการดูดซับ (Adsorption) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ตั้งแต่วันแรก และเริ่มสร้างฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) บนตัวกลางของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชั้นเลเยอร์ ในวันที่ 4 สังเกตจากพารามิเตอร์ออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และซีโอดี (COD) มีปริมาณลดลงต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างระบบบำบัดที่มีตัวกลางและไม่มีตัวกลาง สำหรับวันที่ 6 การเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ยึดติดบนตัวกลาง เพื่อสร้างฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ทำให้การบำบัดซีโอดี (COD) ไม่แตกต่างกันในทั้ง 2 ระบบ ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีตัวกลาง แต่มีการเติมอากาศ จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ซึ่งดีกว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่มีตัวกลาง สำหรับงานวิจัยครั้งถัดไป ควรสร้างฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ให้จุลินทรีย์ยึดติดบนตัวกลาง ก่อนการบำบัด 8 – 10 วัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในระบบบำบัดที่มีตัวกลาง และควรศึกษาระยะเวลาของตัวกลางที่จะต้องนำกลับมาใช้ใหม่ (Regenerate) เพื่อไม่ให้ตัวกลางเกิดเป็นของเสียต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะสาธารณสุขศาสตร์ และ คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dow Chemical Co. A Literature Search and Critical Analysis of Biological Trickling Filter Studies. Environmental Protection Agency Water Pollution Control Research Series; 1971 December. Report No.: 17050 DDY 12/71.
- [2] Canler JP, Perret JM, editors. Biological aerated filters: assessment of the process based on 12 sewage treatment plants: Elsevier.
- [3] Limtrakul J. Zeolite Chemistry. Journal of science. 1997;51(6):420-2.
- [4] Kharemdabeh Y, onthong U. Phosphate adsorption on zeolites by computation chemistry. journal of Thaksin. October 2008- January 2009;11(3). (in Thai)
- [5] Kanjanasuntorn P. The effect of media on phosphorus removal from domestic wastewater using vertical flow constructed wetland: Chulalongkorn University; 2007. (in Thai)
- [6] Patpu P. Removal of fluoride from drinking water by volcanic rock and cockle shell: kasetsart University; 2004. (in Thai)
- [7] Tiwapat S. Study of turbidity removal efficiency by pervious interlocking concrete paving blocks with cockle seashell and green mussel: kasetsart University; 2016. (in Thai)
- [8] APHA AWWA and WEF. Standard methods for the examination of water and wastewaters. 23rd ed. American Public Health Association - American Water Works Association - Water Pollution Control Federation; 2017.
- [9] Abdel-rahim MM. sustainable use of natural zeolites in aquaculture: A short review. Juniper journals. 2017;2(4).
- [10] Wongkitrungruang W. A Downflow biofilter using sea shells as filter media. Master's degree in environmental engineering. Department of environmental engineering. Faculty of Engineering. Chulalongkorn university; 2000. (in Thai)
- [11] Kanjanasuntorn P. The effect of media on phosphorus removal from domestic wastewater using vertical flow constructed wetland: Chulalongkorn University; 2007. (in Thai)

- [12] Ning P, Bart H-J, Li B, Lu X, Zhang Y. Phosphate removal from wastewater by model-La(III) zeolite adsorbents. *Journal of Environmental Sciences*. 2008;20(6): 670-4.
- [13] Chan H. Removal and recycling of pollutants from Hong Kong restaurant wastewaters. *Bioresource technology*. 2010;101(17): 6859-67.
- [14] Sinthurat P. Improvement of effluent from domestic wastewater treatment plan using filtration concrete rubbish media: Chulalongkorn University; 2000. (in Thai)
- [15] Sakadevan K, Bavor HJ. Phosphate adsorption characteristics of soils, slags and zeolite to be used as substrates in constructed wetland systems. 1998:393.

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสืบสวนสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ทางภูมิศาสตร์ ของผู้ต้องหาหรือจำเลยตามหมายจับของศาล

รพีภัค ธารธรพิทักษ์^{1*} และพัชรา สิ้นลอยมา²
maieak2939@gmail.com^{1*}, sinloyma@gmail.com²

^{1,2} คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

Received	: 22-May-2020
Revised	: 12-Oct-2020
Accepted	: 26-Oct-2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ทางภูมิศาสตร์ของผู้ต้องหาตามหมายจับของศาล และประเมินผลประสิทธิภาพการทดลองใช้ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น โดยการวิจัยเป็นการพัฒนาระบบแอปพลิเคชันเพื่อสืบสวนแกะรอยจากไอพีแอดเดรส ใช้วิเคราะห์ข้อมูลหาพิกัดตำแหน่งที่อยู่ของผู้ต้องหา รวมถึงรายละเอียดเครื่องมือสื่อสาร เช่น โทรศัพท์มือถือ หรือคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของผู้ต้องหา ซึ่งปัจจุบันนี้เทคโนโลยีสารสนเทศที่มีการพัฒนาการสื่อสารอย่างไร้ขีดจำกัด ประชาชนทั่วไปรวมถึงผู้ต้องหาตามหมายจับต่างก็ใช้เทคโนโลยีติดต่อสื่อสารผ่านทางโซเชียลเน็ตเวิร์ก จึงสามารถใช้ระบบสืบสวนที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการสืบสวนติดตามและวิเคราะห์หาที่อยู่ทางภูมิศาสตร์ได้ ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งกลับมายังฐานข้อมูลเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย และแสดงผลข้อมูลที่ได้ในรูปแบบเว็บไซต์ ซึ่งข้อมูลและผลที่ได้จากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานของระบบที่ผู้วิจัยวางโปรแกรมการทำงานไว้ สามารถวิเคราะห์หาพิกัดตำแหน่งที่อยู่ของผู้ต้องหาได้ แต่ขั้นตอนและวิธีการทำงานเป็นข้อมูลเชิงลับ ผู้ที่จะเข้าถึงข้อมูลได้ต้องเป็นผู้ที่เกี่ยวข้องและมีอำนาจสืบสวน และไม่ควรถูกเปิดเผยต่อสาธารณะ

คำสำคัญ: การสืบสวน ผู้ต้องหา ไอพีแอดเดรส พิกัดภูมิศาสตร์

Development of an Investigating Web Application for the Analysis of Geographic Information System of the Suspect or Defendant Under the Arrest Warrant

Rapeephak Tharatornpitak^{1*} and Patchara Sinloyma^{2*}
maieak2939@gmail.com^{1*}, sinloyma@gmail.com²

^{1,2} Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy

Received	: 22-May-2020
Revised	: 12-Oct-2020
Accepted	: 26-Oct-2020

Abstract

The objectives of this research are to develop analysis system in geographic information of the suspect or defendant as well as evaluation of the efficiency in experiment of web application system. The research is to develop application system for investigation and trace from IP address. Also, it is to develop in analysis data, location and information of communication devices of suspects such as mobile phones or personal computer. Currently, technology information has advanced that lead to unlimited communication. Public and suspect under arrest warrant also employ communication technology via social networks. Thus, the investigative system that develop by the researcher can assist to trace and analysis address from geographic information. The aforesaid information will deliver to database in computer server and present in the website. If the data and results from the experiment are consistent with operating condition that set by the researcher, the location of the suspect will be analyzed. However, operation and procedure must be confidential and undisclosed to public. Access into data and information must conduct by relevant person and authority in investigation.

Keywords: investigation, suspect, IP address, geographic information system

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีได้มีวิวัฒนาการก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วทั้งด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) การเข้าถึงเทคโนโลยีของผู้ใช้งานก็ง่ายและสะดวก แต่ก็มีคนบางกลุ่มที่นำเทคโนโลยีเหล่านี้ไปใช้ในทางที่ผิดจึงทำให้การกระทำความผิดทางเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนมากขึ้น และก่อให้เกิดความเสียหายมีมูลค่ามากกว่าความเสียหายในรูปทรัพย์สิน และส่งผลเสียหายใหญ่หลวงต่อคนจำนวนมาก บุคคล เศรษฐกิจ และ รวมไปถึงความมั่นคงของประเทศ และมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

[1] ปัญหาอาชญากรรมที่มีความสลับซับซ้อนทำให้การสืบสวนแสวงหาพยานหลักฐานหรือการสืบสวนติดตามผู้กระทำความผิดมาลงโทษตามกระบวนการของกฎหมายจึงเป็นไปได้ยาก อีกทั้งทำให้การปฏิบัติหน้าที่ขององค์กรที่บังคับใช้กฎหมายมีความยากลำบาก กล่าวคือ เมื่อเกิดปัญหาอาชญากรรมขึ้นแล้วนั้นเป็นหน้าที่ขององค์กรที่บังคับใช้กฎหมายมีหน้าที่ต้องสืบสวนแสวงหาพยานหลักฐานและนำตัวผู้กระทำความผิดมาลงโทษตามกฎหมายให้ได้ไม่ว่าจะยากลำบากแค่ไหนก็ตาม เพื่อรักษาไว้ซึ่งความสงบเรียบร้อยเป็นหลักประกันความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน แต่เนื่องจากบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถนั้นอาจมีไม่พอกับปัญหาอาชญากรรมที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีความสลับซับซ้อนมากขึ้น ประกอบกับการที่ประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังมีการพัฒนาหลายด้านพร้อมกัน ซึ่งเมื่อคนร้ายก่อเหตุอาชญากรรมแล้ว พฤติการณ์ทั่วไปจะหลบหนีไปอยู่ที่อื่นและยากที่ตำรวจจะสืบสวนติดตามจับกุมดำเนินคดี ซึ่งบางครั้งนานจนทำให้ขาดอายุความ จากข้อมูลสำนักงานตำรวจแห่งชาติ พบว่า จำนวนบุคคลที่กระทำความผิดและมีหมายจับ มีจำนวนที่ค่อนข้างมาก [2]

จากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยได้เล็งความสำคัญของปัญหา กล่าวคือ เป็นไปได้ยากที่เจ้าหน้าที่ตำรวจจะสืบสวนติดตามจับกุมตัวคนร้ายมาดำเนินคดี เพราะพฤติกรรมของคนร้ายส่วนใหญ่จะปกปิดตัวตนที่แท้จริง เมื่อก่อเหตุมักจะหลบหนีและยากที่จะติดตามหรือ

หาพยานหลักฐานเพิ่มเติมในการสืบหาหาที่อยู่ของคนร้าย

จากสถิติ [3] แล้วผู้กระทำความผิดที่มีหมายจับและยังหลบหนีอยู่มีเป็นจำนวนมาก และยังคงเป็นปัญหาที่ภาครัฐกับองค์กรที่บังคับใช้กฎหมายต้องเร่งแก้ไขเพื่อลดปัญหาอาชญากรรมที่เกิดขึ้น หรือที่มีอยู่ เพื่อเป็นหลักประกันความยุติธรรม รวมถึงความสงบเรียบร้อยและความปลอดภัยในชีวิตทรัพย์สินของประชาชน โดยการสืบสวนติดตามผู้กระทำความผิดมาลงโทษตามกระบวนการกฎหมาย เพื่อให้ผู้ร้ายที่ก่อเหตุนั้น ถูกลงโทษตามกระบวนการยุติธรรมและเช็ดหลาบ ไม่กล้าไปก่อเหตุ หรือกระทำความผิดซ้ำอีก [3] ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดประยุกต์ใช้วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเข้ากับเทคนิคสืบสวนพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถเก็บข้อมูลการใช้งานการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตของผู้ที่กระทำความผิด ซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสืบสวนแสวงหาพยานทั้งหลักฐานทางดิจิทัล จากหมายเลขไอพีแอดเดรส (IP Address) และหาพิกัดที่อยู่จนนำไปสู่ตัวผู้กระทำความผิดเพื่อติดตามจับกุมต่อไป

การศึกษาปัญหาและอุปสรรคของการสืบสวนหาคนร้ายและพิกัดที่อยู่ทางภูมิศาสตร์ (Geolocation) ของผู้ต้องหาหรือจำเลยตามหมายจับของศาล เป็นปัญหาอาชญากรรมที่มีความสลับซับซ้อนทำให้การสืบสวนแสวงหาพยานหลักฐานหรือการสืบสวนติดตามผู้กระทำความผิดมาลงโทษตามกระบวนการของกฎหมายเป็นไปได้ยาก อีกทั้งทำให้การปฏิบัติหน้าที่ขององค์กร ที่บังคับใช้กฎหมายมีความยากลำบาก กล่าวคือ เมื่อเกิดปัญหาอาชญากรรมขึ้นแล้วนั้น เป็นหน้าที่ขององค์กรที่บังคับใช้กฎหมายจะต้องทำการสืบสวนแสวงหาพยานหลักฐานและนำตัวผู้กระทำความผิดมาลงโทษตามกฎหมายให้ได้ เพื่อรักษาไว้ซึ่งความสงบเรียบร้อยเป็นหลักประกันความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน แต่เนื่องจากบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถนั้นอาจมีไม่เพียงพอกับปัญหาอาชญากรรมที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีความสลับซับซ้อนมากขึ้น ประกอบกับการที่ประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังมีการพัฒนาหลายด้านพร้อมกัน ซึ่งเมื่อคนร้ายก่อเหตุอาชญากรรมแล้ว พฤติการณ์ทั่วไปจะหลบหนี

ไปอยู่ที่อื่น และยากที่ตำรวจจะสืบสวนติดตามจับกุม
ดำเนินคดี ซึ่งบางครั้งนั้นอาจทำให้ขาดอายุความ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่
ทางภูมิศาสตร์ (Geolocation) ของผู้ต้องหาหรือจำเลย
ตามหมายจับของศาล

2.2 เพื่อประเมินผลประสิทธิภาพและทดลอง
ใช้ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น

3. สมมติฐานการวิจัย

การตรวจสอบค้นหามหาเลขไอพีแอดเดรส
(IP Address) สามารถวิเคราะห์หาตัวผู้กระทำผิดและ
ที่อยู่ทางภูมิศาสตร์ของผู้ต้องหาหรือจำเลยตามหมาย
จับได้

4. ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 หลักการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ดิจิทัล

นิติวิทยาศาสตร์ดิจิทัล (Digital Forensics) นั้น
เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการสืบค้น กู้คืน วิเคราะห์
และเชื่อมโยงหลักฐานดิจิทัลที่รวบรวมจากอุปกรณ์
คอมพิวเตอร์เพื่อนำไปสู่กระบวนการยุติธรรม เพื่อ
ใช้ในการตัดสินและจับกุมผู้กระทำผิดที่นำ
คอมพิวเตอร์ไปใช้ในทางที่ผิดกฎหมาย

4.2 หลักการสืบสวนโดยใช้วิทยาการ สมัยใหม่

การสืบสวนโดยใช้วิทยาการสมัยใหม่ในปัจจุบัน
เทคโนโลยีได้ถูกพัฒนาไปมากทำให้รูปแบบอาชญากรรม
เปลี่ยนแปลงไปโดยอาศัยเทคโนโลยีสมัยใหม่
เจ้าพนักงานตำรวจจึงจำเป็นต้องสืบสวนติดตาม
จับกุมผู้กระทำผิดให้ได้ โดยอาศัยวิทยาการอันทันสมัย
อันมีผลให้การพิสูจน์ตัวผู้กระทำผิดได้รวดเร็ว เป็นการ
ประหยัดเวลา การสืบสวนให้สั้นลงและระบุตัวผู้กระทำ
ผิดได้แม่นยำขึ้น วิทยาการสมัยใหม่ที่มีบทบาทเพิ่ม
ประสิทธิภาพให้กับงานสืบสวนได้ คือ ระบบฐานข้อมูล
ประวัติอาชญากรรม CDOS (Criminals Database Op-
erating System) ประกอบด้วยระบบข้อมูลย่อย ได้แก่
ประกาศ สืบจับ ประวัติอาชญากรรม ประวัติและตำหนิ
รูปพรรณ แผนประทุษกรรม คนพันโทษ ทรัพย์สิน
รถยนต์ และรถจักรยานยนต์หาย [3]

4.3 เว็บแอปพลิเคชัน (Web application)

เว็บแอปพลิเคชัน คือ การเขียนโปรแกรมที่ให้
ตอบสนองต่อผู้ใช้งานที่สุด แต่รูปแบบของแอปพลิเคชัน
จะอยู่ในรูปแบบของเว็บ ซึ่งนั่นก็คือ สามารถใช้งานได้
ทุกหน้าจอที่มีความแตกต่างของขนาดหน้าจอ เพราะ
สามารถยืดหยุ่นและหดตัวได้ตามสภาพของยูเอไอ (UI)
การพัฒนาระบบงานบนเว็บซึ่งมีระบบมีการไหลเวียน
ข้อมูลแบบออนไลน์ (Online) ทั้งแบบโลคอล (Local)
คือ ภายในวงแลน (LAN) และไกลบอล (Global) คือ
ออกไปยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้เหมาะสำหรับงาน
ที่ต้องการข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real Time)

4.4 เอพีไอ (API)

เอพีไอ (ส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์)
หรือแอปพลิเคชันโปรแกรมมิ่งอินเทอร์เฟซ (Application
Programming Interface) คือ รูปแบบคำสั่งที่นักพัฒนา
จะต้องเรียกใช้เมื่อต้องการเข้าถึงข้อมูลบนเว็บไซต์ที่มี
การเปิด API ไว้ให้ การเข้าถึงข้อมูลอาจเป็นทั้งการนำ
ข้อมูลออกมา หรือเป็นการส่งข้อมูลเข้าไปก็ได้ API
จึงเป็นเสมือนภาษาที่คอมพิวเตอร์ใช้สื่อสารกับ
คอมพิวเตอร์เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน หน้าที่ของเอพีไอ
(API) ช่วยในการเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ หรือจะเป็นการนำ
ข้อมูลต่าง ๆ ออกจากเว็บไซต์ หรือจะเป็นการส่งข้อมูล
เข้าไปก็ได้ โดยเจ้าของเว็บไซต์ที่มี API จะกำหนดขอบเขต
ในการเข้าถึงบริการต่าง ๆ ของทางเว็บไซต์

4.5 HTML Geolocation

Geolocation เป็น API ที่สามารถระบุข้อมูล
ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ เช่น ตำแหน่งละติจูดและลองจิจูด
API จะทำงานเกี่ยวกับข้อมูลตำแหน่ง โดยทั่วไปจะ
ประกอบด้วย GPS และข้อมูลเครือข่ายของอุปกรณ์ที่ใช้
ระบุตำแหน่ง เช่น IP Address, Wi-Fi, Bluetooth, MAC
addresses, GSM/CDMA cell ids เป็นต้น

4.6 Google Geocoding API

Geocoding Requests การเรียกใช้งาน
APIจะใช้รูปแบบดังนี้ [http://maps.googleapis.com/
maps/api/geocode/output?parameters](http://maps.googleapis.com/maps/api/geocode/output?parameters) โดยรับ
ค่าคืนกลับมาในรูปแบบของ HTML โดยการร้องขอจะ

ประกอบไปด้วย Parameter หลัก สามารถเลือกใส่ข้อมูลอย่างใดอย่างหนึ่ง ระหว่าง address (required) ข้อมูลที่อยู่ เช่น บ้านเลขที่ ชื่ออำเภอ หรือจังหวัด หรือ Latlng (Required) ตำแหน่ง Latitude/Longitude จะได้ตำแหน่งเลขที่ (Human-readable address) การใส่ตำแหน่ง แบบนี้เรียกว่า Reverse Geocode [4]

4.7 ไอพีแอดเดรส (IP Address)

IP Address ย่อมาจากคำเต็มว่า Internet Protocol Address คือหมายเลขประจำเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องในระบบเครือข่ายที่ใช้โปรโตคอลแบบ TCP/IP ถ้าเปรียบเทียบกับคือ บ้านเลขที่ของเรานั้นเอง ในระบบเครือข่าย จำเป็นจะต้องมีหมายเลข IP กำหนดไว้ให้กับคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องการ IP ทั้งนี้เวลาที่มีการโอนย้ายข้อมูลหรือส่งงานใด ๆ จะสามารถทราบตำแหน่งของเครื่องที่ต้องการส่งข้อมูลไป จะได้ไม่ผิดพลาดเวลาส่งข้อมูลซึ่งประกอบด้วยตัวเลข 4 ชุด มีเครื่องหมายจุดขึ้นระหว่างชุด เช่น 192.168.100.1 หรือ 172.16.10.1 เป็นต้น หมายเลขไอพีแอดเดรส ของเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะมีค่าไม่ซ้ำกัน

4.8 หลักการพิกัดทางภูมิศาสตร์

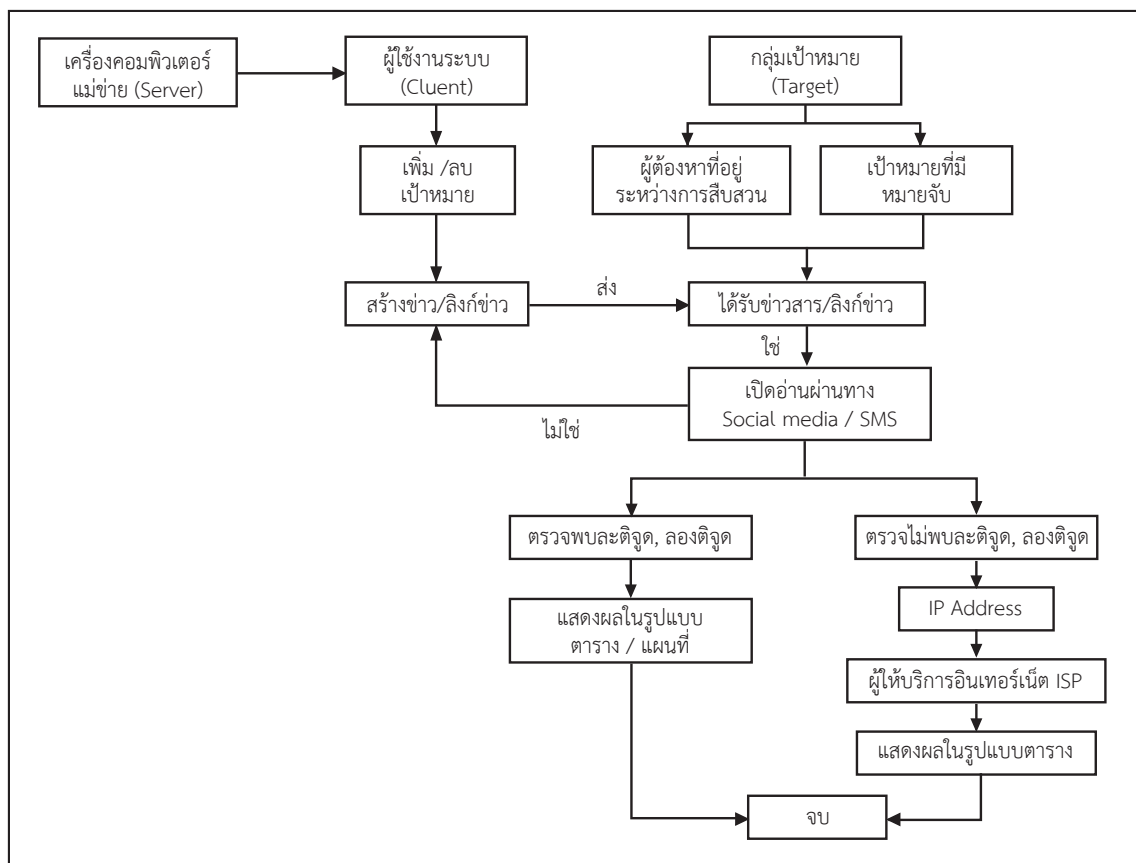
พิกัดภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Coordinates เป็นระบบอ้างอิงบนพื้นผิวโลก ตำแหน่งของจุดใด ๆ บนพื้นผิวโลกสามารถกำหนดได้ด้วยค่าละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยเห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาแอปพลิเคชันสืบสวนติดตามค้นหาคนร้ายที่ปรากฏตามฐานข้อมูลหมายจับ เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ทางภูมิศาสตร์ของผู้ต้องหา โดยแนวคิดของผู้วิจัยในครั้งนี้จะศึกษาต่อยอดจากงานวิจัย การใช้ Whois Based Geolocation ของ Butkovic [5]

Butkovic [5] ได้ทำการศึกษา การใช้ Whois Based Geolocation และ Google Maps API เพื่อการสนับสนุนการสืบสวนทางอาชญากรรมไซเบอร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เทคโนโลยีที่สามารถพัฒนาการตรวจสอบอาชญากรรมไซเบอร์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวกในการทำงานของตำรวจ และตรวจสอบอาชญากรรมทางอินเทอร์เน็ต และได้พัฒนาเครื่องมือการทำแผนที่ ไอพีแอดเดรส ที่เรียกว่า MIPA โดยรวมเทคนิคการทำแผนที่ออนไลน์ และระบุตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของไอพีแอดเดรสและใช้ฟังก์ชันการทำงานของแอปพลิเคชัน จากแหล่งข้อมูลที่แตกต่างกันเพื่อระบุเขตอำนาจศาล ซึ่งอาชญากรรมทางไซเบอร์ไม่ใช่แค่เรื่องเทคโนโลยีสารสนเทศ แต่จะส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคมรวมทั้งบุคคลและธุรกิจได้อีกด้วย วิธีการทำแผนที่เทคนิคและเทคโนโลยีการระบุพิกัดตำแหน่งทาง IP Address สามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว นอกจากนี้ ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ยังสามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ เพื่อค้นหาตำแหน่งของเร้าเตอร์ที่เชื่อมต่อกับไอพีแอดเดรส (IP Address) ของเป้าหมาย โดยใช้ ICMP และคุณลักษณะที่มีอยู่ใน Google Maps API ที่เชื่อมต่อโปรแกรมของ Butkovic [5] กับฐานข้อมูลเพื่อตรวจสอบที่อยู่ไอพีแอดเดรสที่น่าสงสัย

5. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนานวัตกรรมให้เป็นนวัตกรรมการสืบสวนสมัยใหม่ โดยการใช้คำสั่งคอมพิวเตอร์เป็นตัวพัฒนาระบบให้ได้มาซึ่งข้อมูลของเป้าหมาย โดยใช้โซเชี่ยลเน็ตเวิร์กที่มีในปัจจุบันกับเทคนิคสืบสวนของตำรวจในการพัฒนาระบบเพื่อวิเคราะห์หาพิกัดที่อยู่ใช้ในการสืบสวนหาตัวผู้ต้องหาตามหมายจับของศาล [6] โดยกำหนดขอบเขตการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างที่ผู้วิจัยสมมุติขึ้น เพื่อใช้ในการทดสอบระบบ และกลุ่มเป้าหมายที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของศูนย์ข้อมูลสำนักงานตำรวจแห่งชาติหรือและผู้ต้องหาที่กระทำความผิด เช่น การโพสต์ภาพสื่อลามก อานาจารเด็กในโซเชี่ยลมีเดียที่อยู่ในระหว่างการสืบสวนติดตามของตำรวจ เป็นต้น



รูปที่ 1 การทำงานของระบบเว็บแอปพลิเคชัน

6. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้โปรแกรมเนตบินส์ (NetBeans) สำหรับเขียนโปรแกรมที่ใช้พัฒนาแอปพลิเคชันด้วยภาษาจาวา และเป็น Editor ใช้ในการเขียนโค้ดโปรแกรม แวมเซิร์ฟเวอร์ (WAMP SERVER) เป็นซอฟต์แวร์ที่ประกอบด้วย Windows, Apache, MySQL และ PHP. ซึ่งเป็นเครื่องมือในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และจำลองเซิร์ฟเวอร์ และผู้วิจัยได้นำเทคโนโลยี Google Map API มาใช้ โดยมีโปรแกรม AppServ เป็นโปรแกรมจำลองเครื่อง Web Server การเขียนโปรแกรมประกอบด้วยภาษา html JavaScript และเทคโนโลยี Ajax ทำงานร่วมกับภาษา PHP

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่ค้นหาไอพีแอสเดรส (IP Address) พร้อมระบุข้อมูลอุปกรณ์ และพิกัดที่อยู่ (Geolocation) โดยพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็บเพิ่มเติมในส่วน Function ของ Geolocation ที่ทำงานร่วมกับ Google Maps API ซึ่งการทำงานสองส่วนนี้จะแยกกันคนละฐานข้อมูล

และข้อมูลที่ได้จะถูกรวมไว้ในฐานข้อมูลที่ผู้วิจัยได้สร้างไว้ พร้อมทั้งแสดงข้อมูลต่าง ๆ ผ่านบราวเซอร์ให้ผู้ใช้งานต่อไป โดยแนวคิดนี้ต่อยอดมาจาก Whois Based Geolocation ตามแนวคิดของ Butkovic [5] และหลังจากนั้นจึงดำเนินการทดลองกับกลุ่มเป้าหมายทดลอง เพื่อทดสอบระบบและทำการทดลองกับกลุ่มเป้าหมายที่กระทำความผิดจริง

7. การทำงานของระบบเว็บแอปพลิเคชัน

จากภาพที่ 1 แสดงการทำงานของระบบเว็บแอปพลิเคชัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

7.1 เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย ทำหน้าที่ ให้บริการคอมพิวเตอร์ที่เป็นลูกข่ายหรือฝั่งผู้ใช้งานให้ทำงานตามโปรแกรมที่กำหนดไว้

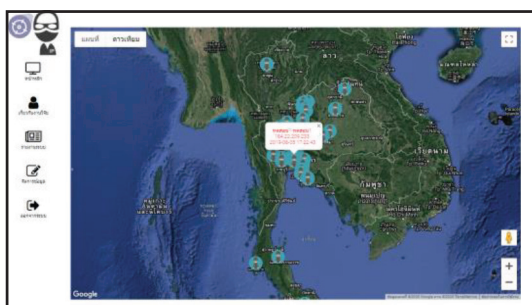
7.2 ผู้ใช้งานระบบ โดยผู้ใช้งานสามารถเพิ่มและลบเป้าหมายที่ต้องการติดตามได้ในระบบ และผู้ใช้งานระบบสามารถสร้างข้อความข่าวเพื่อส่งให้เป้าหมายได้ ซึ่งโปรแกรมจะฝังคำสั่งที่เรียกเก็บข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์หาพิกัดที่อยู่ และรายละเอียดของอุปกรณ์ของ

เป้าหมายให้อัตโนมัติ โดยข้อมูลที่ได้จะถูกส่งกลับมาที่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย ผู้ใช้งานระบบสามารถดูรายละเอียดของเป้าหมายได้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้

7.3 กลุ่มเป้าหมาย คือ กลุ่มเป้าหมายที่ผู้ใช้งาน ระบบต้องการติดตาม ซึ่งจะมีอยู่ 2 แบบ คือเป้าหมายที่มีหมายจับ กับเป้าหมายที่เป็นผู้ต้องหาที่อยู่ระหว่างการสืบสวน ที่ผู้ใช้งานระบบได้เพิ่มข้อมูลลงในระบบติดตาม ซึ่งโปรแกรมจะทำงาน โดยการส่งพิกัดที่อยู่ข้อมูลอุปกรณ์และไอพีแอดเดรสกลับมาที่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เมื่อเป้าหมายมีการคลิกอ่านข้อความข่าวที่ผู้ใช้งานระบบส่งให้

ลำดับ	วันที่	เวลา	สถานะ	ข้อมูล	หมายเหตุ
1	2558-04-10	17:51:04	รอดพ้น	Target 1 (Name: Target 1) - 10.0.0.1 (IP: 10.0.0.1) - 10.0.0.1 (IP: 10.0.0.1)	
2	2558-04-10	18:00:00	รอดพ้น	Target 2 (Name: Target 2) - 10.0.0.2 (IP: 10.0.0.2) - 10.0.0.2 (IP: 10.0.0.2)	
3	2558-04-10	18:05:00	รอดพ้น	Target 3 (Name: Target 3) - 10.0.0.3 (IP: 10.0.0.3) - 10.0.0.3 (IP: 10.0.0.3)	
4	2558-04-10	18:10:00	รอดพ้น	Target 4 (Name: Target 4) - 10.0.0.4 (IP: 10.0.0.4) - 10.0.0.4 (IP: 10.0.0.4)	
5	2558-04-10	18:15:00	รอดพ้น	Target 5 (Name: Target 5) - 10.0.0.5 (IP: 10.0.0.5) - 10.0.0.5 (IP: 10.0.0.5)	
6	2558-04-10	18:20:00	รอดพ้น	Target 6 (Name: Target 6) - 10.0.0.6 (IP: 10.0.0.6) - 10.0.0.6 (IP: 10.0.0.6)	
7	2558-04-10	18:25:00	รอดพ้น	Target 7 (Name: Target 7) - 10.0.0.7 (IP: 10.0.0.7) - 10.0.0.7 (IP: 10.0.0.7)	
8	2558-04-10	18:30:00	รอดพ้น	Target 8 (Name: Target 8) - 10.0.0.8 (IP: 10.0.0.8) - 10.0.0.8 (IP: 10.0.0.8)	
9	2558-04-10	18:35:00	รอดพ้น	Target 9 (Name: Target 9) - 10.0.0.9 (IP: 10.0.0.9) - 10.0.0.9 (IP: 10.0.0.9)	
10	2558-04-10	18:40:00	รอดพ้น	Target 10 (Name: Target 10) - 10.0.0.10 (IP: 10.0.0.10) - 10.0.0.10 (IP: 10.0.0.10)	

รูปที่ 2 ข้อมูลที่ระบบประมวลผลได้ในรูปแบบตาราง



รูปที่ 3 ข้อมูลที่ระบบประมวลผลได้ในรูปแบบแผนที่

7.4 การแสดงผลข้อมูลที่ระบบประมวลได้

(1) การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบตาราง ดังตัวอย่างในรูปที่ 2

(2) การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบแผนที่ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3

โดยรายละเอียดข้อมูลที่แสดงผลของทั้ง 2 รูปแบบ มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่แสดงผลจากการติดตามเป้าหมาย

ข้อมูล	คำอธิบาย
DATE	วันและเวลาที่เป้าหมายเปิดอ่านลิงก์ข่าวที่ผู้ใช้งานส่งให้
IP Address	ไอพีแอดเดรสที่ได้จากการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตของเป้าหมาย
ชื่อ-สกุล	ชื่อ-สกุลของเป้าหมายที่เปิดอ่านลิงก์ข่าว ตามที่ผู้ใช้งานส่งให้
ข้อมูลอุปกรณ์	ข้อมูลอุปกรณ์ของเป้าหมายที่ใช้เปิดอ่านลิงก์ข่าวที่ผู้ใช้งานส่งให้
ข้อมูล ISP	ข้อมูลผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตของเป้าหมายที่เปิดอ่านลิงก์ข่าวที่ผู้ใช้งานส่งให้
พิกัดที่พบเป้าหมาย	ละติจูดและลองจิจูดของอุปกรณ์ที่เป้าหมายใช้เปิดอ่านลิงก์ข่าวที่ผู้ใช้งานส่งให้ในขณะนั้น

8. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาข้อมูลสำคัญที่เกี่ยวข้องตั้งเป้าหมาย โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

8.1 กลุ่มที่มีพฤติกรรมที่โพสต์สื่อลามกอนาจารเด็กในโซเชียลมีเดีย ผู้วิจัยได้สำรวจข้อมูลจากเว็บไซต์ vk.com ซึ่งเป็นเว็บไซต์ประเภทโซเชียลมีเดีย

8.2 กลุ่มที่ถูกจับแล้วหลบหนี หรือกลุ่มที่ศาลออกหมายจับแล้วหลบหนี ซึ่งเป็นผู้ต้องหาที่พนักงานสอบสวนรับคดีแล้ว รวมถึงกลุ่มเป้าหมายที่มีหมายจับในระบบฐานข้อมูลหมายจับของสำนักงานตำรวจแห่งชาติ [2]

9. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้สรุปผลการศึกษาข้อมูล ที่ได้จากการพัฒนาระบบสืบสวนหาคนร้ายและพิกัดที่อยู่ทางภูมิศาสตร์ของผู้ต้องหาหรือจำเลยตามหมายจับของศาล [6-7] ซึ่งการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ผู้วิจัยได้นำโปรแกรมติดตั้งไว้กับเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการเว็บโฮสติ้ง ซึ่งระบบนี้จะทำงานในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน โดยการทดลองใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ มีรายละเอียดและฟังก์ชันที่ใช้งานง่ายและสะดวก เมนูเป็นภาษาไทย และมีระบบความปลอดภัย

การทดลองครั้งที่ 1 ผู้วิจัยได้กำหนดเป้าหมายจำนวน 10 เป้าหมาย และจากการทดลอง พบว่าโปรแกรมที่นำไปติดตั้งกับเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการเว็บไซต์ สามารถทำงานได้ปกติ แต่ข้อมูลที่ระบบประมวลผลได้บางรายการ ยังไม่เป็นที่น่าพอใจในการทดลองครั้งนี้

การทดลองครั้งที่ 2 ผู้วิจัยได้เพิ่มคำสั่งในโปรแกรม เพื่อหาข้อมูลจากผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตของเป้าหมายเพิ่ม 1 คำสั่ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำมาสนับสนุนการหาพิกัดที่อยู่ของเป้าหมาย และได้กำหนดเป้าหมายเพิ่มอีกจำนวน 10 เป้าหมาย รวมเป็น 20 เป้าหมาย จากการทดลอง พบว่า โปรแกรมสามารถทำงานได้ปกติ และข้อมูลที่ระบบประมวลผลได้ มีข้อมูลเพิ่มเติมจากผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตของเป้าหมาย แต่ในบางรายการก็ยังไม่สามารถหาข้อมูลพิกัดที่อยู่ได้ อาจเนื่องด้วยข้อจำกัดในการเข้าถึงข้อมูลอุปกรณ์ซึ่งมีหลายสาเหตุ เช่น อุปกรณ์นั้นไม่มี GPS หรือไม่เปิด GPS ไว้

จากการทดลอง พบว่า การใช้ระบบสืบสวนติดตามและค้นหาผู้กระทำผิดด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่สามารถประยุกต์ใช้ในการสืบสวนหาพยานหลักฐานทางดิจิทัลและหาพิกัดที่อยู่ของคนร้ายได้ และข้อมูลที่ระบบประมวลผลได้ เป็นไปตามที่ได้โปรแกรมเอาไว้ ซึ่งเป็นที่น่าพอใจ โดยผลการทดลองครั้งที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 4 และ 5

10. สรุปผลการวิจัย

จากการที่ผู้วิจัยได้ ศึกษาปัญหาอุปสรรคและพัฒนากระบวนการสืบสวนติดตามและค้นหาผู้กระทำผิดสำเร็จรูปด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่จนไปถึงกระบวนการทำทดลองกับกลุ่มเป้าหมายตัวอย่างเพื่อทดสอบสมมุติฐานพบว่า

10.1 ปัญหาอุปสรรคของเจ้าหน้าที่ตำรวจในการสืบสวนหาตัวผู้กระทำผิดมาลงโทษตามกฎหมายนั้นเป็นปัญหาสำคัญ และยังคงเป็นปัญหาของกระบวนการยุติธรรมที่ยังติดตามผู้กระทำผิดกฎหมายที่ยังหลบหนีอยู่ ซึ่งมีเป็นจำนวนมาก และประเทศไทยยังไม่มีเทคโนโลยีที่สามารถติดตามหาตัวผู้กระทำผิดเหมือนต่างประเทศ อย่างเช่น สำนักงานตำรวจแห่งบอสเนีย และเฮอร์เซโกวีนา [5] ที่ใช้ Whois Based Geolocation และ Google Maps API เพื่อการสนับสนุนการสืบสวนทางอาชญากรรมไซเบอร์ ซึ่งปัจจุบันปัญหาอาชญากรรมทางไซเบอร์ของประเทศไทย นั้นไม่ใช่แค่เรื่องการโจมตีระบบ แต่ มีอาชญากรรมที่เกี่ยวข้องอีกหลายจำพวก เช่น ผู้ค้ายา ค้าประเวณี และค้าสื่อลามกอนาจารที่เป็นเด็ก เป็นต้น ซึ่งคนร้ายอาจใช้อีเมล (Email) หรือ เฟสบุ๊ก (Facebook) ไลน์ (Line) ที่ปกปิดตัวตนที่แท้จริง เพื่อ กระทำผิด และเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศไทย ในขณะนี้นั้นวันยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

10.2 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เป็นแนวคิดที่ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาและอุปสรรคตามข้อ 10.1 ที่ผู้วิจัยได้ศึกษาเทคโนโลยีที่ต่าง ๆ สามารถประยุกต์ใช้พัฒนาเป็นแอปพลิเคชัน (Application) ที่ทำงานบนเว็บเบราว์เซอร์ สำหรับสนับสนุนการทำงานของเจ้าหน้าที่ตำรวจในการสืบสวนหาตัวผู้กระทำผิดมาลงโทษตามกฎหมายโดยใช้พื้นฐานของเทคโนโลยีส่วนต่อประสานโปรแกรมหรือเอพีไอ (API) หลักการทำงานของ ไอพีแอดเดรส (IP Address) ที่สามารถระบุตัวตนผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตรวมไปถึงวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับตัวคนร้ายหรือพิกัดที่อยู่พร้อมความหมายที่เจ้าหน้าที่ตำรวจต้องการติดตาม









Show10▼entries

Search:

ลำดับ	DATE	IP Address	ชื่อ ฮอสต์	ข้อมูลอุปกรณ์	ข้อมูล ISP	พิกัดที่พบเป็นนามวน	ช่องทาง
1	2019-04-02 16:24:03	171.5.91.184	ทดสอบ3 ทดสอบ3	Mozilla/5.0 (Linux; Android 7.1.1; CPH1723 Build/N6F26Q; vv) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Version/4.0 Chrome/73.0.3683.90 Mobile Safari/537.36 Line/9.4.2/iAB		16.5696844 100.9855991	
2	2019-04-02 16:28:40	101.108.25.232	ทดสอบ5 ทดสอบ5	Mozilla/5.0 (Windows NT 6.1) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/73.0.3683.86 Safari/537.36			
3	2019-04-02 17:04:02	1.47.138.225	ทดสอบ10 ทดสอบ10	Mozilla/5.0 (Linux; Android 8.1.0; SM-J415F Build/M1AJQ; vv) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Version/4.0 Chrome/73.0.3683.90 Mobile Safari/537.36 Line/9.4.2/iAB		15.377602 100.0338882	
4	2019-04-02 17:05:33	223.24.165.68	ทดสอบ6 ทดสอบ6	Mozilla/5.0 (Linux; Android 8.1.0; vivo 1723 Build/OPM1.171019.026; vv) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Version/4.0 Chrome/73.0.3683.90 Mobile Safari/537.36 Line/9.4.2/iAB			
5	2019-04-02 17:12:19	223.207.241.81	ทดสอบ9 ทดสอบ9	Mozilla/5.0 (iPhone; CPU iPhone OS 10_3_2 like Mac OS X) AppleWebKit/603.2.4 (KHTML, like Gecko) Mobile/14F89 Safari Line/8.7.0		16.321810989823025 101.17838307014134	
6	2019-04-02 17:35:19	223.24.62.88	ทดสอบ10 ทดสอบ10	Mozilla/5.0 (Linux; Android 8.1.0; SM-J415F Build/M1AJQ; vv) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Version/4.0 Chrome/73.0.3683.90 Mobile Safari/537.36 Line/9.4.2/iAB		15.2591053 100.3198532	
7	2019-04-02 17:36:55	1.47.37.191	ทดสอบ1 ทดสอบ1	Mozilla/5.0 (Linux; Android 8.0.0; SM-A605G Build/R16NW; vv) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Version/4.0 Chrome/73.0.3683.90 Mobile Safari/537.36 Line/9.4.2/iAB			
8	2019-04-02 18:01:42	223.24.172.228	ทดสอบ6 ทดสอบ6	Mozilla/5.0 (Linux; Android 7.0; BLL-L22 Build/HUAWEIBLL-L22; vv) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Version/4.0 Chrome/72.0.3626.105 Mobile Safari/537.36 Line/9.2.1/iAB			
9	2019-04-02 19:00:40	184.22.210.181	ทดสอบ8 ทดสอบ8	Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10_14_4) AppleWebKit/605.1.15 (KHTML, like Gecko) Version/12.1 Safari/605.1.15			
10	2019-04-02 19:13:24	223.24.95.3	ทดสอบ7 ทดสอบ7	Mozilla/5.0 (iPhone; CPU iPhone OS 8_4_1 like Mac OS X) AppleWebKit/600.1.4 (KHTML, like Gecko) Mobile/12H321 Safari Line/7.16.0			

Showing 1 to 10 of 330 entries

Previous12345...33Next

รูปที่ 4 ผลการทดลองครั้งที่ 2















10

entries

Search:

ลำดับ	DATE	IP Address	ชื่อ ฮอสต์	ข้อมูลอุปกรณ์	ข้อมูล ISP	พิกัดที่พบเป็นนามวน	ช่องทาง
11	2019-04-03 13:16:36	171.5.91.184	ทดสอบ12 ทดสอบ12	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/73.0.3683.86 Safari/537.36	mx-ll-171.5.91-184.dynamic.3bb.co.th	16.569710999999999 100.9854652	
12	2019-04-03 13:23:57	171.5.91.184	ทดสอบ11 ทดสอบ11	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/73.0.3683.86 Safari/537.36	mx-ll-171.5.91-184.dynamic.3bb.co.th	16.5697123 100.9854551	
13	2019-04-03 13:39:52	223.24.164.169	ทดสอบ13 ทดสอบ13	Mozilla/5.0 (iPhone; CPU iPhone OS 8_4_1 like Mac OS X) AppleWebKit/600.1.4 (KHTML, like Gecko) Mobile/12H321 Safari Line/7.16.0	ppp-223-24-164-169.revip6.asianet.co.th		
14	2019-04-03 13:43:50	171.5.91.184	ทดสอบ2 ทดสอบ2	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/73.0.3683.86 Safari/537.36	mx-ll-171.5.91-184.dynamic.3bb.co.th	16.5697102 100.9854602	
15	2019-04-03 13:43:54	171.5.91.184	ทดสอบ2 ทดสอบ2	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/73.0.3683.86 Safari/537.36	mx-ll-171.5.91-184.dynamic.3bb.co.th	16.5697102 100.9854602	
16	2019-04-03 15:13:08	171.5.91.184	ทดสอบ20 ทดสอบ20	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/73.0.3683.86 Safari/537.36	3BB Broadband	16.5697115 100.98544860000001	
17	2019-04-03 16:04:45	171.5.91.184	ทดสอบ2 ทดสอบ2	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/73.0.3683.86 Safari/537.36	mx-ll-171.5.91-184.dynamic.3bb.co.th	16.569712 100.9854634	
18	2019-04-03 16:55:21	171.5.91.184	ทดสอบ19 ทดสอบ19	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/73.0.3683.86 Safari/537.36	3BB Broadband	16.5697102 100.985462	
19	2019-04-03 17:27:16	27.131.163.242	ทดสอบ17 ทดสอบ17	Mozilla/5.0 (Windows NT 6.1; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/73.0.3683.86 Safari/537.36	KIRZ Service Provider	13.687175799999999 100.70416189999999	
20	2019-04-03 17:29:01	223.207.243.28	ทดสอบ13 ทดสอบ13	Mozilla/5.0 (iPhone; CPU iPhone OS 12_1_4 like Mac OS X) AppleWebKit/605.1.15 (KHTML, like Gecko) Mobile/1H557 Safari Line/9.2.1	3BB Broadband	16.44521613716171 101.14938813264843	

Showing 11 to 20 of 330 entries

Previous

1

2

3

4

5

...

33

Next

รูปที่ 5 ผลการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

นอกจากข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองสามารถวิเคราะห์หาพิกัดที่อยู่ของผู้ต้องหาแล้ว ผู้วิจัยคาดว่าจะยังสามารถพัฒนาต่อยอดการวิเคราะห์ข้อมูลเป้าหมายในการตรวจยึดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์สื่อสารของผู้ต้องหาเพื่อนำมาตรวจหาพยานหลักฐานทางดิจิทัลต่อไปได้ อีกทั้งหากท่านใดที่จะพัฒนาต่อยอดงานวิจัยนี้ยังสามารถพัฒนาส่วนของฟังก์ชันที่การเรียกใช้ข้อมูลอื่นได้อีกเช่น lac cell id ของอุปกรณ์เป้าหมายหรือที่รู้จักกันว่าคือรหัสตำแหน่งพื้นที่ของที่อยู่และช่วงครอบคลุมของสถานีหรือโหมดเสาส่งสัญญาณอันจะเพิ่มศักยภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลเป้าหมายให้กับผู้ใช้งานได้ต่อไป

11. ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

จากการทำการทดลองมีเป้าหมายบางรายไม่เปิด GPS และ นาน ๆ ครั้งจะเข้ามาเล่นโซเชียลมีเดีย จึงทำให้การติดตามอาจไม่ได้ผลทันทั่วถึง

12. ข้อเสนอแนะสำหรับผู้เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทดลองผู้วิจัยขอเสนอแนะให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเล็งเห็นความสำคัญของปัญหาดังที่ผู้วิจัยได้กล่าวไว้ ซึ่งปัจจุบันบุคลากรเจ้าหน้าที่ตำรวจที่เกี่ยวข้องกับการสืบสวนปราบปรามอาชญากรรมที่ใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เป็นเครื่องมือในการทำงานนั้น ล้วนมีความสามารถอยู่แล้ว แต่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีนั้น เป็นไปอย่างรวดเร็วและประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาหลายด้านพร้อมกัน ประกอบกับปัญหาที่เจ้าหน้าที่ตำรวจต้องทำงานหลายด้าน ทำให้การพัฒนาศักยภาพการทำงานมีอุปสรรค จนเป็นเหตุให้เจ้าหน้าที่พัฒนาเทคนิคการทำงานช้ากว่าเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ผู้วิจัยจึงขอเสนอให้ส่งเสริมเจ้าหน้าที่ตำรวจที่เกี่ยวข้องได้ทำความเข้าใจและศึกษาเรื่องของเทคโนโลยีสารสนเทศต่าง ๆ ที่ประยุกต์ใช้กับงานสืบสวน รวมถึงระบบที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนี้ เพื่อให้เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานก้าวหน้าทันโจรผู้ร้ายในยุคโลกาภิวัตน์ เพิ่มประสิทธิภาพให้กับการทำงานของเจ้าหน้าที่ตำรวจมากขึ้น เพื่อลดปัญหาอาชญากรรมที่มีอยู่หรือเมื่อเกิดเหตุอาชญากรรมต่าง ๆ ขึ้น เจ้าหน้าที่ตำรวจ

สามารถติดตามคนร้ายได้เร็วขึ้น เป็นหลักประกันความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน และพัฒนามาตรฐานการทำงานให้ทัดเทียมสากลประเทศ

13. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป

จากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยขอเสนอแนะให้ผู้วิจัยครั้งต่อไปทำเป็นแผนที่อาชญากรรมที่รวมข้อมูลทุกอย่างไว้ในฐานข้อมูลเดียวกัน เช่น แผนที่คนร้าย แผนที่กล้องวงจรปิด แผนที่บุคคลพันโท แผนที่บ้านบุคคลที่มีหมายจับ ฯลฯ เพื่อเป็นข้อมูลและส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์หรือเอพีไอให้ผู้พัฒนาครั้งต่อไปเรียกใช้ข้อมูลกันได้ง่ายเพื่อประโยชน์แก่การศึกษาและสนับสนุนการทำงานของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานการสืบสวนหาข่าว

14. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kumarnboon P. The promotion of education in cybercrime. journal of criminology and forensic science. 2018; 4(2): 67-81
- [2] Royal Thai Police [Internet]. Person in the arrest warrant. 2018 [cited 2018 Aug 22]. Available from <http://pitc.police.go.th/2014>.
- [3] Crime Suppression Division [Internet]. Knowledge and investigation techniques. 2018 [cited 2018 May 11]. Available from: <http://www.xn-----nqi3eadeyh6fvaad3swablb46b.com/imag/4dimensions-2.pdf>.
- [4] Panpattanakun T. Applying html 5 geolocation api on web application [master's thesis]. Chiang Mai; Chiang Mai University; 2012

- [5] Butkovic A. Using Whois based geolocation and google maps api for support cybercrime investigations. Recent Advances in Telecommunications and Circuit Design: Proceedings of the 17th International Conference on Circuits (part of CSCC'13); 2013 July 16-19; Rhodes Island, Greece, 2013. P. 194-200
- [6] Wongsamerchua T. The development of website and android applications for crime data retrieval system in the Investigation sub-Division of Chiangrai police station [master's thesis]. Bangkok; Thai-Nichi Institute of Technology; 2017.
- [7] Chunitipaisan S. Development of a web based gis application the 1st national geoinformatics conference; 2000 Jun; Bangkok; 2000.p 417-26

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งขนมกลีบลำดวนปราศจากกลูเตน

กิตติพงษ์ สุวิโร^{1*} เดือนเต็ม ทิมายงค์² หทัยรัตน์ ริมศิริ³ และวิหาร ดิปัญญา⁴

kittipong.s@en.rmutt.ac.th^{1*}, duanem_t@taf.mi.th², hathairat.u@ku.ac.th³, wiham.d@rmutp.ac.th⁴

^{1*} คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² กองวิทยาการ กรมพลธิการทหารอากาศ

³ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

⁴ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Received : 22-May-2020
Revised : 09-Jul-2020
Accepted : 26-Oct-2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งขนมกลีบลำดวนปราศจากกลูเตน โดยทดลองแทนที่แป้งสาลีที่เป็นส่วนประกอบหลักของขนมด้วยแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และสารทดแทนกลูเตน ได้แก่ กัวร์กัม แซนแทนกัม และโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองสำหรับช่วยขึ้นรูปโครงสร้างของขนมแทนการใช้กลูเตนในแป้งสาลี ประชุมขนมกลีบลำดวนโดยการผสมส่วนผสมดังกล่าวกับน้ำมันพืช น้ำตาล และเกลือ ปั่นส่วนผสมเป็นรูปดอกกลีบลำดวน จากนั้นนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และนำมาอบควันเทียนเป็นเวลา 15 นาที ทำการทดสอบสี ความแข็ง ปริมาณน้ำอิสระ และโครงสร้างเนื้อขนมกลีบลำดวน ทดสอบทางประสาทสัมผัส การยอมรับของผู้บริโภคในด้านลักษณะที่ปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม และทดสอบอายุการเก็บรักษาของแป้งขนมกลีบลำดวน โดยการคาดคะเนคุณภาพของขนมกลีบลำดวนที่ปรุงจากแป้งที่ผ่านการเก็บในช่องอุณหภูมิเย็นมพอยล์แบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน จากผลการทดสอบสรุปว่า การแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว กัวร์กัม และแซนแทนกัม ทำให้ได้ขนมกลีบลำดวนที่มีสี ความแข็ง และโครงสร้างใกล้เคียงกับขนมกลีบลำดวนแบบเดิมที่ใช้แป้งสาลีซึ่งมีกลูเตนเป็นส่วนประกอบ ส่วนลักษณะที่ปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวมก็ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคใกล้เคียงกับขนมกลีบลำดวนแบบเดิม นอกจากนี้เมื่อนำส่วนผสมดังกล่าวมาบรรจุในช่องอุณหภูมิเย็นมพอยล์จะสามารถเก็บรักษารสชาติและเนื้อสัมผัสได้นาน 6 เดือน

คำสำคัญ: ขนมกลีบลำดวน กลูเตน แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า สารไฮโดรคอลลอยด์

Development of Gluten Free Thai Cookie “Kleeb Lum Duan” Powder

Kittipong Suweero ^{1*} Duanthem Timayoonk ² Hathairat Rimkeeree ³ and Wiharn Deepanya ⁴
kittipong.s@en.rmutt.ac.th ^{1*}, duanthem_t@taf.mi.th ², hathairat.u@ku.ac.th ³, wiharn.d@rmutp.ac.th ⁴

^{1*} Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

² Technical Affairs Division, Quartermaster Directorate of Quartermaster, Royal Thai Air Force

³ Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University

⁴ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

Received	: 22-May-2020
Revised	: 09-Jul-2020
Accepted	: 26-Oct-2020

Abstract

This research aims to develop the product of gluten free Thai cookie “Kleeb Lum Duan” powder by changing the wheat flour (main ingredient) to the rice flour, glutinous rice flour, and gluten substitutes including: guar gum, xanthan gum, and isolated soy protein. These replacing were the ingredients for forming the Thai cookie “Kleeb Lum Duan” structures instead of the gluten from wheat flour. Cooked the Thai Cookies “Kleeb Lum Duan” by mixing with the vegetable oil, sugar, and salt. Sculpted the mixed ingredients as *melodorum fruticosum* flowers and baked them in the oven (150 oC for 10 minutes). Then, the scented candles were used for smoking the cookies (15 minutes). The property tests of Thai cookies “Kleeb Lum Duan” included the color, hardness, water activity, and porous structure. The sensory, and consumer acceptance of Thai cookies “Kleeb Lum Duan” were tested in appearance, color, texture, taste, and overall acceptance properties. In the shelf life of Thai cookie “Kleeb Lum Duan” powder test, it used the predicting from the quality of Thai cookie “Kleeb Lum Duan” when the powder was contained in vacuum aluminum foil for 6 months (at room temperature). According to the results, the rice flour, glutinous rice flour, guar gum, and xanthan gum can use for cooking the Thai cookie “Kleeb Lum Duan” instead of wheat flour. These developed Thai cookie “Kleeb Lum Duan” has the color, hardness, and structure as same as the original Thai cookie “Kleeb Lum Duan” which used the wheat flour or gluten flour. The appearance, color, texture, taste, and overall acceptance properties were accepted by consumers that be similar to the original Thai cookie “Kleeb Lum Duan”. Moreover, the developed Thai cookie “Kleeb Lum Duan” powder can keep in the vacuum aluminum foil for 6 months while the quality does not change.

Keywords: Thai cookie “Kleeb Lum Duan”, gluten, wheat flour, rice flour, hydrocolloid

1. บทนำ

ขนมกลีบลำดวน หรือขนมดอกลำดวน เป็นภูมิปัญญาด้านขนมไทยชนิดหนึ่ง ทำจากแป้งสาลีชนิดเคล้ากับน้ำตาลและน้ำมัน ปั้นเป็นดอก 3 กลีบ มีเกสรกลมตรงกลาง ลักษณะเหมือนดอกลำดวน ปُرุงสุกด้วยการอบหรือผิง และอบด้วยควันเทียนหอม [1] ขนมกลีบลำดวนเป็นขนมมงคล 1 ใน 9 ชนิด ที่ใช้ในงานมงคลมาตั้งแต่อดีตโดยเฉพาะในงานแต่งงาน เนื่องจากมีความเชื่อว่าจะช่วยให้มีชีวิตคู่ที่งดงาม ขนมกลีบลำดวนมีที่มาจากการเล่นรูปทรงขนมให้มีลักษณะคล้ายดอกของต้นลำดวน ซึ่งต้นไม้นี้ชนิดนี้นิยมปลูกในภาคอีสาน โดยเฉพาะจังหวัดศรีสะเกษ เมื่อพิจารณาส่วนผสมจะเห็นว่าขนมกลีบลำดวนเป็นขนมไทยที่ได้รับอิทธิพลมาจากต่างชาติ เพราะมีการใช้แป้งสาลีเป็นส่วนประกอบหลัก แป้งชนิดนี้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในการสร้างโครงสร้างและเนื้อสัมผัสให้ขนมกลีบลำดวนมีความกรอบร่วนเป็นเอกลักษณ์ เนื่องจากแป้งสาลีจะมีโปรตีนที่เรียกว่า กลูเตน (Gluten) ทำหน้าที่เก็บรักษาฟองอากาศไว้ภายในเนื้อขนม [2] แม้ว่ากลูเตนจะช่วยให้ขนมมีเนื้อสัมผัสที่กรอบนุ่มแต่มีผลกระทบต่อผู้ป่วยโรคที่เป็นโรค Celiac Disease หรือผู้ที่มีความไวต่อโปรตีนกลูเตน โรคชนิดนี้จะทำให้ผู้ที่ทานขนมที่มีส่วนประกอบของกลูเตนเกิดอาการ เช่น ท้องเสีย ท้องอืด ท้องผูก คลื่นไส้ และอาเจียน เป็นต้น และอาจมีอาการความผิดปกติอื่นที่เรียกว่า Nonceliac Gluten Sensitivity หรือกลุ่มอาการที่เกิดจากการรับประทานอาหารที่มีกลูเตน เช่น อาการทางระบบทางเดินอาหาร ปวดหัว และปวดข้อ เป็นต้น หากมีการแพ้ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานก็อาจทำให้เกิดโรคมะเร็ง จากผลการสำรวจในปี พ.ศ.2557 พบว่า มีผู้เป็นโรค Celiac Disease จำนวนมากกว่า 75 ล้านคนทั่วโลก [3] ส่วนจำนวนผู้ป่วยที่แพ้กลูเตนในประเทศไทย ยังไม่มีการสำรวจอย่างแน่ชัด แต่คาดว่าจะมีไม่น้อยกว่า 7 แสนคน ด้วยเอกลักษณ์ของขนมกลีบลำดวนที่มีความกรอบร่วนจึงหลีกเลี่ยงการใช้แป้งสาลีหรือแป้งที่มีกลูเตนได้ยาก ปัญหาการแพ้กลูเตนในขนมกลีบลำดวนจึงเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างมาก

ต่อการเผยแพร่ส่งเสริม และรักษาวินัยธรรมการบริโภคขนมไทย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแป้งขนมกลีบลำดวนที่ปราศจากกลูเตนโดยใช้แป้งข้าวไทยและสารทดแทนกลูเตน ได้แก่ สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) และโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (Isolated Soy Protein) ซึ่งเป็นสารสกัดจากธรรมชาติในการช่วยสร้างเนื้อขนมกลีบลำดวนให้มีโครงสร้างแข็งแรงใกล้เคียงกับพันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide Bond) จากสารกลูเตน [4-5] คาดว่าจะช่วยกระตุ้นให้มีการนำข้าวไทยมาใช้ประโยชน์ ส่งผลดีต่อเศรษฐกิจ ราคาข้าวและความนิยมที่มีต่อขนมไทย

2. วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ ประกอบด้วย แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว น้ำตาล เกลือ น้ำมันพืช กัวร์กัม (Guar Gum) แซนแทนกัม (Xanthan Gum) โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (Isolated Soy Protein) เทียนอบขนม เตาอบ เครื่องวัดสี (Reflectance Tintometer) ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM-3500d ระบบ CIE L*a*b* เครื่องวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Lloyd Instrument รุ่น TA 500 พร้อมหัววัดชนิด Compression Probe ขนาด 50 มิลลิเมตร เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity) ยี่ห้อ Aqua Lab กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ตะแกรงร่อนแป้งขนาด 80 เมส (0.18 มิลลิเมตร) และอุปกรณ์ทำครัว ได้แก่ มีด ทัพพี และอ่างผสม



รูปที่ 1 ขนมกลีบลำดวน

3. การพัฒนาสูตรขนมกลีบลำดวน

การพัฒนาสูตรขนมกลีบลำดวนที่ปราศจากกลูเตน เป็นการนำสูตรขนมกลีบลำดวนแบบดั้งเดิม (สูตร A) มาศึกษา และออกแบบสูตรใหม่ โดยใช้แป้งที่ไม่มีส่วนประกอบกลูเตน ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว แทนที่แป้งสาลี และปรับปรุงเนื้อด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ กัวร์กัม แชนแทนกัม และสารสกัดจากถั่วเหลือง รวม 5 สูตร ทุกส่วนมีการผสมน้ำมันพืชในปริมาณตามที่แบ่งที่ผสมจะสามารถปั้นขึ้นรูปได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของขนมกลีบลำดวนโดยน้ำหนัก

ส่วนผสม	สูตรผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวน				
	A	B	C	D	E
แป้งสาลี	240	-	-	-	-
แป้งข้าวเจ้า	-	240	120	120	115
แป้งข้าวเหนียว	-	-	120	120	115
น้ำตาล	140	140	140	140	140
เกลือ	1	1	1	1	1
น้ำมันพืช	150	220	210	190	190
กัวร์กัม	-	-	-	1	-
แชนแทนกัม	-	-	-	1	-
โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง	-	-	-	-	10

4. วิธีการปรุงขนมกลีบลำดวน

เริ่มจากตวงส่วนผสมตามตารางที่ 1 จากนั้นนำแป้ง น้ำตาล เกลือ และสารไฮโดร-คอลลอยด์ (ถ้ามี) มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 80 ลงในอ่างผสม จำนวน 2 ครั้ง ท้ายใส่ส่วนผสมที่เหลือพร้อมทั้งนวดให้น้ำมันพืชกับแป้งผสมเข้ากันแบบเบามือ จนได้แป้งที่นุ่มมือไม่แห้งหรือเหลว พักแป้ง 15 นาที เมื่อครบ 15 นาทีแล้ว ให้ปั้นตัวขนมกลีบลำดวน โดยแบ่งแป้งออกมาทีละนิด ปั้นให้เป็นก้อนกลมแบบเบามือ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 เซนติเมตร ใช้มีดผ่าแป้งที่ปั้นไว้ 4 ส่วน โดยกรีดให้ขาดจากกัน ประกอบดอกจำนวน 3 กลีบ เป็นฐานดอก จับให้แต่ละกลีบติดกันเบามือ จัดดอกให้สวยงาม แล้วจึงปั้นก้อนกลมเล็กใช้มีดกรีด

ให้เป็น 3 กลีบ วางตรงกลางฐานดอก เพื่อเป็นเกสร ดอกลำดวน นำขนมที่ปั้นแล้วเข้าเตาอบ ใช้ไฟบนล่าง อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ให้สีขนมเริ่มเหลือง เมื่ออบเสร็จแล้วให้นำมาวางให้ขนมเย็น และนำมาอบควันเทียนเพื่อให้มีกลิ่นหอมเป็นเวลา 15 นาที ได้ขนมกลีบลำดวนสูตรต่างๆ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบขนมกลีบลำดวนสูตรต่างๆ

5. การทดสอบคุณลักษณะของขนมกลีบลำดวน

ดำเนินการทดสอบคุณลักษณะของขนมกลีบลำดวนทั้ง 5 สูตร ดังต่อไปนี้

5.1 การทดสอบสีของเนื้อขนมกลีบลำดวน

บดเนื้อขนมกลีบลำดวนที่อบแล้วให้เป็นผง แล้วนำไปวัดค่าสีของเนื้อขนมด้วยเครื่องวัดสี (Reflectance Tintometer) ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM-3500d ระบบ CIE L*a*b* ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การทดสอบสีของเนื้อขนมกลีบลำดวน

5.2 การทดสอบความแข็งของขนมกลีบลำดวน

วัดค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer ยี่ห้อ Lloyd รุ่น TA 500 แบบ Texture Profile Analysis วางตัวอย่างขนมกลีบลำดวนหงายขึ้น และใช้หัววัดชนิด Compression Probe

ขนาด 50 มิลลิเมตร กดลงบนตัวอย่างด้วยอัตราเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็นระยะทางร้อยละ 50 ของความสูงตัวอย่าง ดังรูปที่ 4 จากนั้นบันทึกค่าความแข็งของเนื้อขนม (Hardness) [6]



รูปที่ 4 การทดสอบเนื้อสัมผัสของขนมกลีบลำดวน

5.3 การทดสอบปริมาณน้ำอิสระของขนมกลีบลำดวน

วัดค่าปริมาณน้ำอิสระของขนมกลีบลำดวน โดยใช้เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity) ยี่ห้อ Aqua Lab

5.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมกลีบลำดวน

ทดสอบทางประสาทสัมผัสหรือความชอบของขนมกลีบลำดวนทั้ง 5 สูตร ได้แก่ ขนมกลีบลำดวนสูตร A, B, C, D และ E เตรียมตัวอย่าง ทำการทดสอบแบบ Central Location Test ในสถานที่ต่าง ๆ ได้แก่ หน่วยงานราชการ บริษัทเอกชน และวัด โดยการสุ่มผู้ทดสอบแบบโควตา (Quota Sampling) จำนวน 200 คน แบ่งเป็นเพศชาย 100 คน และเพศหญิง 100 คน นำเสนอตัวอย่างโดยสุ่มเลขรหัส 3 หลัก ผู้ทดสอบจะได้รับทีละตัวอย่าง (ระหว่างการทดสอบตัวอย่างใช้ฝรัง และน้ำเปล่าเพื่อขัดล้างสิ่งตกค้าง) ประเมินความชอบของตัวอย่างในด้านลักษณะที่ปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยใช้สเกล 9 Point hedonic scale (1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด, 9 คือ ชอบมากที่สุด) นอกจากนี้ผู้ทดสอบประเมินความพอดี (Just About Right; JAR) (1 คือ น้อยเกินไป, 2 คือ พอดี, 3 คือ มากเกินไป) ของตัวอย่างขนมกลีบลำดวนที่ปราศจากกลูเตน กำหนดให้ความพอดีเท่ากับร้อยละ 70 เป็นเกณฑ์

ที่แสดงว่าตัวอย่างมีความพอดีในคุณลักษณะ [7] โดยมีการวิเคราะห์คะแนนความชอบในคุณลักษณะต่างๆ ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างตัวอย่างด้วย Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

5.5 การทดสอบโครงสร้างของเนื้อขนมกลีบลำดวน

ศึกษาโครงสร้างของเนื้อขนมกลีบลำดวนจำนวน 3 สูตร โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ส่องที่กำลังขยาย 50 เท่า และ 200 เท่า ประกอบด้วย ขนมกลีบลำดวนที่ใช้แป้งสาลี (สูตร A) ขนมกลีบลำดวนปราศจากกลูเตนที่ใช้แป้งข้าวเจ้าแทนที่แป้งสาลีทั้งหมด (สูตร B) และขนมกลีบลำดวนปราศจากกลูเตนสูตรที่มีการปรับปรุงด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งผ่านการคัดเลือกจากขนมกลีบลำดวนสูตร C, D และ E ว่ามีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แป้งขนมกลีบลำดวนปราศจากกลูเตน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเตรียมขนมกลีบลำดวนสำหรับศึกษาโครงสร้าง

5.6 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อขนมกลีบลำดวน

ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมกลีบลำดวนที่ปราศจากกลูเตนที่ได้ใช้ผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายจำนวน 200 คน ในช่วงอายุที่นิยมและมีแนวโน้มบริโภคจากการสำรวจตลาด โดยการสุ่มผู้ทดสอบแบบโควตา (Quota Sampling)

แบ่งเป็นผู้ทดสอบเพศชาย ร้อยละ 50 และหญิง ร้อยละ 50 แบ่งตามช่วง โดยวิธีการทดสอบ นำเสนอตัวอย่าง และใช้แบบสอบถามประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์ ตามแบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมกลีบลำดวน และผู้บริโภคจะถูกถามในเรื่องการยอมรับ/ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ และประมวลผลข้อมูลในด้านความถี่คะแนนความชอบเฉลี่ย

5.7 การทดสอบอายุการเก็บรักษาของแป้งขนมกลีบลำดวน

การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แป้งขนมกลีบลำดวนที่ปราศจากกลูเตนให้ทำการนำส่วนผสมที่ผ่านการยอมรับจากผู้บริโภคแล้ว ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว น้ำตาล เกลือ กัวยี่ม และแซนแทนกัม มาบรรจุในซองอะลูมิเนียมฟอยล์แบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (20 – 25 องศาเซลเซียส) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์แป้งขนมกลีบลำดวนมาทำเป็นขนมกลีบลำดวนตามกระบวนการที่อธิบายไว้ข้างต้น ทำการนำเสนอตัวอย่างและใช้แบบสอบถามประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์ตามแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยการสุ่มผู้ทดสอบแบบโควตา (Quota Sampling) จำนวน 100 คน แบ่งเป็นเพศชาย 50 คน เพศหญิง 50 คน ทำการทดสอบตัวอย่างที่อายุการเก็บรักษา 2, 4 และ 6 เดือน เพื่อคาดคะเนอายุการเก็บรักษาจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์

6. ผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินการพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งขนมกลีบลำดวนปราศจากกลูเตน สามารถสรุปเป็นผลการดำเนินงานแบ่งตามการทดสอบได้ ดังต่อไปนี้

6.1 ผลการทดสอบสีของเนื้อขนมกลีบลำดวน

จากการทดสอบสีของเนื้อขนมกลีบลำดวนสูตรต่างๆ ที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน ในตารางที่ 2 พบว่าขนมกลีบลำดวนที่ปราศจากกลูเตนสูตร B เป็นสูตรที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าในปริมาณมาก จึงทำให้ขนมมีค่าความสว่างหรือมีสีที่ออกขาวมากที่สุด ดังจะเห็นได้จากค่า L^* ของขนมกลีบลำดวนสูตร B ที่มากกว่าสูตรอื่นอย่างชัดเจน [8-9] ส่วนขนมกลีบลำดวนที่มีค่าความสว่างรองลงมาคือ ขนมกลีบลำดวนที่มีการผสมแป้งข้าวเจ้าในปริมาณที่น้อยลงและมีการเพิ่ม

แป้งข้าวเหนียวเข้าไปคือขนมกลีบลำดวนสูตร C และ D ส่วนขนมกลีบลำดวนแบบเดิมที่มีส่วนผสมของแป้งสาลี (สูตร A) และขนมกลีบลำดวนที่ปราศจากกลูเตนที่มีการเติมสารสกัดจากถั่วเหลือง (สูตร E) เป็นสูตรที่มีความสว่างต่ำใกล้เคียงกัน เนื่องจากขนมทั้ง 2 สูตรมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบที่มากกว่าสูตรอื่นๆ จึงทำให้ขนมทั้ง 2 สูตรมีสีขาวยาวที่น้อยกว่าขนมกลีบลำดวนสูตรอื่น

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสีของเนื้อขนมกลีบลำดวน

สูตร	L^*	a^*	b^*	C^*
A	70.32 ± 1.05^c	6.15 ± 0.76^a	20.40 ± 0.56^b	21.19 ± 0.91^a
B	78.02 ± 0.30^a	1.65 ± 0.68^d	17.95 ± 0.58^c	18.03 ± 0.25^b
C	74.00 ± 0.54^b	5.83 ± 0.43^b	21.15 ± 0.50^a	21.94 ± 0.39^a
D	73.83 ± 0.42^b	5.32 ± 0.16^b	21.95 ± 0.34^a	21.59 ± 0.56^a
E	70.15 ± 0.36^c	6.23 ± 1.08^a	20.78 ± 0.76^b	21.65 ± 0.72^a

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

6.2 ผลการทดสอบความแข็งของขนมกลีบลำดวน

ผลจากการทดสอบเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง (Hardness) ของขนมกลีบลำดวนดังตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ขนมกลีบลำดวนที่ปราศจากกลูเตน (สูตร B) ซึ่งเป็นสูตรที่มีการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเจ้าทั้งหมดจะมีค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสมากที่สุด เป็นผลมาจากแป้งข้าวเจ้าเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสมาก ทำให้เนื้อขนมมีความสามารถในการดูดน้ำน้อยและต้องใช้น้ำมันในส่วนผสมมาก เมื่อผ่านกระบวนการทำให้สุก แป้งข้าวเจ้าจะเกิดการพองตัว ทำให้ขนมมีกลีบดอกที่บานมาก และมีเนื้อสัมผัสแข็งที่สุด [9] ส่วนขนมกลีบลำดวนที่มีค่าความแข็งรองลงมาคือ ขนมกลีบลำดวนที่ปราศจากกลูเตนสูตร C สูตร E และสูตร D ตามลำดับ เนื่องจากสูตรดังกล่าวมีปริมาณแป้งข้าวเจ้าที่น้อยกว่าสูตร B ด้วยการแทนที่แป้งข้าวเจ้าที่มีผลต่อความแข็งมากด้วยแป้งข้าวเหนียว โดยองค์ประกอบของแป้งข้าวเหนียวจะมีปริมาณอะไมโลเพคตินมาก ซึ่งองค์ประกอบดังกล่าวจะมีผลต่อคุณสมบัติการละลายน้ำและการให้ความชื้นหนืดที่ดี ทำให้ขนมกลีบลำดวนสูตร C E และ D มีเนื้อขนมแข็งน้อยกว่าขนมสูตร B นอกจากนี้ยังใช้น้ำมันในการผสมขนมน้อยกว่าสูตร

B อีกด้วย นอกจากนี้ยังพบอีกว่าขนมสูตร C และสูตร E มีค่าความแข็งไม่แตกต่างกัน สำหรับผลของสารสกัดจากถั่วเหลืองซึ่งเป็นโปรตีนจะมีบทบาทในการดูดซับน้ำของแป้ง ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและช่วยให้การขึ้นรูปหรือการปั้นขนมสามารถทำได้ง่ายขึ้น โครงสร้างและเนื้อสัมผัสของขนมกลีบลำดวนสูตร E จึงแข็งแรง และมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกรอบร่วน ส่วนขนมกลีบลำดวนสูตร D เป็นสูตรที่มีค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับขนมกลีบลำดวนที่ใช้แป้งสาลี (สูตร A) เนื่องจากขนมกลีบลำดวนสูตร D มีการเติมกัวร์กัมและแซนแทนกัมซึ่งเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความข้นหนืดและความคงตัวให้ขนม รวมทั้งช่วยให้โครงสร้างแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวมีโครงสร้างที่แข็งแรงใกล้เคียงกับพันธะไดซัลไฟด์ของแป้งสาลี [10]

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความแข็งของขนมกลีบลำดวน

สูตร	ความแข็ง (นิวตัน)
A	18.58 ± 2.63^a
B	20.36 ± 1.42^d
C	20.08 ± 0.79^c
D	19.01 ± 0.42^b
E	19.95 ± 0.87^c

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบปริมาณน้ำอิสระของขนมกลีบลำดวน

สูตร	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)
A	0.177 ± 0.52
B	0.271 ± 0.23
C	0.227 ± 0.54
D	0.180 ± 0.39
E	0.182 ± 0.14

6.3 ผลการทดสอบปริมาณน้ำอิสระของขนมกลีบลำดวน

ผลจากการทดสอบปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของขนมกลีบลำดวนทั้ง 5 สูตรในตารางที่ 4 เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราส่วนของความดันไอ (Vapour Pressure) ของน้ำในเนื้อขนมต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา พบว่า ขนมกลีบลำดวนทั้ง 5 สูตรมีค่าปริมาณน้ำอิสระในเนื้อน้อยกว่า 0.5 ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์ทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ [8, 11] ทำให้ขนมทุกสูตรมีแนวโน้มที่จะมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานเมื่อมีการผลิตจำหน่ายในรูปแบบผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทาน

6.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมกลีบลำดวน

เมื่อนำขนมกลีบลำดวน ทั้ง 5 สูตร ไปทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคที่มีคุณลักษณะทางประชากรดังตารางที่ 5 จำนวน 200 คน ซึ่งเป็นผู้บริโภคที่มีอายุอยู่ระหว่าง 12 – 60 ปี เป็นเพศชาย 100 คน และเพศหญิง 100 คน ระดับการศึกษาของผู้บริโภคส่วนใหญ่คือ ระดับปริญญาตรี (ร้อยละ 66.5) รองลงมาคือ อนุปริญญา/ปวส. (ร้อยละ 22) อาชีพส่วนใหญ่ คือ ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ (ร้อยละ 56) รองลงมาคือนักเรียน/นักศึกษา (ร้อยละ 15.5) และรายได้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 15,001 – 20,000 บาท (ร้อยละ 45) รองลงมาคือ 10,001 – 15,000 บาท (ร้อยละ 20) ซึ่งการทดสอบจะให้ความสำคัญกับลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ในตารางที่ 6 โดยขนมกลีบลำดวนที่ทำจากแป้งสาลี (สูตร A) และขนมกลีบลำดวนที่ใช้แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียวกัวร์กัม และแซนแทนกัม (สูตร D) ผู้บริโภคได้ให้คะแนนความชอบเฉลี่ยในระดับที่สูงใกล้เคียงกันในทุกคุณลักษณะ ส่วนขนมกลีบลำดวนที่ผู้บริโภคนำให้คะแนนรองลงมาคือ ขนมกลีบลำดวนที่มีการใช้สารสกัดจากถั่วเหลือง (สูตร E) ขนมกลีบลำดวนที่ปราศจากกลูเตนที่ใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว (สูตร C) และขนมกลีบลำดวนที่ใช้แป้งข้าวเจ้าแทนแป้งสาลีเพียงอย่างเดียว (สูตร B) เป็นขนมกลีบลำดวนที่ได้รับคะแนนความชอบน้อย ตามลำดับ เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านรสชาติพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านรสชาติทุกสูตรไม่แตกต่างกัน โดยมีคะแนน

อยู่ในระดับที่ชอบมาก จึงไม่ต้องทำการประเมินความพอดีและการวิเคราะห์ Binomial Test [7] จากผลการทดสอบดังกล่าวจึงเลือกขนมกลีบลำดวนที่ปราศจากกลูเตนสูตร D ไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อไป

ตารางที่ 5 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของตัวแทนผู้บริโภคที่ร่วมทดสอบต่าง ๆ

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	n = 200		n = 200		n = 100	
	การทดสอบทางประสาทสัมผัส		การทดสอบการยอมรับ		การทดสอบอายุการเก็บรักษา	
	จำนวน (คน)	จำนวน (%)	จำนวน (คน)	จำนวน (%)	จำนวน (คน)	จำนวน (%)
1. เพศ						
- ชาย	100	50	100	50	100	50
- หญิง	100	50	100	50	100	50
2. อายุ						
- 12-17 ปี	2	1	3	1.5	0	0
- 18-25 ปี	41	20.5	32	16	25	25
- 26-40 ปี	128	64	135	67.5	46	46
- 41-60 ปี	29	14.5	30	15	29	29
3.ระดับการศึกษาสูงสุด						
- มัธยมศึกษา/ปวช.	2	1	5	2.5	1	1
- อนุปริญญา/ปวส.	44	22	27	13.5	16	16
- ปริญญาตรี	133	66.5	156	78	77	77
- สูงกว่าปริญญาตรี	21	10.5	12	6	6	6
4. อาชีพ						
- ไม่ประกอบอาชีพ	14	7	12	6	0	0
- นักเรียน/นักศึกษา	31	15.5	37	18.5	12	12
- ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	112	56	104	52	53	53
- พนักงานบริษัท/เอกชน	21	10.5	26	13	17	17
- ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว	22	11	21	10.5	18	18
5. รายได้ต่อเดือน						
- น้อยกว่า 10,001 บาท	7	3.5	10	5	4	4
- 10,001 – 15,000 บาท	40	20	32	16	24	24
- 15,001 – 20,000 บาท	90	45	92	46	14	14
- 20,001 – 25,000 บาท	34	17	40	20	31	31
- 25,001 – 30,000 บาท	11	5.5	13	6.5	12	12
- มากกว่า 30,000 บาท	18	9	13	6.5	15	15

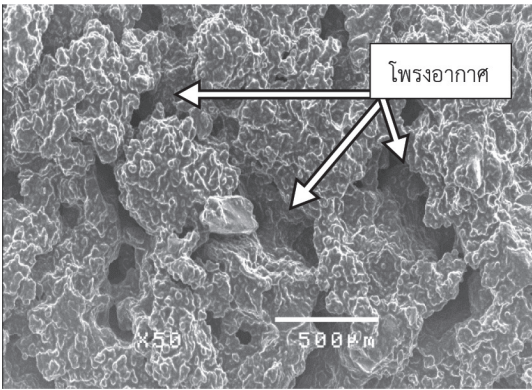
ตารางที่ 6 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมกลีบลำดวน

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบของขนมกลีบลำดวนสูตรต่างๆ				
	A	B	C	D	E
ลักษณะปรากฏ	8.20 ± 1.45 ^a	5.43 ± 1.20 ^b	8.43 ± 1.72 ^a	8.12 ± 1.23 ^a	8.41 ± 1.20 ^a
สี	7.97 ± 1.75 ^a	7.53 ± 1.62 ^a	6.97 ± 1.71 ^b	7.71 ± 1.20 ^a	7.62 ± 0.96 ^a
เนื้อสัมผัส	8.13 ± 1.55 ^a	4.20 ± 2.02 ^d	6.97 ± 1.94 ^b	7.97 ± 1.94 ^a	5.20 ± 1.66 ^c
รสชาติ ^{ns}	8.73 ± 1.36	8.47 ± 1.31	8.43 ± 1.55	8.51 ± 1.98	8.52 ± 1.41
ความชอบโดยรวม	8.10 ± 1.57 ^a	5.87 ± 1.96 ^d	6.03 ± 1.29 ^c	7.87 ± 1.33 ^a	6.50 ± 1.13 ^b

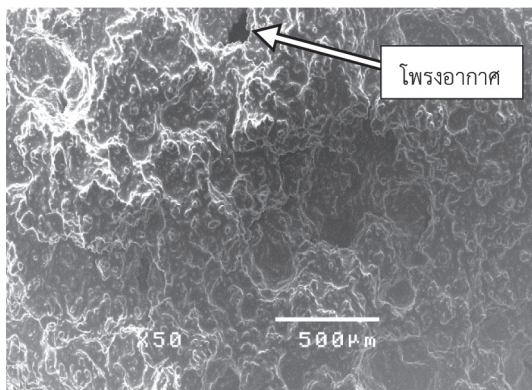
หมายเหตุ ตัวอักษร a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีอักษรต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

6.5 ผลการทดสอบโครงสร้างของเนื้อขนมกลีบลำดวน

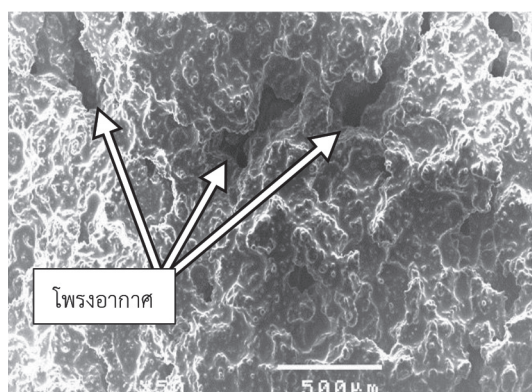
ผลการส่องลักษณะโครงสร้างของเนื้อขนมกลีบลำดวนแบบเดิมที่ใช้แป้งสาลี (สูตร A) ขนมกลีบลำดวนที่ใช้แป้งข้าวเจ้าแทนที่แป้งสาลีทั้งหมด (สูตร B) และขนมกลีบลำดวนที่ใช้แป้งข้าวเจ้าแป้งข้าวเหนียวกั้วร็กัม และแซนแทนกัม (สูตร D) ซึ่งเป็นสูตรที่ผ่านการคัดเลือกว่าเหมาะสมในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แป้งขนมกลีบลำดวนที่ปราศจากกลูเตนด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า มีดังนี้



รูปที่ 6 โครงสร้างขนมกลีบลำดวนสูตร A



รูปที่ 7 โครงสร้างขมกลีบลำคานสูตร B



รูปที่ 8 โครงสร้างขมกลีบลำคานสูตร D

จากรูปที่ 6 ถึง 8 พบว่า โครงสร้างของขมกลีบลำคานแบบดั้งเดิมที่ใช้แป้งสาลีหรือขมกลีบลำคานสูตร A เป็นขมกลีบลำคานที่มีโพรงมากที่สุด เมื่อเปลี่ยนชนิดของแป้งจากแป้งสาลีไปเป็นแป้งข้าวเจ้าทั้งหมด (สูตร B) จะทำให้ขมกลีบลำคานเกิดโพรงขึ้นน้อยมาก และเมื่อมีการผสมแป้งข้าวเหนียว แขนแทนกัม และกัวร์กัมลงในแป้งข้าวเจ้าก็จะช่วยให้ขมกลีบลำคานสูตร D โครงสร้างก็จะเกิดโพรงมากขึ้นอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามการนำกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมาใช้ศึกษาโครงสร้างของโพรงในขมกลีบลำคานสูตร D จะมีปัญหาของน้ำมันที่แทรกอยู่ในโพรงที่มากกว่าขมกลีบลำคานที่ใช้แป้งสาลี (สูตร A) ทำให้ไม่สามารถมองเห็นโพรงได้มากเท่าที่ควร การตรวจสอบโครงสร้างของขมกลีบลำคานจึงจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติอื่นๆ เพิ่มเติม ได้แก่ ความแข็ง และการทำสอบทางประสาทสัมผัสเพิ่มเติม ทั้งนี้ขนาดของโพรงอากาศของขมกลีบลำคานที่ใช้แป้งสาลี (สูตร A) จะมีขนาดประมาณ 300 ถึง 400 ไมโครเมตร ขมกลีบลำคานที่ใช้แป้งข้าวเจ้า (สูตร B) จะมีขนาดประมาณ 200 ไมโครเมตร

และขมกลีบลำคานที่ใช้แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และมีการปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์ (สูตร D) จะมีขนาดโพรงประมาณ 100 ถึง 400 ไมโครเมตร

6.6 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อขมกลีบลำคาน

จากตารางที่ 5 และ 7 พบว่า ตัวแทนผู้บริโภคที่ร่วมทดสอบการยอมรับขมกลีบลำคานที่ปราศจากกลูเตน จำนวน 200 คน เป็นผู้มีอายุอยู่ระหว่าง 12 – 60 ปี เป็นเพศชาย 100 คน และเพศหญิง 100 คน ส่วนใหญ่มีการศึกษาในระดับปริญญาตรี (ร้อยละ 78) รองลงมาคือ อนุปริญญา/ปวส. (ร้อยละ 13.5) ประกอบอาชีพข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจมากที่สุด (ร้อยละ 52) รองลงมาคือ นักเรียน/นักศึกษา (ร้อยละ 18.5) มีรายได้อยู่ในช่วง 15,001 – 20,000 บาท (ร้อยละ 46) รองลงมาคือ 20,001 – 25,000 (ร้อยละ 20) ซึ่งผลทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อขมกลีบลำคานที่ปราศจากกลูเตนสูตร D พบว่า ผู้บริโภคยอมรับขมกลีบสูตรดังกล่าวในด้านลักษณะที่ปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวมในระดับคะแนนความชอบปานกลางถึงชอบมาก หากนำมาพัฒนาเป็นแป้งขมกลีบลำคานที่ปราศจากกลูเตน ผู้บริโภคจะยอมรับในผลิตภัณฑ์ร้อยละ 96 และตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 91 ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ผลทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อขมกลีบลำคานที่ปราศจากกลูเตน

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ
ลักษณะที่ปรากฏ	8.4 + 1.32
สี	8.3 + 0.35
เนื้อสัมผัส	7.2 + 0.98
รสชาติ	8.9 + 1.11
ความชอบรวม	8.1 + 0.90

ตารางที่ 8 ผลทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค
ต่อแป้งขนมกลีบลำดวนที่ปราศจากกลูเตน

n = 200

ข้อมูลการสำรวจ	ความถี่	ร้อยละ
1. ยอมรับผลิตภัณฑ์ แป้งขนมกลีบลำดวน ที่ปราศจากกลูเตน		
- ยอมรับ	192	96
- ไม่ยอมรับ	8	4
2. หากมีผลิตภัณฑ์ แป้งขนมกลีบลำดวนที่ปราศ จากกลูเตนนี้จำหน่าย ท่าน คาดว่าจะ จะซื้อหรือไม่		
- ซื้อ	182	91
- ไม่ซื้อ	18	9

**6.7 ผลการทดสอบอายุการเก็บรักษาของ
แป้งขนมกลีบลำดวน**

สำหรับการทดสอบอายุการเก็บรักษาของ
ขนมกลีบลำดวนปราศจากกลูเตนสูตร D ซึ่งถูกพัฒนา
มาเป็นผลิตภัณฑ์แป้งขนมกลีบลำดวนที่ปราศจาก
กลูเตน เป็นการคาดคะเนอายุการเก็บรักษาจากการ
เปลี่ยนแปลงของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบรรจุ
ในซองอะลูมิเนียมพอยล์แบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง
เป็นเวลา 6 เดือน โดยจะบรรจุเฉพาะส่วนของแป้ง
วัตถุดิบ และสารที่ช่วยในการสร้างโครงสร้างเนื้อขนม
ส่วนน้ำมันพืชที่ใช้จะเป็นน้ำมันพืชใหม่เป็นส่วนผสม
ทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะที่ปรากฏ สี
เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวมทุก 2 เดือน รวม
4 ครั้ง โดยใช้ตัวแทนของผู้บริโภค จำนวน 100 คน
ซึ่งมีลักษณะทางประชากรศาสตร์ในตารางที่ 5 คือ
เป็นผู้บริโภคที่มีอายุอยู่ระหว่าง 12 – 60 ปี เป็นเพศ
ชาย 50 คน และเพศหญิง 50 คน มีระดับการศึกษา
ส่วนใหญ่คือ ระดับปริญญาตรี (ร้อยละ 77) รองลงมา
คือ อนุปริญญา/ปวส. (ร้อยละ 16) อาชีพส่วนใหญ่
คือ ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ (ร้อยละ 53) รองลงมา

คือ ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว (ร้อยละ 18) และรายได้
ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 20,001 – 25,000 (ร้อยละ 31)
รองลงมาคือ 10,001 – 15,000 (ร้อยละ 24) โดย
ผลการทดสอบในตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่า ผู้บริโภค
ให้คะแนนความชอบของขนมกลีบลำดวนจากผลิตภัณฑ์
แป้งขนมกลีบลำดวนที่ปราศจากกลูเตนที่ระยะเวลา
การเก็บตั้งแต่ก่อนบรรจุลงในซองอะลูมิเนียมพอยล์
(0 เดือน) 2 เดือน 4 เดือน และ 6 เดือน ในระดับคะแนนที่
ใกล้เคียงกันหรือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($P>0.05$) ในทุกคุณลักษณะทั้งในด้านลักษณะที่ปรากฏ
สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวม จึงสามารถ
สรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์แป้งขนมกลีบลำดวนที่ปราศจาก
กลูเตนที่บรรจุลงในซองอะลูมิเนียมพอยล์มีอายุการเก็บ
ได้นาน 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง [4]

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบอายุการเก็บรักษาของแป้ง
ขนมกลีบลำดวนที่ระยะเวลาต่างๆ โดยใช้การทดสอบ
ทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
	(สูตรควบคุม)			
ลักษณะที่ปรากฏ ^{ns}	8.1 + 1.65	8.2 + 0.89	8.1 + 0.98	8.2 + 1.06
สี ^{ns}	7.5 + 0.48	7.3 + 1.02	7.4 + 0.53	7.3 + 1.82
เนื้อสัมผัส ^{ns}	7.8 + 1.32	7.7 + 1.14	7.6 + 0.84	7.6 + 1.22
รสชาติ ^{ns}	7.9 + 1.21	8.1 + 0.77	8.2 + 1.34	8.1 + 0.45
ความชอบรวม ^{ns}	7.7 + 1.40	7.5 + 1.64	7.8 + 1.45	7.7 + 1.31

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{ns} หมายถึง สิ่งทดลองไม่แตกต่างกันอย่าง
มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

7. สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งขนม
กลีบลำดวนปราศจากกลูเตน สามารถสรุปผลการ
ดำเนินงานได้ว่า แป้งสาลีที่ใช้ในการทำขนมกลีบลำดวน
ซึ่งมีกลูเตนและทำให้ขนมมีเนื้อสัมผัสกรอบร่วน
เป็นเอกลักษณ์นั้น สามารถใช้แป้งข้าวเจ้าที่มีอะไมโลส
ร่วมกับแป้งข้าวเหนียวที่มีปริมาณอะไมโลเพคติน และ
สารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ กัวร์กัม และแซนแทนกัม
เพื่อให้ได้ขนมกลีบลำดวนปราศจากกลูเตนที่มีเนื้อสัมผัส
กรอบร่วนและมีสีใกล้เคียงกับขนมกลีบลำดวนแบบเดิม
ที่ใช้แป้งสาลีซึ่งมีกลูเตนเป็นส่วนประกอบได้ โดยได้
คะแนนการทดสอบประสาทสัมผัสและการยอมรับ
ในด้านลักษณะที่ปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และ

ความชอบรวมสูงเช่นเดียวกับขนมกลีบลำดวนแบบเดิม ส่วนการทำขนมกลีบลำดวนปราศจากกลูเตนก็มีขั้นตอนที่ใกล้เคียงกับขนมกลีบลำดวนแบบเดิม เมื่อนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แป้งขนมกลีบลำดวนปราศจากกลูเตนที่บรรจุในซองออลูมิเนียมฟอยล์จะสามารถเก็บรักษาสชาติและเนื้อสัมผัสได้นาน 6 เดือน

8. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกรมส่งเสริมวัฒนธรรม กระทรวงวัฒนธรรม ประจำปีงบประมาณ 2562

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of the Royal Society. 2011 Dictionary: Office of the Royal Society version. Bangkok: Office of the Royal Society; 2013. (in Thai)
- [2] Molina-Infante J, Santolaria S, Sanders DS, Fernández-Bañares F. Systematic review: noncoeliac gluten sensitivity. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*. 2015; 41(9): 807-20.
- [3] Kang JY, Kang AH, Green A, Gwee KA, Ho KY. Systematic review: worldwide variation in the frequency of coeliac disease and changes over time. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*. 2013; 38(3): 226-45.
- [4] Gomez FR, Pedro AC, Carlos AB, Cristina MR. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*. 2007; 21(2): 167-73.
- [5] Phillips GO, Williams PA. *Handbook of Hydrocolloids*. 2nd edition, Cambridge: Woodhead Publishing Limited; 2000.
- [6] Shri KS, Steven JM, Syed SHR. *Food Process Engineering: Theory and Laboratory Experiment*. New York: A John Wiley & Sons., Publication; 2000.
- [7] Timayoonk D, Rimkeeree H. Implementation of traditional Thai snack wisdom for the production of semi-ready to cook Khanom Tan powder. *Research on Culture*. 2019; 2(2): 109-20. (in Thai)
- [8] Parnsakhorn S, Langkapin J. Effect of temperature on soaking and drying on quality of parboiled Hom-nin rice. *Journal of Engineering, RMUTT*. 2019; 17(1): 175-85. (in Thai)
- [9] Wanyo P, Chomnawang C, Siriamornpun S. Substitution of wheat flour with rice flour and rice bran in flake products: effects on chemical, physical and antioxidant properties. *World Applied Sciences Journal*. 2009; 7(1): 49-56.
- [10] Sriroth K, Piyajomkhaw K. *Starch Technology*. 3ed edition, Bangkok: Kasetsart University; 2007. (in Thai)
- [11] Piotr PL. Water as the determinant of food engineering properties: A review. *Journal of Food Engineering*. 2004; 61(4): 483-95.

การระบุแนวทางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ

ระพี กาญจนะ^{1*}, สุรัตน์ ตรียวนพงศ์² และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์³

rapee.k@en.rmutt.ac.th^{1*}, surat.t@en.rmutt.ac.th², kittipong.k@en.rmutt.ac.th³

¹⁻³ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received : 28-Aug-2018
Revised : 09-Aug-2020
Accepted : 13-Aug-2020

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยเสี่ยงของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มต้นจากการแบ่งแยกลักษณะข้อบกพร่องและสาเหตุของการเกิดในการเกี่ยวและนวดข้าว หลังจากนั้นแต่ละประเภทข้อบกพร่องถูกนำมาทำการประเมินและหาค่าลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) เพื่อเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยขึ้นส่วนเครื่องจักรที่อยู่ในกลุ่มที่มีค่าระดับความเสี่ยงสูงถูกนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง และกำหนดแนวทางการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ผลการวิเคราะห์พบว่ามียู่ 5 ประเภทความเสี่ยงจัดอยู่ในกลุ่มความเสี่ยงสูง ได้แก่ F21 การสึกหรอบนพื้นผิวของข้อโซ่ F19 การสึกหรอของลูกยางโอริง F14 การสึกหรอบนพื้นผิวของลูกโรลเลอร์ F10 เฟืองสเตอร์สปีกเกิดชำรุด และ F12 ล้อนำชำรุด ซึ่งกลุ่มความเสี่ยงสูงนี้หากเกิดความเสียหายขึ้นจะทำให้เครื่องหยุดทำงาน และส่งผลการปฏิบัติงานในการเกี่ยวนวดข้าวต้องหยุดชะงักเช่นกัน ดังนั้นการจัดทำแนวทางการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันจึงจำเป็นอย่างยิ่ง งานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวทางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยแนวทางการบำรุงรักษานั้นเกษตรกรผู้ใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวสามารถดำเนินการได้ด้วยตนเอง ผลของการบำรุงรักษาเชิงป้องกันด้วยตนเองจะเป็นการยืดอายุการใช้งานของแต่ละชิ้นส่วนและช่วยให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวดีขึ้น

คำสำคัญ: เครื่องเกี่ยวนวดข้าว การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

Identifying Preventive Maintenance Guidelines for Rice Combine Harvester with Application of Failure Mode and Effect Analysis Technique

Rapee Kanchana^{1*}, Surat Triwanapong² and Kittipong Kimapong³
rapee.k@en.rmutt.ac.th^{1*}, surat.t@en.rmutt.ac.th², kittipong.k@en.rmutt.ac.th³

¹⁻³ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received	: 28-Aug-2018
Revised	: 09-Aug-2020
Accepted	: 13-Aug-2020

Abstract

This research aims to study the risk factors of the rice combine harvester by using failure mode and effect analysis (FMEA) technique. The research methodology began with classifying failure modes and causes during harvesting rice. After that, each type of failure mode was evaluated and calculated a risk priority number (RPN), then, RPN is sorted in descending order. Machine parts belonging to a high risk group were investigated a root cause of failure occurrence and then determined preventive maintenance guidelines. From data analysis, it illustrated that there were five types of risk classified as a high risk group; F21 wear of chain surface, F19 wear of rubber O-ring, F14 wear of ball roller surface, F10 sprocket gear broken and F12 lead wheel broken. This high risk group implied that if some failures occur, the combine harvester can be stopped which caused harvesting operation interruption. As a result, a development of preventive maintenance guidelines was needed. This research provides the self-preventive maintenance guidelines for farmer who used the rice combine harvester which the results of self-preventive maintenance help extending the useful life of each parts and enhancing work efficiency of the rice combine harvester.

Keywords: rice combine harvester, failure mode and effect analysis, preventive maintenance.

1. บทนำ

ความต้องการที่จะเพิ่มผลิตภาพในการทำนาข้าวเพื่อก่อให้เกิดปริมาณรายได้ที่เพิ่มขึ้นของชาวนาไทย เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกษตรกรนำเครื่องจักรกลเกษตรเข้าใช้แทนแรงงานคนในการทำนา การประยุกต์ใช้เครื่องจักรเกษตรในการทำนา เช่น การใช้รถเกี่ยวและนวดข้าวในการเก็บเกี่ยวเมล็ดข้าวเปลือกสามารถทำให้ได้ข้าวเปลือกในระยะเวลาไม่เกิน 10 นาที แต่หากมีการใช้แรงงานในการเกี่ยวข้าวอาจต้องใช้เวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์เพื่อให้ได้ข้าวเปลือกที่พร้อมจะนำไปทำการสีเป็นข้าวสารเพื่อบริโภค หรือส่งข้าวเปลือกออกขายเพื่อสร้างรายได้ให้แก่ครอบครัวได้ต่อไป การใช้งานเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวในการเก็บเกี่ยวเป็นวิธีการที่สามารถลดระยะเวลาในการเตรียมเมล็ดข้าวสาร ให้ปริมาณการผลิตสูง และสามารถเพิ่มผลผลิตการทำนาให้ได้ในระดับที่พึงพอใจของชาวนา อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเกี่ยวและนวดข้าวในระยะเวลาหนึ่ง ชิ้นส่วนเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวมักเกิดการชำรุดและเสียหายส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวลดลง [1, 2] ด้วยข้อมูลการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวและการหาวิธีการยืดอายุการใช้งานเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวข้างต้น การบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้กับชิ้นส่วนเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวจึงมีบทบาทความสำคัญอย่างยิ่ง เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยความเสี่ยงในการใช้งานของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของความเสียหาย เพื่อการนำไปสู่การกำหนดแนวทางในการบำรุงรักษาเพื่อให้ประสิทธิภาพในการใช้งานของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวดีขึ้นส่งผลให้การเพิ่มผลิตภาพ (Productivity) ในการทำนาข้าวต่อไป

การบริหารความเสี่ยง (Risk management) คือกระบวนการจัดการความเสี่ยงเพื่อให้สามารถควบคุมและดำเนินการกับความเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ การระบุความเสี่ยง (Risk identification) การประเมินความเสี่ยง

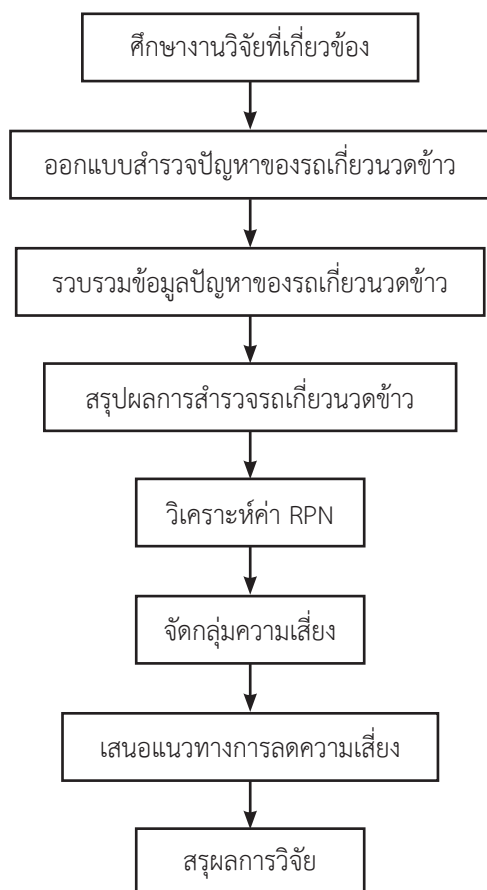
(Risk assessment) การตอบสนองความเสี่ยง (Risk response) และการหาแนวทางการแก้ไขความเสี่ยง (Risk documentation & control) ที่ผ่านมามีการนำการบริหารความเสี่ยงไปใช้ในการบำรุงรักษาสำคัญในการลดข้อผิดพลาดในงานออกแบบทางวิศวกรรม [3] การลดเวลาการสูญเสียในการผลิตคอนกรีต [4] การวิเคราะห์สาเหตุลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในโรงงานผลิตเพลารถยนต์ [5] การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องมือในการขนส่ง [6] การปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบการผลิตและลดเวลาในการผลิตสินค้า [7] การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทำงานของระบบกังหันลม [8] การตรวจสอบหาข้อบกพร่องและการออกแบบสวิตช์ปิด-เปิดเครื่องจักร [9] การวิเคราะห์ความเสี่ยงของกระบวนการไหม้เชิงชีวภาพ MOSAR [10] หรือการประเมินความเสี่ยงของการทำงานท่อไอน้ำ [11] เป็นต้น งานวิจัยเหล่านี้ได้ดำเนินการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบเพื่อจุดประสงค์หลักในการบริหารความเสี่ยงและแสดงการเพิ่มผลิตภาพในการผลิตสินค้าหลากหลายชนิดและสามารถนำไปเป็นแนวทางในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้ การดำเนินการบริหารความเสี่ยงด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบเป็นวิธีการดำเนินการที่มีประสิทธิภาพในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่สามารถทำให้ลดการสูญเสีย เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และลดค่าใช้จ่ายในการผลิตได้

งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาอุปสรรคและปัจจัยเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวข้าวด้วยเครื่องเกี่ยวและนวดข้าว ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจากกลุ่มเกษตรกรตัวอย่างจะถูกนำไปวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง จัดลำดับและจำแนกประเภทของปัจจัยเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ ซึ่งจะประกอบด้วยความเสี่ยงภายใน และความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงาน เพื่อจัดเตรียมแผนรองรับกับปัจจัยเสี่ยงประเภทต่าง ๆ และปรับปรุงการผลิตและดูแลเครื่องจักร เพื่อให้ประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้น

ส่งผลทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ และพัฒนาเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้แก่เกษตรกรต่อไป

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานเริ่มต้นจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และทำการศึกษาส่วนประกอบหลักของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว จากนั้นทำการออกแบบแบบสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลจากเกษตรกรกลุ่มเป้าหมายผู้ใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าว โดยมีหัวข้อเกี่ยวกับยี่ห้อ รุ่น ขนาดของเครื่องยนต์ และอุปกรณ์ที่เกิดความเสียหายในระหว่างใช้งาน รวมถึงปัญหาอื่น ๆ โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพรวมขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3. ผลการวิจัย

จากการสำรวจและรวบรวมทั้งหมดจำนวน 30 ชุด จากกำหนดประเภทความเสี่ยงของชิ้นส่วนเครื่องเกี่ยวนวดข้าวได้ 23 ประเภทและแต่ละประเภทความเสี่ยงถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยในด้านความรุนแรงของปัญหา (Severity: SEV) ด้านโอกาสในการเกิดปัญหา (Occurrence: OCC) และด้านความสามารถในการตรวจจับ (Detection: DET) จากนั้นวิเคราะห์หาค่า Risk priority number (RPN) ซึ่งค่า $RPN = SEV \times OCC \times DET$ [3] ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 1

ผลการวิเคราะห์ลักษณะความเสียหาย และผลกระทบดังตารางที่ 1 แสดงค่าระดับคะแนนความเสี่ยง (Risk priority number : RPN) ของทั้ง 23 ประเภทความเสี่ยง และตารางที่ 2 แสดงการเรียงลำดับชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องเกี่ยวนวดข้าวที่มีค่า RPN เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ทั้งนี้ในการพิจารณาเพื่อหาแนวทางการจัดการความเสี่ยงเพื่อให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวดีขึ้น จะพิจารณาที่ค่า RPN ของชิ้นส่วนอุปกรณ์รถเกี่ยวนวดข้าวที่มีค่า RPN มากกว่า 100 ซึ่งมีอยู่ทั้งสิ้น 19 ชิ้นส่วน ทั้งนี้ในการจัดกลุ่มประเภทความเสี่ยงดังตารางที่ 3 จะพิจารณาจากการแบ่งอันตรายออกเป็น 3 ชั้น โดยกำหนดความกว้างของแต่ละช่วงเท่ากับ 144 ซึ่งมี

$$\begin{aligned} \text{ที่มาจาก } & \frac{(\text{ค่า RPN}_{\text{มาก}} - \text{ค่า RPN}_{\text{น้อย}})}{3} \\ & = \frac{(576 - 144)}{3} = 144 \end{aligned}$$

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะความเสียหายและผลกระทบ

การวิเคราะห์ลักษณะความเสียหายและผลกระทบ (FMEA) รถเกี่ยวนาข้าว								
ชิ้นส่วนอุปกรณ์	ลักษณะของความเสียหาย	ผลกระทบจากความเสียหาย	SEV	สาเหตุลักษณะความเสียหาย	OCC	วิธีการควบคุมในปัจจุบัน	DET	RPN
F1 การสึกหรอของหนวดกุ้ง	ปลายแหลม และมีขนาดเล็กลง	ทำให้ขั้วข้าวขึ้นได้ไม่เกลี้ยง	2	เกิดจากการเสียดสีระหว่างหนวดกุ้งกับต้นข้าว	2	ยังไม่มี	9	36
F2 การสึกหรอของล้อไนม้วนข้าว	บุบหลวม	ทำให้เกิดเสียงดัง สั่น และแตกหัก	2	เกิดจากการเสียดสีระหว่างเหล็กกับเหล็ก	2	หยุดสารหล่อลื่น	9	36
F3 การสึกหรอของเกลียวลำเรียงรวงข้าว	ใบเกลียวจะบางและเล็กลง	ทำให้ลำเลียงข้าวไม่เกิดการติดขัด	2	เกิดจากการเสียดสีระหว่างต้นข้าวกับเกลียวลำเลียงข้าว	2	ยังไม่มี	10	40
F4 การสึกหรอของหัวจรวด	ร่องหัวจรวดห่าง ไม่คมตัดต้นข้าว ไม่ขาด	ทำให้ตัดข้าวไม่ขาด	7	เกิดจากการเสียดสีระหว่างใบมีดกับหัวจรวดและต้นข้าว	8	หยุดสารหล่อลื่น	5	280
F5 การสึกหรอของใบมีดตัด	คมของใบมีดจะเล็กลง	ทำให้ตัดข้าวไม่ขาด	7	เกิดจากการเสียดสีระหว่างใบมีดตัดกับต้นข้าว	8	หยุดสารหล่อลื่นลง ไปบนชุดตัด	5	280
F6 การสึกหรอของแกนผลุบไพล์	แหลมสั้น และเล็กลง	ทำให้ต้นข้าวเข้าคอได้ไม่ดีและส่งผลให้ข้าวพันเกลียว	4	เกิดการเสียดสีระหว่างลูกยางกับตัวผลุบไพล์	4	ยังไม่มี	5	80
F7 การสึกหรอของหนามเตย	ปลายแหลม และมีขนาดเล็กลง	ทำให้หนวดข้าวได้ไม่เกลี้ยง	5	เกิดจากการเสียดสีระหว่างต้นข้าวกับหนามเตย	4	ยังไม่มี	9	180
F8 ตะแกรงร่อนเมล็ดข้าว	บาง-แตก	ทำให้ร่อนข้าวไม่สะอาดและทำให้สูญเสียผลผลิต	4	เกิดจากการสั่นสะเทือนของตะแกรง	4	ยังไม่มี	9	144
F9 เกลียวลำเลียงเมล็ดข้าวสับกลับห้องนวดใหม่	ใบลำเลียงเล็กลงจากการสึกหรอ	ลำเลียงเมล็ดข้าวสับไม่สะดวก	6	เกิดการสึกหรอและการเสียดสีของเมล็ดข้าว	7	ซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนเกลียวลำเลียงใหม่	8	336
F10 เพื่องสเตอร์-สปีดเกียร์ชุด	ปลายแหลม และบาง	ทำให้บูทโซ่สึกหรอไว	7	เกิดจากการเสียดสีระหว่างบูทกับสเตอร์	8	ยังไม่มี	8	448
F11 ล้อนำข้าวชุด	สันล้อนำจะเล็กลง	ทำให้โซ่พลัดตกจากลูกโรลเลอร์	7	เกิดจากการเสียดสีกันระหว่างล้อนำกับโซ่	8	ยังไม่มี	8	448
F12 ตีนตะขาบข้าวชุด	บาง และโค้งงอ	เดินสั้น เดินไม่เต็ม	2	เหยียบหิน ดอ หรือพื้นไม่เรียบ	2	เดินอย่างระมัดระวัง	7	28
F13 การสึกหรอบนพื้นผิวของลูกโรลเลอร์	สึกหรอร่องลึกและลดขนาด	การเคลื่อนที่ไม่ปกติ	7	เกิดจากการเสียดสีระหว่างโซ่และลูกโรลเลอร์	8	ยังไม่มี	9	504
F14 การสึกหรอของเพลาลูกโรลเลอร์	สึกเป็นร่อง	ทำให้น้ำมันรั่ว	7	ไม่หยุดสารหล่อลื่นหรือหมดอายุการใช้งาน	7	เปลี่ยนถ่ายสารหล่อลื่นบ่อย ๆ	5	245

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะความเสียหายและผลกระทบ (ต่อ)

การวิเคราะห์ลักษณะความเสียหายและผลกระทบ (FMEA) รถเกี่ยวนวดข้าว								
ชิ้นส่วนอุปกรณ์	ลักษณะของความเสียหาย	ผลกระทบจากความเสียหาย	SEV	สาเหตุลักษณะความเสียหาย	OCC	วิธีการควบคุมในปัจจุบัน	DET	RPN
F15 การสึกหรอของฝาปิดลูกโรลเลอร์	แตก หรือสึกหรอ	ใส่ซิลิโคนรูปไร้ประสิทธิภาพ	7	เกิดแรงกระแทกในการทำงาน	7	ยังไม่มี	8	392
F16 การสึกหรอของบูท	บางลงไป	บูทแตกขาด	8	ไม่หยุดสารหล่อลื่น หรือหมดอายุการใช้งาน	8	หยุดสารหล่อลื่นเป็นประจำ	5	320
F17 การสึกหรอของซิลิโคนรูป	หน้าสัมผัสจะบางลง	กักเก็บน้ำมันไม่อยู่	8	ไม่หยุดสารหล่อลื่นหรือหมดอายุการใช้งาน	8	หยุดสารหล่อลื่นเป็นประจำ	5	320
F18 การสึกหรอของลูกยางโอริง	แบน และแข็งตัว	กักเก็บน้ำมันไม่อยู่	9	เกิดจากการกดทับ ความร้อนจากน้ำมันและการเสียดสีของซิลิโคนรูป	8	ยังไม่มี	8	576
F19 การสึกหรอของรูใส่แกน เพลา	รูใส่แกนเพลาหลวม	ทำให้ใส่ลูกปืนไม่พอดี	7	ลูกปืนแตก หรือบูทแตก	8	ยังไม่มี	8	448
F20 การสึกหรอบนพื้นผิวของข้อโซ่	บางลงและเป็นคลื่น	ทำให้เดินสั่น	8	เกิดจากการเสียดสีระหว่างผิวโซ่และลูกโรลเลอร์	9	ยังไม่มี	8	576
F21 การสึกหรอของแกนเพลาสลักโซ่	สลักจะเล็กลง	ทำให้โซ่หลวมหรือขาด	6	เกิดจากแรงกระแทกของตัวรถ	6	ใส่จาระบีก่อนประกอบ	5	180
F22 การสึกหรอของบูท	บางลง	ทำให้โซ่หลวมและพลัดตกลูกโรลเลอร์	7	เกิดจากการเสียดสีระหว่างสลักกับบูท	7	ใส่จาระบีก่อนประกอบ	5	245
F23 การสึกหรอของซิล	แบน และ แข็ง	ทำให้เคนเข้าบูทสลักได้ง่าย	8	ความร้อนของโซ่สะสมหรือหมดอายุการใช้งาน	8	ยังไม่มี	5	320

ดังนั้นการแบ่งระดับค่าความเสี่ยงเป็น 3 ระดับ สามารถกำหนดดังนี้

- ค่า RPN มากกว่า 434 จัดอยู่ในกลุ่มความเสี่ยงสูง (High risk: H)
- ค่า RPN ช่วง 289 – 433 จัดอยู่ในกลุ่มความเสี่ยงปานกลาง (Medium risk: M)
- ค่า RPN ช่วง 144 - 288 จัดอยู่ในกลุ่มความเสี่ยงต่ำ (Low risk: L)

โดยที่

ความเสี่ยงสูง (H) คือชิ้นส่วนที่เกิดการเสียหาย ผู้ใช้งานไม่สามารถซ่อมบำรุงเองได้ในทันที จึงทำให้เครื่องเกี่ยววนดข้าวหยุดการใช้งานโดยไม่มีการแจ้งเตือน ทำให้เกิดความเสียหายของเครื่องเกี่ยววนดข้าวและผลผลิต

ความเสี่ยงปานกลาง (M) คือชิ้นส่วนที่เกิดการเสียหายระดับปานกลาง ผู้ใช้รถเกี่ยววนดข้าวสามารถซ่อมบำรุงและใช้งานได้ชั่วคราวโดยไม่ต้องเรียกช่างมาซ่อมบำรุง และสามารถใช้งานต่อไปได้ แต่อาจจะเกิดความเสียหายของเครื่องเกี่ยววนดข้าว และผลผลิต และ

ความเสี่ยงต่ำ (L) คือชิ้นส่วนที่เกิดการเสียหายระดับต่ำสุด แต่ยังมีค่าเกิน 100 ผู้ใช้สามารถซ่อมบำรุงและสามารถใช้งานต่อไปได้ โดยไม่เกิดความเสียหายของผลผลิต

ตารางที่ 2 ค่า RPN ของชิ้นส่วน

ลำดับ	ชิ้นส่วนอุปกรณ์ รถเกี่ยววนดข้าว	ค่า RPN จาก มาก-น้อย
1	F20 การสึกหรอบนพื้นผิวของข้อโซ่	576
2	F18 การสึกหรอของลูกยางโอริง	576
3	F13การสึกหรอบนพื้นผิวของ ลูกโรลเลอร์	504
4	F10 เฟืองสเตอร์สปีกเกิดชำรุด	448
5	F11ล้อนำชำรุด	448
6	F19การสึกหรอของรูใส่แกน เพลา	448
7	F15 การสึกหรอของฝาปิดลูก โรลเลอร์	392
8	F9 เกลียวลำเลียงเมล็ดข้าวสับกลับ ห้องนวดใหม่	336
9	F16 การสึกหรอของบุท	320

ตารางที่ 2 ค่า RPN ของชิ้นส่วน (ต่อ)

ลำดับ	ชิ้นส่วนอุปกรณ์ รถเกี่ยววนดข้าว	ค่า RPN จาก มาก-น้อย
10	F17 การสึกหรอของซิลกรูป	320
11	F23 การสึกหรอของซิล	320
12	F4 การสึกหรอของหัวจรวด	280
13	F5 การสึกหรอของใบมีดตัด	280
14	F14 การสึกหรอของเพลาลูกโรลเลอร์	245
15	F22 การสึกหรอของบุท	245
16	F7 การสึกหรอของหนามเตย	180
17	F21 การสึกหรอของแกนเพลาสลักโซ่	180
18	F8 ตะแกรงร่อนเมล็ดข้าว	144
19	F6 การสึกหรอของแกนผลุบโฟล์	80
20	F3 การสึกหรอของเกลียวลำเรียง รวงข้าว	40
21	F1 การสึกหรอของหนวดกุ้ง	36
22	F2 การสึกหรอของล้อโน้มรวงข้าว	36
23	F12 ดินตะขาบชำรุด	28

ตารางที่ 3 ค่า RPN ของชิ้นส่วนเรียงลำดับจากมากไปน้อยโดยแบ่งกลุ่มความเสี่ยง

ลำดับ	ชิ้นส่วนอุปกรณ์ รถเกี่ยววนดข้าว	ค่า RPN (มาก-น้อย)	H	M	L
1	F21 การสึกหรอบน พื้นผิวของข้อโซ่	576	H		
2	F19 การสึกหรอของ ลูกยางโอริง	576	H		
3	F14 การสึกหรอบน พื้นผิวของลูกโรลเลอร์	504	H		
4	F10 เฟืองสเตอร์- สปีกเกิดชำรุด	448	H		
5	F12 ล้อนำชำรุด	448	H		
6	F20 การสึกหรอของ รูใส่แกน เพลา	392		M	
7	F16 การสึกหรอของ ฝาปิดลูกโรลเลอร์	336		M	

ตารางที่ 3 ค่า RPN ของชิ้นส่วนเรียงลำดับจากมากไปน้อยโดยแบ่งกลุ่มความเสี่ยง (ต่อ)

ลำดับ	ชิ้นส่วนอุปกรณ์ รถเกี่ยวนาข้าว	ค่า RPN (มาก-น้อย)	H	M	L
8	F9 เกลียวลำเลียง เมล็ดข้าวสีกกลับ ห้องนวดใหม่	320		M	
9	F17 การสีกหอรของบูท	320		M	
10	F18 การสีกหอรของ ซิลรูป	320		M	
11	F24 การสีกหอรของซิล	280		M	
12	F4 การสีกหอรของ หัวจรวด	280		M	
13	F5 การสีกหอรของ ใบมีดตัด	245		M	
14	F15 การสีกหอรของ เพลลูกโรลเลอร์	245		M	
15	F23 การสีกหอร ของบูท	180			L
16	F7 การสีกหอรของ หนามเตย	180			L
17	F7 การสีกหอรของ หนามเตย	180			L
18	F8 ตะแกรงร่อน เมล็ดข้าว	144			L

การจัดการความเสี่ยงจากการใช้เครื่องเกี่ยวนาข้าว จะพิจารณาเฉพาะกลุ่มความเสี่ยงสูง (H) เนื่องจากจัดว่าเป็นชิ้นส่วนที่เมื่อเกิดการเสียหายแล้วจะส่งต่อการหยุดการใช้งานของเครื่องเกี่ยวข้าว และผู้ใช้งานไม่สามารถซ่อมบำรุงเองได้ในทันที ดังนั้นชิ้นส่วนที่ถูกนำมาศึกษาและวิเคราะห์หาสาเหตุของความเสียหายได้แก่ F21 การสีกหอรบนพื้นผิวของข้อโซ่ F19 การสีกหอรของลูกยางโอริง F14 การสีกหอรบนพื้นผิวของลูกโรลเลอร์ F10 เฟืองสเตอร์สปีกเก็ตซารุด และ F12 ล้อนำซารุด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ปัญหาการสีกหอรบนพื้นผิวของข้อโซ่ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปัญหา F21 พื้นผิวของข้อโซ่ซารุด

ลักษณะการสีกหอรของพื้นผิวของข้อโซ่ซารุด ข้อโซ่จะมีขนาดเล็กเนื่องจากเกิดการเสียดสี เพราะเป็นกระบวนการทำงานของชุดขับเคลื่อนดังรูปที่ 2 วิธีการตรวจสอบสามารถตรวจสอบได้โดยการสังเกตและใช้เครื่องมือวัดตรวจสอบโดยการตรวจสอบที่พื้นผิวของข้อโซ่ว่ามีขนาดเล็กลงไปจากเดิมหรือไม่ หรือการสังเกตโดยเวลาปฏิบัติงานชุดขับเคลื่อนทำงานไม่สะดวกก็สามารถทำให้รู้ได้ว่าข้อโซ่และชุดขับเคลื่อนเกิดการเสียหาย การแก้ไขควรหยุดสารถล่อลื่น และนำข้อโซ่ไปชุบแข็งเพื่อเพิ่มโครงสร้างให้มีความแข็งแรงมากขึ้น

2) ปัญหาการสีกหอรของลูกยางโอริง ดังรูปที่ 3 เกิดการฉีกขาดและเกิดการแข็งตัวของลูกยางโอริงส่งผลทำให้สารถล่อลื่นเร็วและไหลออกจากลูกโรลเลอร์จนหมด ทำให้ชิ้นส่วนอื่นๆ เกิดการเสียหาย วิธีการตรวจสอบสามารถตรวจสอบโดยการสังเกตด้วยตา ถ้าลูกยางโอริงซารุดหรือเสียหาย จะมีสารถล่อลื่นไหลออกมาหรือหยดลงบนพื้น การแก้ไขควรเติมสารถล่อลื่นให้มีปริมาณที่เพียงพอกับการใช้งานอยู่เสมอ

3) ปัญหาการสีกหอรบนพื้นผิวของลูกโรลเลอร์ซารุด ลักษณะการสีกหอรบนพื้นผิวของลูกโรลเลอร์ซารุด ดังรูปที่ 4 เกิดจากการเสียดสีระหว่างโซ่และลูกโรลเลอร์ ซึ่งลูกโรลเลอร์มีการสีกหอรเป็นร่องลึก และพื้นผิวของลูกโรลเลอร์บางลง ปีกลูกโรลเลอร์มีขนาดเล็กลง ถ้ามีขนาดเล็กมากๆ อาจทำให้โซ่หลุด

ตกลงจากลูกโรลเลอร์ได้ และอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องเกี่ยวนวดข้าวทำให้เดินเครื่องไม่สม่ำเสมอเดินเครื่องไม่สะดวก ส่งผลอาจทำให้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวต้องหยุดการใช้งานไปชั่วขณะ วิธีการตรวจสอบสามารถทำได้โดยการสังเกตด้วยตาเปล่าหรือใช้เครื่องมือวัดมาตรวจสอบขนาดพื้นผิวของลูกโรลเลอร์ การแก้ไขควรใช้น้ำมันหล่อลื่นและลูกโรลเลอร์ไปอบชุบแข็งเพื่อเพิ่มความแข็งของเหล็ก



รูปที่ 3 ปัญหา F19 การสึกหรอของลูกยางโอริง



รูปที่ 4 ปัญหา F14 การสึกหรอบนพื้นผิวของลูกโรลเลอร์

4) ปัญหาเฟืองสเตอร์สปีกเกิดชำรุด ลักษณะเฟืองสเตอร์สปีกเกิดชำรุด ดังรูปที่ 5 ฟันเฟืองมีขนาดเล็กและแหลม ระยะพิทช์ห่างมากขึ้นทำให้การขับเคลื่อนของชุดขับเคลื่อนทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ส่งผลให้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวเคลื่อนที่ช้าลง วิธีการตรวจสอบสามารถทำได้โดยการสังเกตด้วย

หากฟันเฟืองสเตอร์สปีกเกิดของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวมีลักษณะปลายแหลมและบางแสดงว่ามีการสึกหรอควรทำการซ่อมบำรุงเพื่อไม่ให้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวเกิดความเสียหายขณะทำงาน การแก้ไขควรหยุดสารหล่อลื่นควรตั้งศูนย์เฟืองสเตอร์สปีกเกิดให้ตรงและนำเฟืองสเตอร์สปีกเกิดไปอบชุบเพื่อเพิ่มความแข็ง



รูปที่ 5 ปัญหา F10 เฟืองสเตอร์สปีกเกิดชำรุด



รูปที่ 6 ปัญหา F12 ล้อนำชำรุด

5) ปัญหาล้อนำชำรุด เกิดจากการเสียดสีกันระหว่างล้อนำกับโซ่บนสันล้อนำทำให้มีขนาดเล็กลงส่งผลให้โซ่หลุดตกรางลูกโรลเลอร์ดังรูปที่ 6 วิธีการตรวจสอบสามารถทำได้โดยการสังเกตด้วยตาเปล่าโดยการสำรวจผิวของล้อนำว่าล้อนำเกิดการสึกหรอผิวของล้อนำเกิดการสึกหรอมากน้อยเพียงใดถ้าเกิด

การสึกหรอมากให้ทำการซ่อมบำรุงทันที การสังเกตดูการเอียงของล้อนำเอียงไปทางทิศทางใดหรือไม่ ถ้าเอียงให้ทำการซ่อมบำรุงทันทีเพราะการเอียงของล้อนำจะทำให้ระบบการทำงานของชุดขับเคลื่อนเกิดการเสียหายไปยังจุดอื่นๆ การแก้ไขควรหยุดสารหล่อลื่น ควรตั้งศูนย์ล้อนำให้ตรง และนำล้อนำไปอบชุบเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับล้อนำ

4. สรุปผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบเพื่อทำการศึกษาวเคราะห์ชิ้นส่วนหลักกว่ามีลักษณะบกพร่องอะไร ผลกระทบเป็นอย่างไร และแนวโน้มสาเหตุใดที่เป็นไปได้ มาประเมินตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง แล้วนำชิ้นส่วนหลักที่อยู่ในกลุ่มค่าเสี่ยงสูง ได้แก่ F21 การสึกหรอบนพื้นผิวของข้อโซ่ F19 การสึกหรอของลูกยางโอริง F14 การสึกหรอบนพื้นผิวของลูกโรลเลอร์ F10 เฟืองสเตอร์สปีกเก้ตชาร์ด และ F12 ล้อนำชาร์ด ซึ่งเป็นกลุ่มชิ้นส่วนที่หากเกิดความเสียหายขึ้นจะทำให้เครื่องหยุดทำงาน และส่งผลการปฏิบัติงานในการเกี่ยวมัดข้าวต้องหยุดชะงัก การจัดทำแนวทางการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันจึงจำเป็นอย่างยิ่ง งานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวทางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยแนวทางการบำรุงรักษานั้นเกษตรกรผู้ใช้เครื่องเกี่ยวมัดข้าวสามารถดำเนินการได้ด้วยตนเอง ผลของการบำรุงรักษาจะให้เป็นการยืดอายุการใช้งานของแต่ละชิ้นส่วน และช่วยให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องเกี่ยวมัดข้าวดีขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยประจำปี 2560 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ขอขอบคุณ คุณอดิศักดิ์ ไสวอมร สำหรับความช่วยเหลือในการแจกแบบสอบถามและติดต่อประสานงานในภาคสนาม

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Selling a Rice Conbinr Harvester [Internet]. Bangkok: Denchai Karnchang 2018 August- [cited 2018 August 14] Available from: http://densakchai.blogspot.com/2013/02/blog-post_2.html
- [2] Thai Rice [Internet]. Bangkok: Department of Trade Negotiations 2018 August- [cited 2018 August 14] Available from: <http://www.thaifta.com>
- [3] Kaeowongsa S, Phanritdum. The application of FEMA to reduce errors in engineering design of project management. Proceeding of Industrial Engineering Network 2555; 2012 October 17-19; Petchburi, Thailand: 879-85 (In Thai).
- [4] Samrit S, Kengpol A, Talabgaew S. Reduction of downtime loss by using reliability theory based preventive maintenance: a case study of the concrete industry. KRU Research Journal. 2011;16(2):145-58 (In Thai).
- [5] Wongjirattikarn S, Ratanakuakangwan S. Improvement of preventive maintenance planning of an automobile shaft manufacturer by FMEA technique. The Journal of KMUTTBN. 2013;23(3):643-53 (In Thai).
- [6] Jafari H, Saeidi N, Saffari R. Development of FMEA as effective tool for risks assessment in the iraqi container terminals. World of Sciences Journal. 2013;1: 26-32.

- [7] Rakesh R, Jos BC, Mathew G. FMEA analysis for reducing breakdowns of a sub system in the life care product manufacturing industry. *Inter. J. of Engineering Science and Innovative Technology*. 2013;2: 218-25.
- [8] Shafiee M, Dinmohammadi F. An FMEA based risk assessment approach for wind turbine systems: a comparative study of onshore and offshore. *Energies*. 2014;7:619-42.
- [9] Vinodh S, Aravindraaj S, Ravi SN, Yogeshwaran N. Fuzzy assessment of FMEA for rotary switches: a case study. *The TQM Journal*. 2012;24:461-75.
- [10] Thivel PX, Bultel Y, Delpech F. Risk analysis of a biomass combustion process using MOSAR and FMEA methods. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;151: 221-31.
- [11] Huadong Y, Zhigang B. Risk evaluation of boiler tube using FMEA. *Proceedings of the 6th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*; 2009 August 14-16; Tianjin, China: 81-5.

การลดเวลาในการปรับตั้งแม่พิมพ์ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปรีออน

พรลภัส เลิศศักดิ์วานิช^{1*} และประจวบ กล่อมจิตร²

lerdsakwanich.pas@gmail.com^{1*}, prachuab12326@gmail.com²

¹⁻² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

Received : 18-Feb-2020
Revised : 10-Apr-2020
Accepted : 02-Jun-2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาและปรับปรุงการปรับตั้งแม่พิมพ์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปรีออนของโรงงานผู้ผลิตดิสก์เบรกรถยนต์ ซึ่งรูปทรงของดิสก์เบรกมีความหลากหลายตามรุ่นของรถ ทำให้ในการผลิตต้องมีการปรับตั้งแม่พิมพ์ จากการศึกษากระบวนการอัดขึ้นรูปรีออนมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตเฉลี่ย 15 ครั้งต่อวัน และใช้เวลาในการปรับตั้งเครื่องนานที่สุด จึงศึกษาขั้นตอนปรับตั้งแม่พิมพ์ด้วยหลักการศึกษางานและจับเวลาการทำงานโดยใช้วิธีการศึกษาเวลาโดยตรง และวิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุงด้วยเทคนิคการเปลี่ยนแม่พิมพ์อย่างรวดเร็ว (Single Minute Exchange of Die: SMED) ร่วมกับหลักการตั้งคำถาม 5W1H พบว่ามีขั้นตอนที่สามารถทำได้ในขณะเครื่องจักรทำงาน จำนวน 6 ขั้นตอน แบ่งเป็นขั้นตอนที่ไม่เพิ่มคุณค่า จำนวน 1 ขั้นตอน และเป็นขั้นตอนที่ไม่เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็นต้องมี จำนวน 5 ขั้นตอน นอกจากนี้เวลาร้อยละ 70 ของการปรับตั้งแม่พิมพ์ถูกใช้ไปกับขั้นตอนในการถอดแม่พิมพ์ชุดเก่าและติดตั้งแม่พิมพ์ชุดใหม่ งานวิจัยนี้จึงนำหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงงานสามารถลดขั้นตอนการทำงานจากเดิม 10 ขั้นตอน เหลือ 6 ขั้นตอน ใช้เวลาเฉลี่ยลดลงจากเดิม 946.2 วินาที เหลือเพียง 492.8 วินาที คิดเป็นลดลง 52% จากนั้นคำนวณหาจำนวนครั้งที่เหมาะสมของการจับเวลาและตรวจสอบการกระจายของข้อมูลด้วยโปรแกรมมินิแทปที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และระดับความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ ผลการคำนวณพบว่าจำนวนรอบการจับเวลาเบื้องต้น 30 ครั้ง มีความเหมาะสมแล้วและข้อมูลมีการกระจายแบบปกติทำให้ค่าเวลาเฉลี่ยสามารถเป็นตัวแทนของชุดข้อมูลได้ จึงสรุปได้ว่าเวลาเฉลี่ยรวมหลังปรับปรุงมีค่าลดลงและอยู่ในเกณฑ์ที่บริษัทกำหนดไว้

คำสำคัญ: การลดเวลา แนวคิด SMED หลักการ ECRS เวลาการปรับตั้งแม่พิมพ์

Setup Time Reduction for Hot Pressing Mold Changeover

Ponlapas Lerdsakwanich^{1*} and Prachuab Klomjit²
lerdsakwanich.pas@gmail.com^{1*}, prachuab12326@gmail.com²

^{1,2} Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

Received	: 18-Feb-2020
Revised	: 10-Apr-2020
Accepted	: 02-Jun-2020

Abstract

This research aims to reduce setup time and to improve the mold changeover process in disc brake manufacturer. Certainly, the shape of the disc brakes varies according to the car model. That is why the production is required to include mold changeover process. The research findings indicate that mold changeover has an average of 15 times a day in the hot-pressing process which takes the longest time to set up the machine. As the researchers, we performed examination on the procedures and time spent on mold changeover by work and direct time study principles and analyzed the ways to improve the processes by applying the SMED concept with 5W1H questions. The study found that there are 6 activities that can be taken while the machine is operating that including 1 non-value added (NVA) activity and 5 necessities but non-value added (NNVA) activities. In addition, approximately 70 percent of overall setup time was spent on uninstallation of the old mold and reinstallation of the new one. Therefore, this study applied the ECRS principles to improve activity for mold changeover. As a result, the activities have been reduced from 10 activities to 6 activities while the setup time has plummeted from 946.2 seconds to 492.8 seconds, which resulted in 52 percent decrease in setup time. After performing calculations on the optimal number of times and assessment of the normality of data by Minitab at the confidence level of 95% and the tolerance of $\pm 5\%$, the results show that the number of basic laps in the 30 timings is appropriate and the data has a normal distribution. The average time of data can be representative of the group. Therefore, after the process improvement, the total average time is considerably decreased and is compliant with the standard of company.

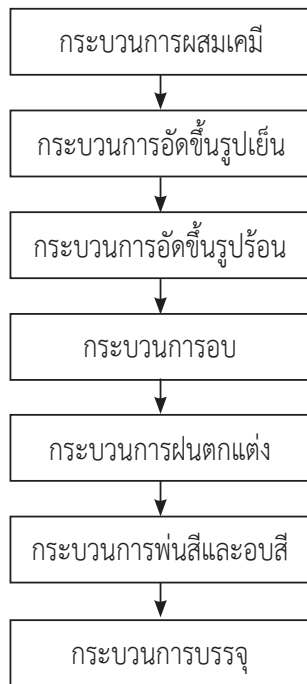
Keywords: Time Reduction, Single Minute Exchange of Die (SMED), ECRS, Setup Time.

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์ไทยมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากไทยเป็นฐานการผลิตขนาดใหญ่ที่สำคัญก่อให้เกิดการจ้างงานเป็นจำนวนมาก พร้อมทั้งเป็นอุตสาหกรรมที่สามารถหารายได้เข้าสู่ประเทศ ซึ่งการเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์นั้นส่วนหนึ่งได้รับการสนับสนุนมาจากอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ไทย แต่สถานการณ์ในสภาวะปัจจุบันของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ไทยต้องเผชิญกับการแข่งขันทางธุรกิจที่รุนแรงขึ้น [1] โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากประเทศคู่แข่งที่มีความได้เปรียบทางด้านต้นทุนที่อยู่ในระดับต่ำกว่าเข้ามาชิงส่วนแบ่งทางการตลาด ทำให้ลูกค้ามีทางเลือกในการซื้อสินค้ามากขึ้น บริษัทจึงต้องเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน ดังนั้นระบบการผลิตที่สามารถลดต้นทุน ลดความสูญเสียและความสูญเสียโอกาสทางการผลิต จะทำให้บริษัทสามารถปรับตัวและอยู่รอดได้พร้อมตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมุ่งเน้นที่หลักการ 3 อย่าง ได้แก่ หลักการที่ 1 คือ การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement) หลักการที่ 2 คือ การสร้างคุณค่าเพิ่ม (Value Added Creation) เป็นการจำแนกและกำจัดความสูญเสียโดยจำแนกกิจกรรมออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ กิจกรรมเพิ่มคุณค่า (Value Added: VA) กิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า (Non Value Added: NVA) และกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็นต้องทำ (Necessary but Non Value Added: NNVA) เพื่อกำจัดความสูญเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งมีลักษณะ 7 ประการ คือ การผลิตมากเกินไป การรอคอย การขนย้าย กระบวนการที่ไม่เหมาะสม การเก็บวัสดุคงคลัง การเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น และของเสีย หลักการที่ 3 คือ การมุ่งเน้นที่ลูกค้า หมายถึง ผลิตตามความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งมีปรัชญาในการผลิตแบบลีน คือ การเพิ่มคุณภาพและส่งมอบสินค้าที่มีต้นทุนต่ำ โดยมีเป้าหมายพื้นฐาน คือ ลดเวลาการผลิตและจัดเตรียมทรัพยากรให้สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้อของลูกค้าได้ด้วยระดับสินค้าคงคลังที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ [2] ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านที่ได้ทำการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม ได้แก่ การใช้เทคนิคศึกษาเวลา

และการเคลื่อนไหวที่นำไปใช้ในกระบวนการทดสอบความดันระยะสั้นของท่อพีวีซีแข็งของโรงงานผลิตท่อพีวีซีแห่งหนึ่ง เพื่อกำจัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นออกไป [3] รวมไปถึงหลักการศึกษาวិธีการทำงาน หลักการศึกษาเวลา และหลักการความสูญเสียเปล่า 7 ประการ เพื่อศึกษารวบรวมข้อมูลและจำแนกความสูญเสียเปล่าที่เกิดขึ้นในสายการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ที่มีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อนและใช้เวลานาน [4] นอกจากนี้ยังมีการใช้แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) ในการศึกษาการทำงานเพื่อวิเคราะห์หาขั้นตอนหรือวิธีการใดที่ก่อให้เกิดความสูญเสียเปล่าขึ้นในกระบวนการผลิต และใช้ร่วมกับแนวคิดการปรับตั้งเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (Single-Minute Exchange of Dies, SMED) เพื่อลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรหรือแม่พิมพ์ ซึ่งแนวคิดนี้มีนักวิจัยหลายท่านได้นำไปประยุกต์ใช้ในสายการผลิตต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ปัญหาและหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข [5,6,7] ทั้งนี้ยังมีหลักการปรับปรุงของกระบวนการผลิตที่นิยมนำมาใช้ คือ หลักการ ECRS ได้แก่ การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) เช่น การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน [8] การลดขั้นตอนการผลิต ลดจำนวนคนและยุบรวมขั้นตอนที่เหมือนกันในแม่พิมพ์เดียวกัน [9] เป็นหลักการในการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสียเปล่าที่เกิดขึ้นในการทำงาน อย่างไรก็ตามยังมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาและปรับปรุงเวลาในการทำงาน เพื่อนำไปสู่การศึกษาเวลาและหาเวลามาตรฐานในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก และในการติดตั้งแม่พิมพ์ของบริษัทผลิตถุงพลาสติกอีกด้วย [10,11]

บริษัทในกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตในอุตสาหกรรมเบรกรถยนต์ มีผลิตภัณฑ์ 3 ประเภท ได้แก่ ดิสก์เบรก ก้ามเบรก และผ้าเบรก ซึ่งสายการผลิตที่จะทำการศึกษาและปรับปรุงแก้ไขเป็นสายผลิตที่ผลิตผลิตภัณฑ์หลักของบริษัทและต้องการเพิ่มกำลังการผลิต คือ สายการผลิตดิสก์เบรก เนื่องจากดิสก์เบรกมีตลาดขนาดใหญ่เป็นส่วนประกอบของรถในหลายประเภท ได้แก่ รถเก๋ง รถกระบะ และรถตู้ บริษัทจึงมีกลยุทธ์ที่จะขายดิสก์เบรกให้ครอบคลุมต่อความต้องการของตลาด สายการผลิตนี้จึงมีจำนวนรุ่นการผลิตมากที่สุด โดยการผลิตดิสก์เบรกมี 7 กระบวนการผลิตหลัก ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตดิสก์เบรก

ซึ่งดิสก์เบรกของรถแต่ละรุ่นจะมีรูปร่างและลักษณะที่แตกต่างกันไป ทำให้ในแต่ละกระบวนการหากมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตจะต้องมีการปรับตั้งค่าตามเงื่อนไขการผลิต ซึ่งกระบวนการผลิตที่เลือกมาศึกษา คือ กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน เนื่องจากมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตบ่อยครั้งและใช้เวลาปรับตั้งค่าเครื่องจักรนานที่สุด ซึ่งการเปลี่ยนรุ่นการผลิต หมายถึง การเปลี่ยนและติดตั้งแม่พิมพ์ชุดใหม่ ผู้วิจัยพบปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน จากข้อมูลเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2562 พบว่ามีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตจำนวนเฉลี่ย 15 ครั้งต่อวัน และมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของเครื่องพิมพ์ร้อนในช่วงเวลาเดียวกันบ่อยครั้งทำให้เกิดการรอคอยขึ้นเป็นความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเวลาในการปรับตั้งแม่พิมพ์ของกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน และหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งแม่พิมพ์จะทำให้บริษัทมีกระบวนการผลิตที่พร้อมตอบสนองความต้องการที่หลากหลายขึ้นของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาเวลาที่ใช้ในการติดตั้งแม่พิมพ์เมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิต เป็นการศึกษาเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยมีแนวทางในการดำเนินการวิจัยตามหลักการห้าข้อซึ่งเป็นวิธีการเชิงระบบ (System approach) และประยุกต์ใช้ตามแบบวงจรคุณภาพของเดมมิง โดยการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้มีทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.1 การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา เป็นการศึกษาและเก็บข้อมูลจากสภาพการทำงานจริงของพนักงานในปัจจุบัน ซึ่งใช้หลักการศึกษางาน (Work Study) เพื่อทำการศึกษารายละเอียดและเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งแม่พิมพ์เมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิต บันทึกเวลาเฉลี่ยของแต่ละขั้นตอนลงในแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) โดยเวลาเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละขั้นตอนย่อยเป็นข้อมูลเบื้องต้นจากการใช้วิธีจับเวลาโดยตรงทั้งหมด 30 ครั้ง จากนั้นทำการคำนวณหาจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการจับเวลา [12] จากสมการที่ (1) และดำเนินการตรวจสอบว่าข้อมูลทั้งหมดมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ด้วยโปรแกรมมินิแทป (Minitab)

$$N = \left[40 \frac{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}}{\sum_{i=1}^n x_i} \right]^2 \quad (1)$$

โดย N = จำนวนรอบที่เหมาะสมในการจับเวลาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และระดับความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$

n = จำนวนรอบในการจับเวลาเบื้องต้น

x_i = ค่าเวลาที่อ่านได้ของแต่ละขั้นตอน

2.2 การวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาแนวทางปรับปรุงแก้ไข เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาว่าขั้นตอนใดที่ก่อให้เกิดความสูญเสียในการทำงานและหาแนวทางปรับปรุงแก้ไขต่อไป โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเปลี่ยนแม่พิมพ์อย่างรวดเร็ว (Single Minute Exchange of Die: SMED) ร่วมกับหลักการ 5W1H ซึ่งมีทั้งหมด 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 เป็นการวิเคราะห์

เพื่อแยกขั้นตอนการทำงานออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 เป็นขั้นตอนการทำงานที่จำเป็นต้องหยุดเครื่องจักรเท่านั้น (งานใน) และประเภทที่ 2 เป็นขั้นตอนการทำงานที่สามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องหยุดเครื่องจักร (งานนอก) ขั้นตอนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานที่จำเป็นต้องหยุดเครื่องจักรเท่านั้นว่าสามารถเปลี่ยนแปลงให้เป็นขั้นตอนงานที่ทำได้โดยไม่จำเป็นต้องหยุดเครื่องจักรหรือไม่ เพื่อลดเวลารวมที่ใช้ให้น้อยลง ขั้นตอนที่ 3 เป็นการวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานทั้ง 2 ประเภท เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงที่ทำให้เวลาในแต่ละขั้นตอนเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

2.3 การปรับปรุงแก้ไขในกระบวนการ เป็นการนำแนวทางที่ได้จากการคิดวิเคราะห์โดยประยุกต์ใช้หลักการ ECRS มาดำเนินการปรับปรุงและปรับใช้ในการทำงานจริงของพนักงาน

2.4 การประเมินและสรุปผลการดำเนินงานปรับปรุง เป็นการเปรียบเทียบผลของเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งแม่พิมพ์ก่อนและหลังการปรับปรุงว่ามีผลแตกต่างกันอย่างไร ถ้าเวลาที่อ่านค่าได้หลังจากการปรับปรุงไม่ลดลง แต่ดำเนินการทุกกิจกรรมครบถ้วนตามแผนแนวทางการปรับปรุงแล้ว ต้องทำการวิเคราะห์ซ้ำเพื่อหาแนวทางใหม่ในการปรับปรุง แต่หากเวลาที่อ่านค่าได้หลังการปรับปรุงมีค่าลดลงแล้วจึงนำไปจัดทำมาตรฐานการทำงานต่อไป

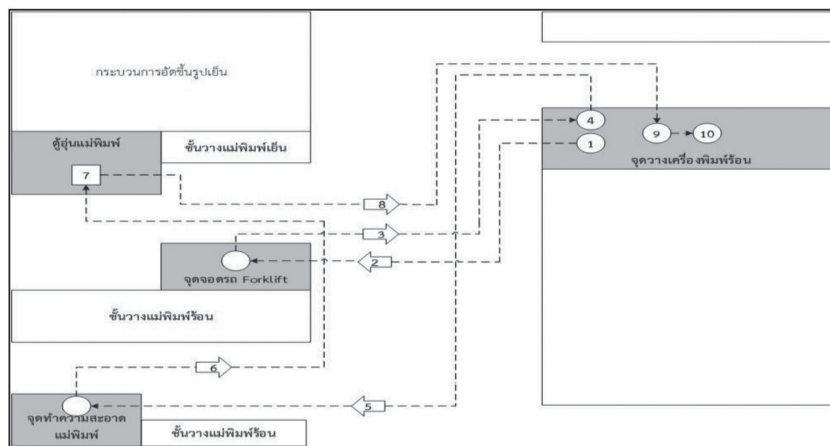
3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา โดยใช้หลักการศึกษางาน (Work Study) และทำการจับเวลาเบื้องต้นทั้งหมด 30 ครั้ง บันทึกการทำงานโดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหล ซึ่งมีผลการศึกษาดังตารางที่ 1 พบว่ามีขั้นตอนของการปรับตั้งแม่พิมพ์ในปัจจุบันทั้งหมด 10 ขั้นตอน ใช้เวลาเฉลี่ยรวม 946.2 วินาที โดยมี 5 ขั้นตอนที่พนักงานมีการเคลื่อนที่คิดเป็นระยะทาง 134.28 เมตร ทั้งนี้เส้นทางในการเคลื่อนที่ของลำดับงานที่ 2 กับ 3 ใช้เส้นทางเดิมแต่ต่างกัน ในวิธีการ กล่าวคือ ขั้นตอนของงานลำดับที่ 2 ใช้วิธีการเดิน และขั้นตอนของงานลำดับที่ 3 ใช้วิธีการขับรถ ซึ่งเป็นการไปและกลับมาที่จุดเดิม ดังรูปที่ 2

3.2 ผลการวิเคราะห์ปัญหาพร้อมแนวทางปรับปรุงแก้ไข ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเปลี่ยนแม่พิมพ์อย่างรวดเร็ว (Single Minute Exchange of Die: SMED) ผ่านการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนแรกทำการวิเคราะห์เพื่อแยกประเภทขั้นตอนการปรับตั้งแม่พิมพ์ที่ทำให้ขณะเครื่องจักรทำงาน (งานนอก) ออกจากขั้นตอนที่ทำได้ขณะเครื่องจักรหยุดทำงานเท่านั้น (งานใน) เพื่อลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออก การวิเคราะห์สามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 1 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ เพื่อแยกประเภทขั้นตอนการปรับตั้งแม่พิมพ์ พบว่า มีขั้นตอนการทำงานที่จัดอยู่ในประเภทที่ 1 คือ งานในจำนวน 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ถอดแม่พิมพ์ชุดเก่า 4) นำแม่พิมพ์ชุดเก่าวางบนรถยก 9) นำแม่พิมพ์ชุดใหม่วางบนแท่นที่เครื่องพิมพ์ร้อน และ 10) ติดตั้งแม่พิมพ์ใหม่ ซึ่งขั้นตอนเหล่านี้จะดำเนินงานได้ตอนเครื่องจักรหยุดทำงานเท่านั้น

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการปรับตั้งแม่พิมพ์ก่อนปรับปรุง

ลำดับ	ขั้นตอนการทำงาน	สัญลักษณ์กิจกรรม	แยกประเภทขั้นตอน		ระยะทาง (เมตร)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
		○ ➡ □ ▢ ▽	งานใน	งานนอก			
1	ถอดแม่พิมพ์ชุดเก่า	● ➡ □ ▢ ▽	/		-	197.4	0.43
2	เดินไปยังจุดจอดรถยก	○ ➡ □ ▢ ▽		/	19.30	37.2	0.03
3	ขับรถยกไปที่เครื่องพิมพ์รีออน	○ ➡ □ ▢ ▽		/	19.30	42.0	0.02
4	นำแม่พิมพ์ชุดเก่าวางบนรถ	● ➡ □ ▢ ▽	/		-	9.6	0.03
5	ขับรถไปจุดทำความสะอาดแม่พิมพ์	○ ➡ □ ▢ ▽		/	38.54	50.4	0.12
6	ขับรถยกไปตู้อุ่นแม่พิมพ์	○ ➡ □ ▢ ▽		/	33.04	14.4	0.03
7	ดูตารางเปลี่ยนแม่พิมพ์	○ ➡ □ ▢ ▽		/	-	30.6	0.10
8	ขับรถยกนำแม่พิมพ์ชุดใหม่มาที่เครื่องพิมพ์รีออน	○ ➡ □ ▢ ▽		/	24.10	88.8	0.04
9	นำแม่พิมพ์ชุดใหม่วางบนแท่นที่เครื่องพิมพ์รีออน	● ➡ □ ▢ ▽	/		-	11.4	0.01
10	ติดตั้งแม่พิมพ์ชุดใหม่	● ➡ □ ▢ ▽	/		-	464.4	0.43
รวม					134.28	946.2	



รูปที่ 2 ตำแหน่งและเส้นทางในการเคลื่อนย้าย

และไม่สามารถแปลงไปเป็นขั้นตอนการทำงานประเภทที่ 2 หรืองานนอกได้ และมีขั้นตอนการทำงานที่จัดอยู่ในประเภทที่ 2 คือ งานนอก จำนวน 6 ขั้นตอน ซึ่งสามารถทำได้ในขณะที่เครื่องจักรทำงานและจากการวิเคราะห์ด้วยหลักการตั้งคำถาม 5W1H ดังตารางที่ 2-7 พบว่ามี 2 ขั้นตอน ได้แก่ 2) เดินไปยังจุดจอดรถยก และ 3) ขับรถยกไปที่เครื่องพิมพ์รีออน จากการตั้งคำถามทำให้ทราบว่าทั้ง 2 ขั้นตอนนี้มีจุดประสงค์เดียวกัน คือ เพื่อใช้รถยกนำแม่พิมพ์ชุดเก่าออกจากเครื่องพิมพ์รีออนเท่านั้น ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีเส้นทางไปและกลับไปที่เครื่องพิมพ์รีออนเครื่องเดิม จึงสามารถจัดเตรียม

รถยกมาที่เครื่องพิมพ์รีออนได้ล่วงหน้า รวมไปถึงขั้นตอนลำดับที่ 7 ดูตารางเปลี่ยนแม่พิมพ์เพื่อเปิดช่องอุ่นแม่พิมพ์ได้ถูกต้อง เป็นลักษณะงานเพื่อการตรวจสอบซึ่งสามารถจัดเตรียมไว้ล่วงหน้าได้เช่นกัน และมี 3 ขั้นตอน ได้แก่ ลำดับที่ 5, 6, และ 8 มีลักษณะการทำงานที่ต้องทำต่อเนื่องกันไปตามลำดับเพื่อเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ชุดเก่าและชุดใหม่ เพราะมีข้อจำกัดในเรื่องทรัพยากรด้านคนงานและรถยก จึงจำเป็นที่จะต้องดำเนินงานโดยใช้เส้นทางนี้ ทำให้มีระยะทางในการเคลื่อนที่มาก แม้ว่าจะไม่เพิ่มคุณค่าแต่เป็นขั้นตอนที่จำเป็นต้องมี

ตารางที่ 2 ขั้นตอนที่ 2 เดินไปยังจุดจอตrolley

คำถาม 5W1H	คำตอบ
ทำอะไร (What) ทำไม (Why)	- เดินไปยังจุดจอตrolley - เพื่อใช้รอกยกน้ำแม่พิมพ์ชุดเก่าออกจากเครื่องพิมพ์ร้อน
ทำที่ไหน (Where) ทำไม (Why)	- บริเวณจุดจอตrolley - รอกจอดอยู่ที่นั่น
ทำเมื่อไหร่ (When) ทำไม (Why)	- หลังจากถอดแม่พิมพ์ชุดเก่าเสร็จสิ้น - ไม่ได้จัดเตรียมไว้ก่อน
ใครทำ (Who) ทำไม (Why)	- พนักงานทีมเปลี่ยนแม่พิมพ์ - มีทักษะในการขับรอกขนย้ายแม่พิมพ์
ทำอะไร (How) ทำไม (Why)	- เดินจากบริเวณเครื่องพิมพ์ร้อนที่ทำการถอดแม่พิมพ์ชุดเก่าไปยังจุดจอตrolley - ใช้วิธีนี้มานาน

ตารางที่ 3 ขั้นตอนที่ 3 ขับรอกไปที่เครื่องพิมพ์ร้อน

คำถาม 5W1H	คำตอบ
ทำอะไร (What) ทำไม (Why)	- ขับรอกไปที่เครื่องพิมพ์ร้อน - เพื่อใช้รอกยกน้ำแม่พิมพ์ชุดเก่าออกจากเครื่องพิมพ์ร้อน
ทำที่ไหน (Where) ทำไม (Why)	- ด้านหน้าเครื่องพิมพ์ร้อน - แม่พิมพ์ชุดเก่าอยู่บนแท่นของเครื่องพิมพ์ร้อน
ทำเมื่อไหร่ (When) ทำไม (Why)	- หลังจากถอดแม่พิมพ์ชุดเก่าเสร็จสิ้น - ไม่ได้จัดเตรียมไว้ก่อน
ใครทำ (Who) ทำไม (Why)	- พนักงานทีมเปลี่ยนแม่พิมพ์ - มีทักษะในการขับรอกขนย้ายแม่พิมพ์
ทำอะไร (How) ทำไม (Why)	- ขับรอกจากจุดจอตrolleyไปยังเครื่องพิมพ์ร้อนที่ทำการถอดแม่พิมพ์ชุดเก่าไว้ - เพราะรอกสามารถรับน้ำหนักแม่พิมพ์ได้และเส้นทางนี้เหมาะสมต่อการขนย้ายแล้ว

ตารางที่ 4 ขั้นตอนที่ 5 ขับรอกไปที่จุดทำความสะอาดแม่พิมพ์

คำถาม 5W1H	คำตอบ
ทำอะไร (What) ทำไม (Why)	- ขับรอกไปที่จุดทำความสะอาดแม่พิมพ์ - เพื่อส่งต่อไปที่ทำความสะอาดแม่พิมพ์
ทำที่ไหน (Where) ทำไม (Why)	- บริเวณจุดทำความสะอาด - เพราะมีอุปกรณ์และทีมที่พร้อมทำความสะอาดแม่พิมพ์
ทำเมื่อไหร่ (When) ทำไม (Why)	- หลังจากนำแม่พิมพ์ชุดเก่าออกจากเครื่องพิมพ์ร้อน - เพราะต้องทำความสะอาดแม่พิมพ์หลังใช้งานทุกครั้ง
ใครทำ (Who) ทำไม (Why)	- พนักงานทีมเปลี่ยนแม่พิมพ์ - มีทักษะในการขับรอกขนย้ายแม่พิมพ์
ทำอะไร (How) ทำไม (Why)	- ขับรอกจากบริเวณเครื่องพิมพ์ร้อนไปยังจุดทำความสะอาดแม่พิมพ์ - เพราะรอกสามารถรับน้ำหนักแม่พิมพ์ได้และเส้นทางนี้เหมาะสมต่อการขนย้ายแล้ว

ตารางที่ 5 ขั้นตอนที่ 6 ขับรอกไปที่ตู้อุ่นแม่พิมพ์

คำถาม 5W1H	คำตอบ
ทำอะไร (What) ทำไม (Why)	- ขับรอกไปที่ตู้อุ่นแม่พิมพ์ - เพื่อเตรียมน้ำแม่พิมพ์ชุดใหม่ออกจากตู้อุ่น
ทำที่ไหน (Where) ทำไม (Why)	- บริเวณตู้อุ่นแม่พิมพ์ - แม่พิมพ์ชุดใหม่อยู่ที่นั่น
ทำเมื่อไหร่ (When) ทำไม (Why)	- หลังจากนำแม่พิมพ์ชุดเก่าไปวางที่จุดทำความสะอาด - เพราะรอกสามารถรับแม่พิมพ์ได้ทีละชุด
ใครทำ (Who) ทำไม (Why)	- พนักงานทีมเปลี่ยนแม่พิมพ์ - มีทักษะในการขับรอกขนย้ายแม่พิมพ์
ทำอะไร (How) ทำไม (Why)	- ขับรอกจากบริเวณจุดทำความสะอาดแม่พิมพ์ไปยังบริเวณตู้อุ่นแม่พิมพ์ - เพราะรอกสามารถรับน้ำหนักแม่พิมพ์ได้ทีละชุดและเส้นทางนี้เหมาะสมต่อการขนย้ายแล้ว

ตารางที่ 6 ขั้นตอนที่ 7 ดูตารางเปลี่ยนแม่พิมพ์

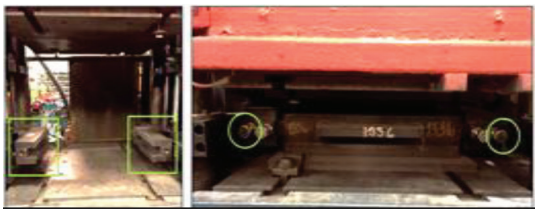
คำถาม 5W1H	คำตอบ
ทำอะไร (What) ทำไม (Why)	- ดูตารางเปลี่ยนแม่พิมพ์ - เพื่อตรวจสอบรหัสแม่พิมพ์ว่าเป็นแม่พิมพ์ชุดใหม่ที่จะใช้ในการติดตั้ง
ทำที่ไหน (Where) ทำไม (Why)	- ด้านข้างของตู้อุ่นแม่พิมพ์ - ตารางเปลี่ยนแม่พิมพ์อยู่ที่นั่น
ทำเมื่อไหร่ (When) ทำไม (Why)	- หลังจากนำแม่พิมพ์ชุดเก่าไปวางที่จุดทำความสะอาด - ไม่ได้ตรวจสอบไว้ล่วงหน้า
ใครทำ (Who) ทำไม (Why)	- พนักงานทีมเปลี่ยนแม่พิมพ์ - มีความเข้าใจในการดูตารางเปลี่ยนแม่พิมพ์และชำนาญในการตรวจสอบ
ทำอะไร (How) ทำไม (Why)	- ดูว่ารหัสแม่พิมพ์ชุดใดที่ใช้ในการติดตั้งจากตารางเปลี่ยนแม่พิมพ์ - เพราะในตู้อุ่นมีแม่พิมพ์หลายชุด ซึ่งมีรหัสต่างกัน

ตารางที่ 7 ขั้นตอนที่ 8 ขับรอกยกน้ำแม่พิมพ์ชุดใหม่มาที่เครื่องพิมพ์ร้อน

คำถาม 5W1H	คำตอบ
ทำอะไร (What) ทำไม (Why)	- ขับรอกยกน้ำแม่พิมพ์ชุดใหม่มาที่เครื่องพิมพ์ร้อน - เพื่อขนย้ายแม่พิมพ์ชุดใหม่จากตู้อุ่นไปใช้ในการติดตั้ง
ทำที่ไหน (Where) ทำไม (Why)	- เครื่องพิมพ์ร้อนที่ต้องเปลี่ยนแม่พิมพ์ - สะดวกต่อการติดตั้งแม่พิมพ์ชุดใหม่
ทำเมื่อไหร่ (When) ทำไม (Why)	- หลังจากนำแม่พิมพ์ชุดใหม่ออกจากตู้อุ่น - เพราะต้องการนำแม่พิมพ์ชุดใหม่ไปติดตั้ง
ใครทำ (Who) ทำไม (Why)	- พนักงานทีมเปลี่ยนแม่พิมพ์ - มีทักษะในการขับรอกขนย้ายแม่พิมพ์
ทำอะไร (How) ทำไม (Why)	- ขับรอกยกน้ำแม่พิมพ์ชุดใหม่ออกจากตู้อุ่นมาที่เครื่องพิมพ์ร้อน - เพราะรอกสามารถรับน้ำหนักแม่พิมพ์ได้ทีละชุดและเส้นทางนี้เหมาะสมต่อการขนย้ายแล้ว

3.3 ผลการปรับปรุงแก้ไขที่ได้หลังจากวิเคราะห์จึงเลือกขั้นตอนที่สามารถทำการปรับปรุงได้ทั้งหมด 7 ขั้นตอน แล้วทำการประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงแก้ไขได้ 4 ประเด็น ดังนี้

ประเด็นที่ 1 ประเภขั้นตอนการทำงานที่ทำได้ขณะเครื่องจักรหยุดทำงานเท่านั้น (งานใน) ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 และ 10 คือ ขั้นตอนการถอดและติดตั้งแม่พิมพ์ จึงใช้หลักการทำให้ง่าย (Simplify) ในการปรับปรุงเครื่องจักรโดยดำเนินการออกแบบและสร้างตัวประกอบแม่พิมพ์ชิ้นกลางเพื่อลดการชนและคลายน็อตจาก 8 ตัว ซึ่งอยู่บริเวณด้านข้างทั้งซ้ายและขวา เหลือเพียง 2 ตัวที่อยู่บริเวณด้านหน้า ดังรูปที่ 3 ทำให้สะดวก และง่ายต่อการทำงานของพนักงานมากขึ้น



รูปที่ 3 การปรับปรุงเครื่องพิมพ์ร้อนด้วยตัวประกอบแม่พิมพ์ชิ้นกลาง

ประเด็นที่ 2 ใช้หลักการจัดใหม่ (Rearrange) ปรับปรุงประเภขั้นตอนการทำงานที่ทำได้ขณะเครื่องจักรทำงาน (งานนอก) และเป็นขั้นตอนที่ไม่เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็นต้องทำ (NNVA) ได้แก่ ขั้นตอนที่ 3 ขั้บรดยกไปที่เครื่องพิมพ์ร้อน ซึ่งสามารถจัดเตรียมรดยกไปที่เครื่องพิมพ์ร้อนที่ต้องทำการเปลี่ยนรุ่นการผลิตไว้ล่วงหน้าได้ รวมไปถึงขั้นตอนที่ 7 ดูตารางเปลี่ยนแม่พิมพ์เพื่อเปิดช่องอุ่นแม่พิมพ์ได้ถูกต้องสามารถตรวจสอบได้ก่อนเริ่มทำการปรับตั้งแม่พิมพ์ เพราะทราบล่วงหน้าจากการนำแผนการผลิตรายวันมาคำนวณเวลา ทำให้การทำงานรวดเร็วยิ่งขึ้น

ประเด็นที่ 3 ใช้หลักการรวมกัน (Combine) ปรับปรุงขั้นตอนที่ 6 กับ 8 คือ ขั้บรดยกไปที่ตู้อุ่นแม่พิมพ์และขั้บรดยกนำแม่พิมพ์ชุดใหม่มาที่เครื่องพิมพ์ร้อนให้เป็นขั้นตอนที่ต่อเนื่องรวมกันได้ เนื่องจากขั้นตอนที่ 7 มีการจัดลำดับใหม่ให้เป็นการดำเนินการตรวจสอบล่วงหน้า

ประเด็นที่ 4 ใช้หลักการกำจัด (Eliminate) ปรับปรุงประเภขั้นตอนการทำงานที่ทำได้ ขณะเครื่องจักรทำงาน (งานนอก) คือ ตัดขั้นตอนที่ 2 เดินไปยังจุดจอตรดยก โดยพิจารณาแล้วเป็นขั้นตอนที่ไม่เพิ่มคุณค่า (NVA) และเกิดเป็นความสูญเปล่าในการทำงาน

หลังการปรับปรุงแก้ไขตามหลักการ ECRS ทำให้ในการดำเนินงานมีความสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น โดยมีขั้นตอนและเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการปรับตั้งแม่พิมพ์ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ขั้นตอนการปรับตั้งแม่พิมพ์หลังปรับปรุง

ลำดับ	ขั้นตอน การทำงาน	สัญลักษณ์กิจกรรม	แยกประเภท ขั้นตอน		ระยะทาง (เมตร)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		○ ➡ □ ▽	งาน ใน	งาน นอก			
1	ถอดแม่พิมพ์ชุดเก่า	● ➡ □ ▽	/			171.90	1.21
2	นำแม่พิมพ์ชุดเก่าวางบนรถยก	● ➡ □ ▽	/			9.98	0.17
3	ขับรถยกไปที่จุดทำความสะอาดแม่พิมพ์	○ ➡ □ ▽		/	38.54	50.56	2.03
4	ขับรถยกนำแม่พิมพ์ชุดใหม่จากตู้ขึ้นไปยัง เครื่องพิมพ์ร่อน	○ ➡ □ ▽		/	57.14	97.06	4.26
5	นำแม่พิมพ์ชุดใหม่วางบนแท่นที่เครื่องพิมพ์ร่อน	● ➡ □ ▽	/			15.16	0.92
6	ติดตั้งแม่พิมพ์ชุดใหม่	● ➡ □ ▽	/			148.1	4.32
รวม					95.68	492.76	

ผลการจับเวลาเบื้องต้น 30 ครั้ง หลังปรับปรุง
ในแต่ละขั้นตอนในหน่วยวินาที แสดงดังตารางที่ 9-14
ดังนี้

ตารางที่ 9 เวลาถอดแม่พิมพ์ชุดเก่า

173.79	172.05	170.52	170.56	171.20
171.89	171.99	171.21	170.00	173.66
170.34	173.70	173.77	170.87	172.55
170.34	170.35	172.66	172.54	172.68
172.15	170.88	173.12	173.80	170.89
170.99	171.54	171.54	172.49	173.24

ตารางที่ 10 เวลานำแม่พิมพ์ชุดเก่าวางบนรถยก

9.70	10.02	10.15	9.85	10.02
10.02	10.10	9.98	9.63	9.99
10.00	9.68	9.88	9.98	9.65
10.23	9.89	10.02	10.00	10.21
10.21	10.05	10.11	10.01	9.88
9.78	10.20	10.10	10.14	9.96

ตารางที่ 11 เวลาขับรถยกไปที่จุดทำความสะอาด
แม่พิมพ์

48.01	55.04	50.18	49.98	52.45
46.58	54.85	49.98	50.58	51.24
46.50	47.85	50.23	51.52	50.65
49.38	48.63	52.69	53.62	50.85
48.54	50.22	50.85	52.87	50.41
50.89	50.47	50.78	50.99	50.02

ตารางที่ 12 เวลาขับรถยกนำแม่พิมพ์ชุดใหม่จากตู้ขึ้น
ไปยังเครื่องพิมพ์ร่อน

89.00	90.21	95.98	95.87	96.69
102.92	91.63	98.52	98.87	89.98
92.48	95.68	101.19	100.28	101.03
95.77	101.89	100.24	101.21	101.50
104.11	95.82	93.86	101.00	96.54
95.64	92.89	100.51	90.87	99.65

ตารางที่ 13 เวลานำแม่พิมพ์ชุดใหม่วางบนแท่นที่เครื่อง
พิมพ์ร่อน

14.78	15.01	15.14	15.01	14.35
15.68	14.65	14.20	13.28	14.88
15.55	15.21	17.21	14.80	15.09
15.61	13.21	15.03	15.54	14.55
16.01	17.60	15.24	15.26	14.63
15.35	15.64	16.00	14.25	16.04

ตารางที่ 14 เวลาติดตั้งแม่พิมพ์ชุดใหม่

159.48	146.41	151.03	148.69	151.97
151.40	146.42	143.78	144.54	152.60
151.06	150.52	139.75	149.15	147.27
150.92	142.86	144.50	150.65	145.53
153.45	149.88	147.27	142.66	147.17
143.84	150.25	147.76	152.20	139.74

จากนั้นทำการคำนวณหาจำนวนรอบที่เหมาะสมของการจับเวลาในแต่ละขั้นตอนหลังปรับปรุง โดยการนำค่าเวลาที่อ่านได้จากการจับเวลาเบื้องต้น จำนวน 30 ชุดข้อมูล ของแต่ละขั้นตอนตามตารางที่ 9-14 แทนค่าตามสมการที่ 1 พบว่าจำนวนรอบที่ได้จากการแทนค่าตามสมการ ดังตารางที่ 15 มีจำนวนรอบการจับเวลาน้อยกว่า 30 ครั้ง ซึ่งเป็นจำนวนรอบเบื้องต้นในการจับเวลาหลังปรับปรุง จึงถือว่าจำนวนรอบการจับเวลาเพียงพอและมีความเหมาะสมแล้ว

ตารางที่ 15 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการจับเวลา

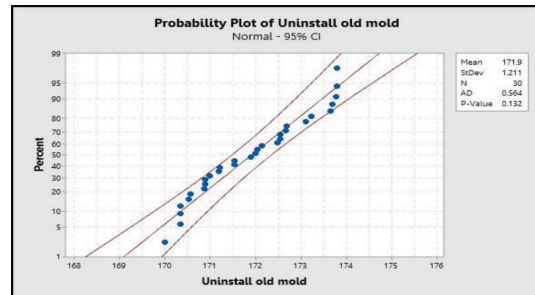
ขั้นตอนการทำงาน	จำนวนรอบการจับเวลา
1. ถอดแม่พิมพ์ชุดเก่า	1
2. นำแม่พิมพ์ชุดเก่าวางบนรดยก	1
3. ขับรดยกไปที่จุดทำความสะอาดแม่พิมพ์	3
4. ขับรดยกนำแม่พิมพ์ชุดใหม่จากตู้อุ่นไปยังเครื่องพิมพ์รีออน	3
5. นำแม่พิมพ์ชุดใหม่วางบนแท่นที่เครื่องพิมพ์รีออน	6
6. ติดตั้งแม่พิมพ์ใหม่	2

นอกจากนี้ทำการตรวจสอบรูปแบบการกระจายตัวของชุดข้อมูลของขั้นตอนต่าง ๆ จากตารางที่ 9-14 เพื่อยืนยันว่าค่าเวลาเฉลี่ยในแต่ละขั้นตอนสามารถเป็นตัวแทนของชุดข้อมูลได้ ด้วยการใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และระดับความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ โดยตรวจสอบจากค่า P-Value หาก $P\text{-Value} > 0.05$ จึงยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 โดยกำหนดสมมติฐาน ดังนี้

H_0 : ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลมีการกระจายไม่ใช่แบบปกติ

ยกตัวอย่างการตรวจสอบการกระจายของข้อมูลในตารางที่ 9 คือ เวลาขั้นตอนถอดแม่พิมพ์ชุดเก่า จำนวน 30 ชุดข้อมูล มีผลการตรวจสอบด้วยโปรแกรมมินิแทป ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการตรวจสอบการกระจายของข้อมูลของขั้นตอนถอดแม่พิมพ์ชุดเก่าด้วยโปรแกรมมินิแทป

พบว่ามีความเฉลี่ยเท่ากับ 171.9 วินาที และมีค่า P-Value เท่ากับ 0.132 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 กล่าวคือข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ และทำการตรวจสอบการกระจายของข้อมูลในทุกขั้นตอน ซึ่งสรุปผลการตรวจสอบด้วยโปรแกรมมินิแทป ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลการตรวจสอบการกระจายของข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ยและ P-Value ด้วยโปรแกรมมินิแทป

ขั้นตอนการทำงาน	ค่าเฉลี่ย (วินาที)	P-Value
1. ถอดแม่พิมพ์ชุดเก่า	171.90	0.132
2. นำแม่พิมพ์ชุดเก่าวางบนรดยก	9.98	0.077
3. ขับรดยกไปที่จุดทำความสะอาดแม่พิมพ์	50.56	0.088
4. ขับรดยกนำแม่พิมพ์ชุดใหม่จากตู้อุ่นไปยังเครื่องพิมพ์รีออน	97.06	0.103
5. นำแม่พิมพ์ชุดใหม่วางบนแท่นที่เครื่องพิมพ์รีออน	15.16	0.117
6. ติดตั้งแม่พิมพ์ใหม่	148.1	0.503

จากตารางที่ 16 ผลการตรวจสอบการกระจายของข้อมูลด้วยโปรแกรมมินิแทป พบว่าทุกขั้นตอนมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 กล่าวคือข้อมูลมีการกระจายแบบปกติแสดงว่าข้อมูลที่อ่านค่าได้จากการจับเวลาทุกขั้นตอนมีการกระจายของข้อมูลแบบปกติ ที่ระดับความคลาดเคลื่อน 0.05 ทำให้ค่าเวลาเฉลี่ยในแต่ละขั้นตอนสามารถเป็นตัวแทนของชุดข้อมูลได้

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาเพื่อลดเวลาในการปรับตั้งแม่พิมพ์ของกระบวนการอัดขึ้นรูปรีออน และปรับปรุงกระบวนการด้วยการศึกษาขั้นตอนโดยใช้หลักการทำงานและการจับเวลาโดยตรง จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหลร่วมกับเทคนิค SMED พบว่าก่อนการปรับปรุงเวลาเฉลี่ยรวมในการปรับตั้งแม่พิมพ์ประมาณ 70% เป็นขั้นตอนในการถอดแม่พิมพ์ชุดเก่าและติดตั้งแม่พิมพ์ชุดใหม่ มีเส้นทางในการเคลื่อนที่ไปและกลับมาที่จุดเดิม นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนการปรับตั้งค่าที่สามารถทำได้ในขณะที่เครื่องจักรทำงาน (งานนอก) รวมอยู่กับขั้นตอนการปรับตั้งค่าที่สามารถทำได้เมื่อเครื่องจักรจำเป็นต้องหยุดทำงานเท่านั้น (งานใน) จึงทำการแยกประเภทงานและใช้หลักการตั้งคำถาม 5W1H เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุงแก้ไข จากนั้นปรับปรุงแก้ไขด้วยการประยุกต์ใช้หลักการ ECRS โดยมีการปรับปรุงตัวเครื่องจักร การเตรียมงานล่วงหน้า และการลดขั้นตอนที่ไม่เพิ่มมูลค่าออกหลังการปรับปรุงจึงมีขั้นตอนและเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งแม่พิมพ์เปลี่ยนไป ดังตารางที่ 17 ซึ่งสามารถลดขั้นตอนการปรับตั้งแม่พิมพ์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปรีออนจาก 10 ขั้นตอน เหลือ 6 ขั้นตอน ระยะทางที่ใช้ในการเคลื่อนที่ลดลงจากเดิม 134.28 เมตร เหลือ 95.68 เมตร และผลการจับเวลาหลังการปรับปรุง มีเวลาเฉลี่ยลดลงจากเดิม 946.2 วินาที เหลือเพียง 492.8 วินาที ลดลง 453.4 วินาทีคิดเป็นลดลงร้อยละ 52 ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการปรับตั้งแม่พิมพ์ก่อนปรับปรุง ทำให้ลดเวลาการปรับตั้งแม่พิมพ์ได้เฉลี่ย 113.35 นาทีต่อวัน จึงสามารถนำไปสู่การจัดทำเป็นมาตรฐานในการทำงานต่อไปได้

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบขั้นตอนการปรับตั้งแม่พิมพ์ก่อนและหลังปรับปรุงจากแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart)

สัญลักษณ์ของกิจกรรม	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลดลง
การปฏิบัติงาน ○	4	4	0
การขนส่ง ➡	5	2	3
การรอคอย □	0	0	0
การตรวจสอบ □	1	0	1
การเก็บ ▽	0	0	0
ระยะทาง (เมตร)	134.28	95.68	38.60
เวลาเฉลี่ย (นาที)	946.20	492.76	453.44

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยศิลปากร สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ และบริษัท กรณิศศึกษา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Yongpisanphob W. Business & Industrial Trends of automotive parts in 2018-2020 [Internet]. 2018 [cited 2019 June 20]. Available from: <https://www.krungsri.com/bank/th/Other/research/industry/industry-outlook.html?page=7>.
- [2] Deeseenlatam K. Moving towards excellence with lean manufacturing concepts [Internet]. 2010 [cited 2019 June 20]. Available from: http://www.thailand-industry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=10255.

- [3] Cheewaworanontree W, Rontlaong P, Boonrak N. Motion and time study: a case study on a short-time hydrostatic failure pressure testing process of rigid PVC plain-end pipes. The Journal of Industrial Technology: Suan Sunandha Rajabhat University. 2018; 6(1):26-38. (in Thai)
- [4] Pinchaioon A, Siriruk N, Luechai S. Improvement production line of auto part using industrial engineering tools. The Journal of Industrial Technology. 2018;14(3):93-105. (in Thai)
- [5] Pittayanon C, Pattanawasanporn P. Roller changing and setup time reduction of plastic sheet extruder using SMED technique. Proceedings of the 2nd RMUTP Conference of Engineering and Technology; 2017 May 19; RMUTP, Bangkok. 344-47.
- [6] Tangwancharoen P, Reodecha M. Efficiency improvement in hard disk drive components manufacturing. Research and Development Journal. 2010;21(3): 133-40. (in Thai)
- [7] Boonsuwanno T, Santiteerakul S. Reducing setup time of plastic injection in the automotive parts industry. Proceedings of the 1st CMU Conference of Industrial Engineering; 2017 July 26; Chiang Mai. 13-6.
- [8] Jongjun Y, Promsila M, Singthanu S, Pornpraser P. An improvement of car seat grips assembly process by applying the line balancing principle. Thai Industrial Engineering Network Journal. 2017;3(2):37-46. (in Thai)
- [9] Amaluk A, Watthanasoei S. The efficiency improvement by concurrent engineering and ECRS technique: a case study in automotive small parts manufacturer. Thai Industrial Engineering Network Journal. 2019;5(1):21-7. (in Thai)
- [10] Mounghmoon K, Kartea N, Chaikumpun M. The standard time study of carton corrugated productions: case study Ruengchana packing limited partnership. Kasem Bundit Engineering Journal. 2016;6(1):107-21. (in Thai)
- [11] Athikulrat K. A standard time study of install the paint mold: a case study of plastic bag manufacturing company. Journal of Engineering RMUTT. 2019;17(1):77-90. (in Thai)
- [12] Kanjanapanyakom R. Industrial work study. Bangkok: Top Publishing Co., Ltd; 2009.

การวิเคราะห์และตรวจหาการดิสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิลใต้ดิน ณ สถานีไฟฟ้าหินกอง อำเภอนองแคะ จังหวัดสระบุรี

อดิสร พงษา^{1*} และวินัย พฤกษ์วัน²
adisorn.psa@gmail.com^{1*}, fengwnp@ku.ac.th²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Received : 09-Jul-2020
Revised : 10-Aug-2020
Accepted : 14-Sep-2020

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของสายเคเบิลใต้ดิน ณ สถานีไฟฟ้าหินกอง อ.หนองแคะ จ.สระบุรี ด้วยวิธีการทดสอบวิเคราะห์และตรวจหาการดิสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิล Partial Discharge (PD) โดยใช้แรงดันทดสอบชนิด Damped AC (DAC) และวงจรการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60270 และ IEEE 400.3 ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งตามแผนการบำรุงรักษาที่ต้องกระทำอย่างต่อเนื่องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยได้ทำการทดสอบวัดค่า PD ในสายไฟฟ้าใต้ดินชนิด XLPE ขนาด 12/20kV จำนวน 2 วงจร มีความยาวจากสวิตช์เกียร์ถึง Riser Pole ความยาว 336 เมตร และ 368 เมตร ซึ่งสายเคเบิลทั้ง 2 วงจรได้ถูกร้อยอยู่ในท่อ HDPE ที่อยู่ในดักเบงก์ (Duct Bank) ผลการศึกษาพบว่า ในวงจรที่ 1 สามารถตรวจพบ PDIV (Partial Discharge Inception Voltage) ที่แรงดันประมาณ 17.1 kVpk (1U_o) ที่ค่า PD 2,250 pC โดยมีความสัมพันธ์ของ Phase Resolved Partial Discharge (PRPD) ซึ่งตรงกับลักษณะการเกิด PD ที่เกิดจากการดิสชาร์จภายในจำนวน 1 ตำแหน่งที่ระยะประมาณ 282 เมตรจากจุดที่ทำการตรวจวัด และในวงจรที่ 2 สามารถตรวจพบ PDIV ที่แรงดันประมาณ 7.6 kVpk (0.4U_o) ที่ค่า PD 2,750 pC โดยมีความสัมพันธ์ของ PRPD ตรงกับลักษณะการเกิด PD ที่เกิดจากการดิสชาร์จภายในที่ระยะประมาณ 366 เมตรจากจุดที่ทำการตรวจวัด

คำสำคัญ: การดิสชาร์จบางส่วน สายเคเบิลใต้ดิน การซ่อมบำรุงสายเคเบิล

Partial Discharge Diagnosis and Localization in Underground Cable at Hinkong Power Station, Nong Kae District, Saraburi, Thailand

Adisorn Phongsa^{1*} and Winai Plueksawan²
adisorn.psa@gmail.com^{1*}, fengwnp@ku.ac.th²

^{1,2} Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering Kasetsart University

Received	: 09-Jul-2020
Revised	: 10-Aug-2020
Accepted	: 14-Sep-2020

Abstract

This article presents an investigation of underground cable at Hinkong power station, Nongkae district, Saraburi province, Thailand which using Damped AC (DAC) Energizing and Conventional Partial Discharge (PD) Detection Method according to IEC 60270 and IEEE 400.3 as a regular maintenance program of Provincial Electricity Authority (PEA). The PD test has been performed over two underground power circuits in the duct bank, 12/20 kV - XLPE cable hosed in the HDPE pipe, length from switchgear to riser pole of 336 m and 368 m. The test result of the first circuit indicates the PDIV (Partial Discharge Inception Voltage) at voltage of around 17.1 kVpk (1U_o) at PD 2,250 pC which has Phase Resolved Partial Discharge (PRPD) corresponded to the characteristics of PD occurring from the internal discharged at a distance of approximately 282 m from the test location. The test result of the second circuit indicates the PDIV at the voltage of around 7.6 kVpk (0.4U_o) at PD 2,750 pC which has PRPD corresponded to the characteristics of PD occurring from the internal discharged at a distance of approximately 366 m from the test location.

Keywords: Partial Discharge Diagnosis, Localization in Underground Cable, maintenance of cables

1. บทนำ

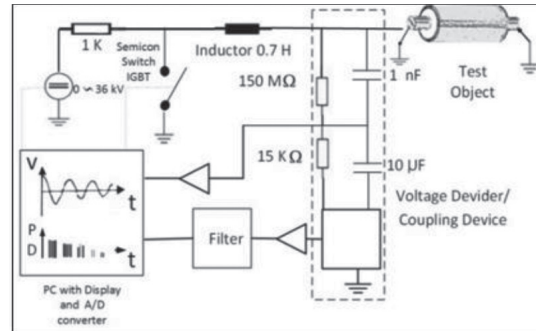
สาเหตุของไฟฟ้าดับในปัจจุบันมีจากหลายสาเหตุ โดยส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากการก่อสร้างและติดตั้งที่ไม่ได้คุณภาพ โดยเฉพาะสายเคเบิลใต้ดิน ที่ยากในการตรวจสอบด้วยวิธีการปกติ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของสายเคเบิลด้วยวิธีการวัดค่าการดีสชาร์จบางส่วน Partial Discharge (PD) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถประเมินและวินิจฉัยสภาพเคเบิลและอุปกรณ์ ที่เสื่อมสภาพก่อนการเบรกดาวน์ (Breakdown) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวิธีการนี้เริ่มมีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากการวัดค่า PD เป็นการวัดค่าการดีสชาร์จภายในเนื้อฉนวนซึ่งเกิดจากโพรงก๊าซหรือการมีสิ่งเจือปนอยู่ภายในเนื้อฉนวน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเคเบิลและอุปกรณ์การดีสชาร์จภายในภายใต้ความเครียดสนามไฟฟ้า และระยะเวลาการดีสชาร์จ (Discharge) ทำให้ฉนวนเกิดการเบรกดาวน์ในที่สุด

วิธีการวัดค่า PD เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพประหยัด และเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย [1]-[2] ที่สามารถใช้เพื่อการตรวจวัดหาการเสื่อมสภาพของสายเคเบิลและจุดต่อต่าง ๆ [3] ซึ่งวิธีการวัดค่า PD นั้นสามารถกระทำได้หลายรูปแบบ แต่วิธีการที่ได้ผลมากที่สุดคือวิธีการทดสอบแบบ PD off-line test [4]-[6]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาและวิจัยเพื่อประเมินและวินิจฉัยสภาพของฉนวนในสายเคเบิลรวมถึงจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ ของสายเคเบิล XLPE ด้วยวิธีการวัดค่า PD ในระหว่างตัดกระแสไฟฟ้า (Off-line) เพื่อการระบุตำแหน่งที่คาดว่าจะเกิดความบกพร่องในสายเคเบิลใต้ดิน ณ สถานีไฟฟ้าหมากแข้ง อ.หนองแค จ.สระบุรี เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการบำรุงรักษาของไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วิธีการวัดค่า PD ขณะสายเคเบิลไม่จ่ายไฟ (Off-line) เป็นวิธีการวัด PD ที่มีประสิทธิภาพ และเที่ยงตรงวิธีหนึ่ง เนื่องจากสายเคเบิลและอุปกรณ์จะถูกปลดวงจรขณะทำการวัด ทำให้สัญญาณรบกวนขณะทำการวัดลดลง โดยชุดทดสอบจะต้องใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกเพื่อสร้างความเครียดสนามไฟฟ้ากระตุ้นให้เกิด PD

วงจรการตรวจวัด PD ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันทดสอบ สวิตช์ ตัวเหนี่ยวนำ ชุดแบ่งแรงดันหรือ Voltage Divider ชุดตรวจจับ PD ชุดประมวลผลใช้คอมพิวเตอร์เป็นฐานและตัวเก็บประจุซึ่งเป็นสายเคเบิลทดสอบดังรูปที่ 1



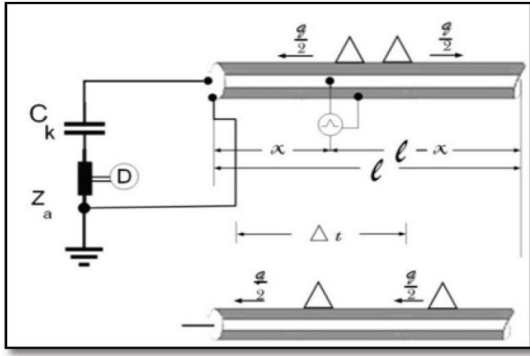
รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างวงจรการตรวจวัด PD โดยป้อนแรงดันกระแสสลับแบบ Damped AC(DAC) [7]

เมื่อทำการจ่ายแรงดันทดสอบในที่นี้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงผ่านชุดสวิตช์และตัวเหนี่ยวนำ กระแสทดสอบจะถูกชาร์จเข้าที่ตัวเก็บประจุทดสอบ จนถึงค่าแรงดันที่กำหนด ชุดสวิตช์จะปิดด้วยความเร็ว 1 ไมโครวินาที จะเกิดการดีสชาร์จจากตัวเก็บประจุทดสอบผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะทำให้เกิดการอสซิลเลตติ้งเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันกระแสสลับชนิดชานันต์ด้วยความถี่ (f_o) ดังสมการที่ (1)

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

เมื่อ L คือ ตัวเหนี่ยวนำของวงจรทดสอบมีค่าคงที่ และ C คือ ค่าตัวเก็บประจุของวัสดุทดสอบ

โดยชุดแบ่งแรงดันในวงจรทดสอบ (รูปที่ 1) ทำหน้าที่ลดแรงดันที่เกิดจากออสซิลเลตติ้งผ่านเข้าชุดตรวจจับ PD แล้วเข้าสู่ชุดประมวลผล



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างวงจร
การเดินทางของพัลส์และการคำนวณหา
ตำแหน่งของฟอลต์ PD [8]

ดังนั้นตำแหน่งพัลส์ (Pulse) PD ที่เกิดขึ้นจาก
ดิซชาร์จจากตัวเก็บประจุทดสอบ สามารถหาได้จากค่า
ความต่างของเวลา (Δt) ของพัลส์ ซึ่งเมื่อจ่ายแรงดัน
ทดสอบให้กับวัสดุทดสอบ จากที่กล่าวมาแล้วว่า เมื่อเกิด
การเบรกดาวน์ในโพรงก๊าซของตัวเก็บประจุวัสดุทดสอบ
จะเกิดกระแสพัลส์ PD ซึ่งวงจรการตรวจวัดสามารถ
แสดงได้ตามรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 แสดงพัลส์ PD ที่เกิดขึ้นในวัสดุ
ทดสอบตัวอย่างที่เป็นสายเคเบิล ในกรณีนี้เป็นสายเคเบิล
ชนิดฉนวนแข็ง XLPE โดยมีโครงสร้างเป็นตัวนำตรงกลาง
หุ้มด้วยฉนวน ซึ่งจะหุ้มด้วยตัวนำรอบ ๆ ฉนวน เมื่อเกิด
กระแสพัลส์ $\frac{q}{2}$ ณ ตำแหน่งดังรูป พัลส์ PD จะเดินทาง
จากจุดที่กำเนิดไปทั้ง 2 ด้านของสายเคเบิลคือที่ต้นทาง
และที่ปลายสายเคเบิลทดสอบแล้วจึงสะท้อนกลับมา
ต้นทางของสายเคเบิลทดสอบ โดยตำแหน่งของระยะเวลา
ของพัลส์ที่ส่งออกไป (Forward) และ พัลส์ที่สะท้อนกลับ
(Reflected) สามารถหาได้จากสมการที่ (2) และ (3) ดังนี้

$$\text{Forward : } t_1 = \frac{x}{v} \quad (2)$$

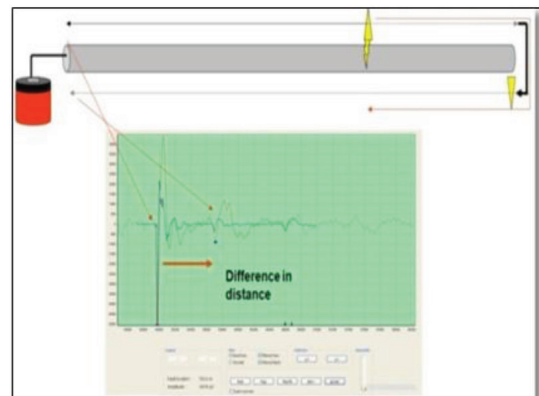
$$\text{Reflected : } t_2 = \frac{2l - x}{v} \quad (3)$$

เมื่อ $\frac{q}{2}$ คือ กระแสประจุพัลส์ PD, l คือ ความยาว
สายเคเบิลทดสอบ, x คือ ระยะของตำแหน่งที่เกิด PD ,
 t_1 คือ ระยะเวลาพัลส์ $\left(\frac{q}{2}\right)$ เดินทางจากจุดกำเนิดถึง
ต้นทางสาย, t_2 คือ ระยะเวลาพัลส์ $\left(\frac{q}{2}\right)$ เดินทางจากจุด
กำเนิดถึงปลายสายและสะท้อนกลับมาถึงต้นทาง

ดังนั้นค่าความต่างของเวลา (Δt) สามารถหาได้
จากสมการที่ (3)

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2(l - x)}{v} \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) หากทราบความเร็วของพัลส์
(v) และความยาวสายเคเบิลทดสอบ (l) จะสามารถ
หาตำแหน่งที่เกิด PD (x) ได้โดย ที่ความเร็วของพัลส์
จะมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของฉนวนโดยลักษณะ
ของคลื่นสะท้อนที่ได้จากการทดสอบสามารถแสดงได้
ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่เกิด PD
ด้วยกราฟการสะท้อนกลับ [9]



ก) Damped AC Test System



ข) PD Calibrator



ค) Time Domain Reflectometer

รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือและอุปกรณ์

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

2.1.1. Damped AC Test System 30kV with PD coupler (รูปที่ 4ก)

2.1.2. เครื่องวัดคลื่นสะท้อน Time Domain Reflectometer (TDR) (รูปที่ 4ข)

2.1.3. เครื่องปรับเทียบ (Calibrator) PD (รูปที่ 4ค)

2.1.4. สายเคเบิลใต้ดินแรงกลางชนิดครอสลิงก์พอลิเอทิลีน (XLPE) แรงดัน 12/20(24) kV ขนาด 3x1C-240 ตร.มม.

2.2 วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษา ณ สถานีไฟฟ้า หินกอง อ.หนองแค จ.สระบุรี (รูปที่ 5) โดยได้ทำการทดสอบการวัดค่า PD ในสายไฟฟ้าใต้ดินแรงกลางชนิด XLPE ขนาด 12/20 kV จำนวน 2 วงจร ซึ่งวงจรแรกเป็นสายเคเบิลใต้ดินแรงกลางหมายเลข 2VB-01 จาก สวิตช์เกียร์ถึง Riser Pole ความยาว 336 เมตร และวงจรที่สองเป็นสายเคเบิลใต้ดินแรงกลางหมายเลข 3VB-01 จากสวิตช์เกียร์ถึง Riser Pole ความยาว 368 เมตร โดยสายเคเบิลทั้งสองวงจรได้ถูกร้อยอยู่ในท่อ HDPE ที่อยู่ในดักแบงค์ (Duct Bank) ดังรูปที่ 6 แต่อย่างไรก็ตามในสถานที่ที่ทำการศึกษาในดักแบงค์มักจะมีน้ำท่วมขังอยู่เสมอ

ขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

2.2.1. การวัดระยะความยาวสาย โดยใช้เครื่องคลื่นสะท้อนกลับ (TDR) และเปรียบเทียบกับความยาวจริงของสายเคเบิล

2.2.2. ทำการปรับเทียบโดยป้อนประจุ PD มาตรฐานขนาด 1,000 pC ผ่านสายเคเบิลทดสอบ

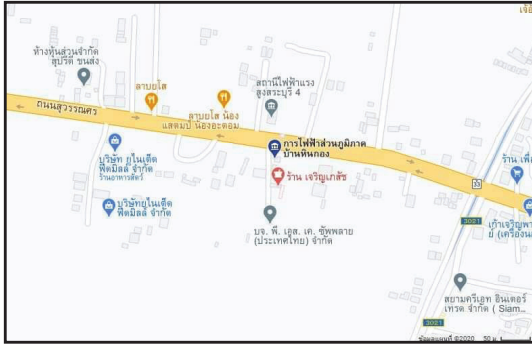
2.2.3. เริ่มการทดสอบโดยป้อนแรงดันขนาด 0 kV เพื่อวัดสัญญาณรบกวนในระบบทั้งหมด

2.2.4. ป้อนแรงดันกระแสสลับ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการดีสชาร์จจากแรงดันต่ำถึงแรงสูง U_0 ถึง $1.5 U_0$ แล้วบันทึกผลการทดสอบ

$$\text{เมื่อ} \quad U_0 = \frac{U_{L-L}}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

โดย U_{L-L} คือ ค่าความต่างศักย์ของเฟส A และ B, U_0 คือ ค่าความต่างศักย์ของ Line และ Neutron

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบ



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสถานที่ทำการศึกษา



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างสายเคเบิล
ที่ทำการศึกษา

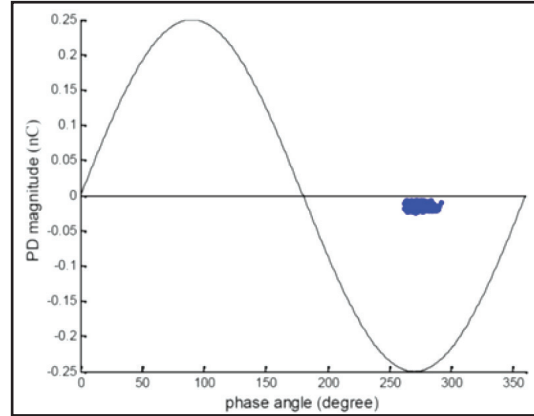
2.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

เครื่องมือทดสอบ PD เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60270 โดยการวิเคราะห์ผลจะพิจารณาถึง PD ที่เกิดขึ้นในผลการทดสอบ ซึ่งตำแหน่งของ PD ที่เกิดขึ้นในมุมเฟสต่าง ๆ จะสอดคล้องกับลักษณะของ PD ที่เกิดขึ้น สามารถสรุปลักษณะการเกิด PD โดยใช้กราฟ PRPD; Phase Resolved PD ได้ดังนี้ [10]

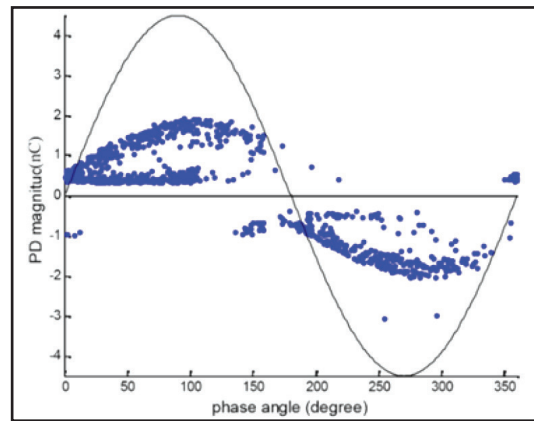
2.3.1 โคโรน่า : PD จะเกิดที่มุมเฟส 270° ที่ U_i เมื่อ U สูงขึ้น PD จะเกิดขึ้นในช่วง 90° ด้วย (รูปที่ 7)

2.3.2 ดิสชาร์จภายใน : PD จะเกิดที่มุมเฟส $0-90^\circ$ และ $180-270^\circ$ (รูปที่ 8)

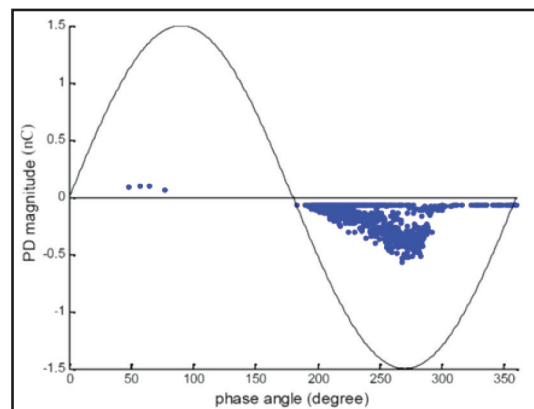
2.3.3. ดิสชาร์จตามผิว : PD จะเกิดที่มุมเฟสระหว่าง $0-90^\circ$ และ $180-270^\circ$ (รูปที่ 9)



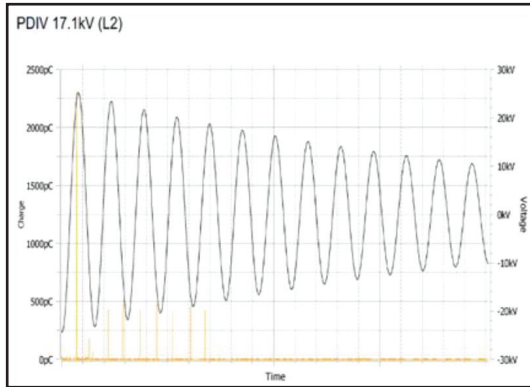
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง PD ของการเกิด
โคโรน่า [11]



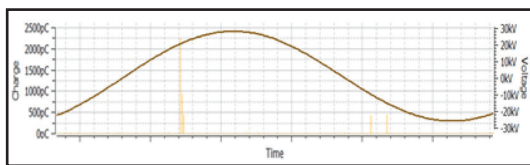
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง PD ของการเกิดดิสชาร์จ
ภายใน [11]



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง PD ของการเกิด
ดิสชาร์จตามผิว [11]

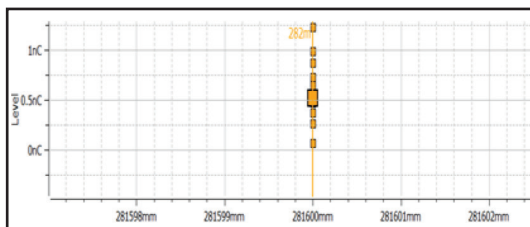


ก) ความสัมพันธ์ระหว่างรูปคลื่นแรงดันทดสอบ
Damped AC และพัลส์ PD ที่เกิด

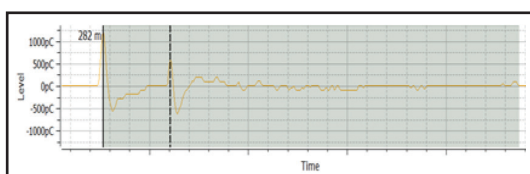


ข) ความสัมพันธ์ระหว่างรูปคลื่นแรงดันเมื่อ PD เริ่มเกิด
(PDIV)

รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง PDIV ที่ตรวจพบในวงจร
ที่ 1 PD เริ่มเกิดที่แรงดัน 17.1 kVpk



ก) ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและตำแหน่ง PD
ที่เกิดตามระยะความยาวสายทดสอบ
(PD Mapping) ในวงจรที่ 1

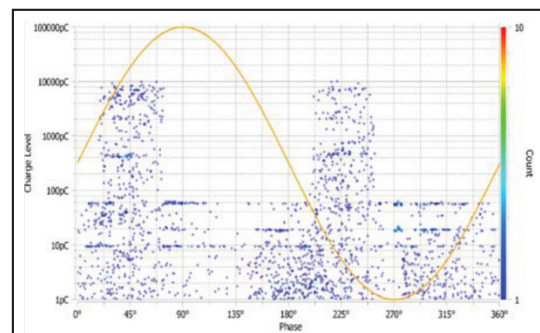


ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาการเดินทาง
ของพัลส์ PD จากจุดกำเนิดที่ตำแหน่ง 282 เมตรมาถึง
จุดตรวจวัดของพัลส์กำเนิด และพัลส์สะท้อน

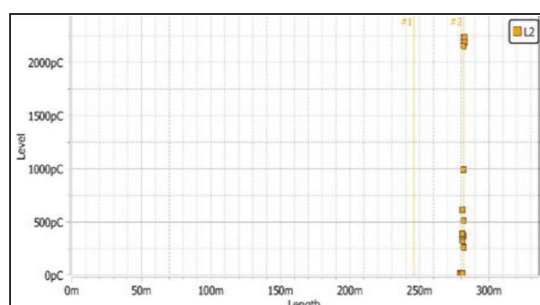
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง PD ที่ตรวจพบ
ในวงจรที่ 1

3.ผลการศึกษา

ในวงจรที่ 1 สามารถตรวจพบ PDIV (Partial Discharge Inception Voltage) ที่แรงดันประมาณ 17.1 kVpk (1Uo) ที่ค่า PD 2,250 pC ดังแสดงในรูปที่ 10 และพัลส์ PD ที่วัดได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11 ซึ่งพัลส์เกิดขึ้นจะมีลักษณะรูปทรงเหมือนกันทั้งพัลส์ PD ลูกแรกซึ่งคือพัลส์ PD กำเนิด (Forward Pulse) และพัลส์ PD ที่สอง (Reflected Pulse) แต่แอมพลิจูดของพัลส์ PD ที่สองจะลดทอนลงเนื่องจากการสูญเสียในการเดินทาง รูปที่ 12 แสดง Phase Resolved Partial Discharge (PRPD) ของวงจรที่ 1 โดย PD เกิดที่มุม $0^\circ - 90^\circ$ และ $180^\circ - 270^\circ$ ซึ่งตรงกับลักษณะการเกิด PD ที่เกิดจากการดีสชาร์จภายในจำนวน 1 ตำแหน่งที่ระยะประมาณ 282 เมตร จากความยาวสายเคเบิล 336 เมตร โดยผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11 (ก) และ 13

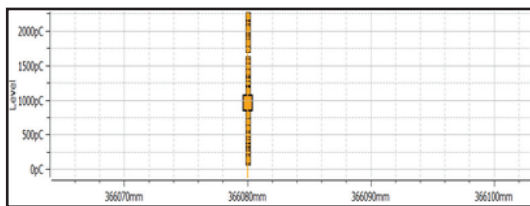


รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง พัลส์ PD
ที่เกิดบนกราฟ PRPD; Phase Resolved
Partial Discharge ของวงจรที่ 1

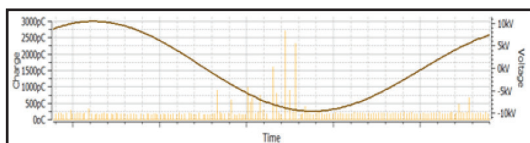


รูปที่ 13 รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่าง
กราฟ PD mapping การเกิด PD
ณ.ตำแหน่ง 282 เมตร ของวงจรที่ 1

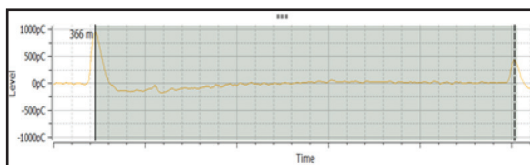
ในวงจรที่ 2 สามารถตรวจพบ PDIV ที่แรงดันประมาณ 7.6 kVpk(0.4Uo) ที่ค่า PD 2,750 pC ดังแสดงในรูปที่ 15 โดยรูปที่ 16 แสดง PRPD ของวงจรที่ 2 โดย PD เกิดที่มุม $0^\circ - 90^\circ$ และ $180^\circ - 270^\circ$ ซึ่งตรงกับลักษณะการเกิด PD ที่เกิดจากการดีสชาร์จภายในจำนวน 1 ตำแหน่งที่ระยะประมาณ 366 เมตร จากความยาวสายเคเบิล 368 เมตร โดยตำแหน่งของ PD สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 16



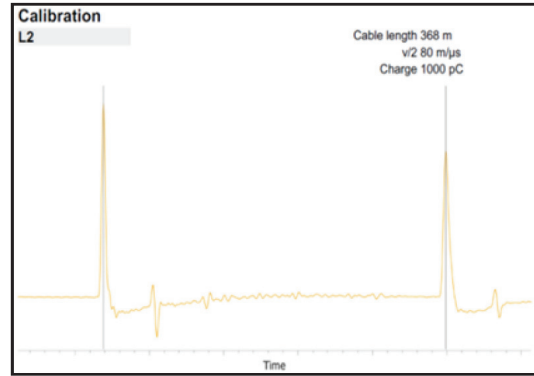
ก) ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและตำแหน่ง PD ที่เกิดตามระยะความยาวสายทดสอบ (PD Mapping) ในวงจรที่ 2



ข) ความสัมพันธ์ระหว่างรูปคลื่นแรงดันเมื่อ PD เริ่มเกิด (PDIV)

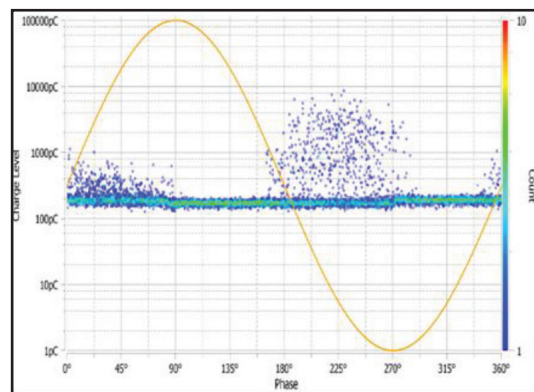


ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาการเดินทางของพัลส์ PD จากจุดกำเนิดที่ตำแหน่ง 366 เมตร มาถึงจุดตรวจวัดของพัลส์กำเนิดและพัลส์สะท้อน

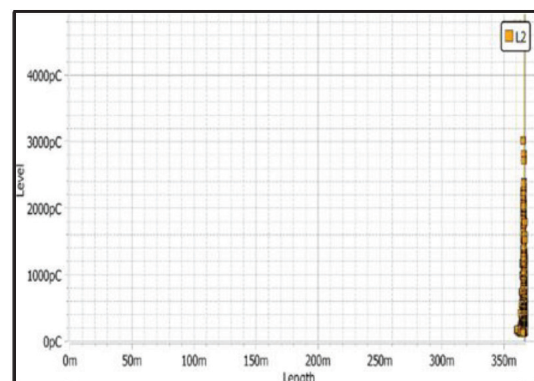


ง) ความสัมพันธ์ระหว่างพัลส์คลื่นสะท้อนจากการวัดความยาวสายทดสอบซึ่งยาว 368 เมตร

รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่าง PD ที่ตรวจพบในวงจรที่ 2



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างพัลส์ PD ที่เกิดบนกราฟ PRPD; Phase Resolved Partial Discharge ของวงจรที่ 2



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างกราฟ PD mapping การเกิด PD ณ ตำแหน่ง 366 เมตร ของวงจรที่ 2

ตารางที่ 1 สรุปผลการทดสอบ PD

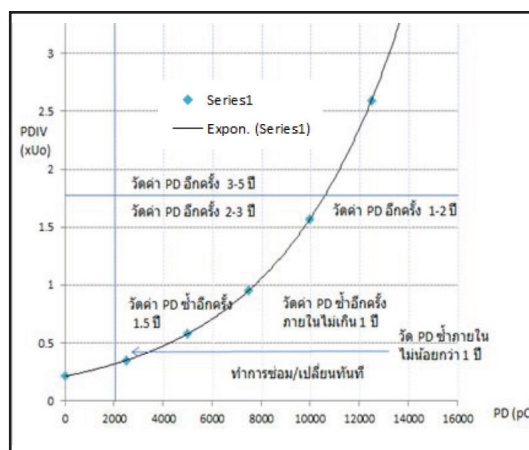
ค่าแรงดัน U_0		วงจรที่ 1	วงจรที่ 2
0	0 kVrms	ไม่พบ	ไม่พบ
$0.2U_0$	2.5 kVrms	ไม่พบ	ไม่พบ
$0.4U_0$	5.1 kVrms	ไม่พบ	พบ
$0.6U_0$	7.6 kVrms	ไม่พบ	ไม่พบ
$0.8U_0$	10.2 kVrms	ไม่พบ	ไม่พบ
$1.0U_0$	12.7 kVrms	พบ	ไม่พบ
$1.2U_0$	15.2 kVrms	ไม่พบ	ไม่พบ
$1.4U_0$	17.8 kVrms	ไม่พบ	ไม่พบ
$1.6U_0$	20.3 kVrms	ไม่พบ	ไม่พบ

ตารางที่ 2 แสดงเกณฑ์ค่า PD ในการยอมรับในสายเคเบิลและอุปกรณ์ [12]

ประเภทอุปกรณ์	ชนิด	ค่า PD
ฉนวนสายเคเบิล	PILC XLPE	10,000 pC 20 pC
หัวต่อสาย	ชนิดน้ำมัน ฉนวนเรซิน ฉนวนน้ำมัน ฉนวนเรซิน/ น้ำมัน	5,000 pC 500 pC 10,000 pC 5,000 pC
หัวเคเบิล	ชนิดน้ำมัน ชนิดฉนวนแห้ง หัวเคเบิล ABB	6,000 pC 3,500 pC 250 pC

การวัดค่า PD ในสายเคเบิลขณะสายเคเบิลไม่ได้จ่ายไฟ เป็นวิธีประเมินการเสื่อมสภาพของฉนวนในสายเคเบิลที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเพื่อประเมินและวินิจฉัยการเสื่อมสภาพของฉนวนในสายเคเบิลนั้น ทำให้ทราบระดับค่า PD (pC) แรงดันที่ PD เริ่มเกิดและหมดไป ตลอดจนรูปแบบของ PD (PD patterns) และการสามารถระบุตำแหน่งของ PD (PD locations) โดยข้อมูล PD ที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำมาประเมินการเสื่อมสภาพและวิเคราะห์แนวโน้มสภาพของฉนวน เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการตัดสินใจในแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตาม E. Gulski ได้เสนอเกณฑ์ค่า PD ในการยอมรับในสายเคเบิลและอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ (ตารางที่ 2) ในส่วนของการบำรุงรักษา

ในระยะยาว Martin Keller ได้ศึกษาและเสนอความสัมพันธ์ระหว่าง PD และค่า PDIV โดยพบว่าค่า PDIV ที่ค่าแรงดันทดสอบที่ต่ำกว่า $1 \times U_0$ มีแนวโน้มที่จะต้องทำการทวนทดสอบซ้ำในช่วงเวลาที่เร็วขึ้นกว่าในกรณีค่า PDIV ที่เกิดมากกว่า $1 \times U_0$ โดยแสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างแนวทางเกณฑ์การวางแผนและตัดสินใจบนความสัมพันธ์ระหว่างค่า PD ที่วัดได้เทียบกับค่าแรงดัน PDIV [13]

จากการผลการศึกษาพบว่า การวัดค่า PD สามารถตรวจพบ PDIV ของทั้งสองวงจร โดยวงจรแรกพบค่า PD ที่ระยะ 282 เมตร จากจุดที่วัดค่า จากระยะทางของสายเคเบิลทั้งหมด 336 เมตร ส่วนในวงจรที่สองสามารถตรวจพบ PD ที่ระยะประมาณ 366 เมตร จากตำแหน่งที่วัดค่า ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ PRPD ของทั้งสองวงจรพบว่าเป็น PD ที่เกิดที่มุม $0^\circ - 90^\circ$ และ $180^\circ - 270^\circ$ ซึ่งตรงกับลักษณะการเกิด PD ที่เกิดจากการดีสชาร์จภายใน โดยการทดสอบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

4. สรุปผลการศึกษา

จากการทดสอบ การวิเคราะห์และตรวจหาการดีสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิลใต้ดิน ณ สถานีไฟฟ้าหินกอง อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี สามารถสรุปได้ว่าตำแหน่งของการเกิด PD ที่ได้จากการทดลองมีค่าตรงกับตำแหน่งที่เกิด PD ของสายเคเบิลใต้ดินตามมาตรฐาน IEC

60270 และ IEEE 400.3 ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งตามแผนการบำรุงรักษาที่ต้องกระทำอย่างต่อเนื่องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บจก. เทสท์ อินสตรูเมนต์ เอ็นจิเนียริง ที่ให้ใช้เครื่องมือตรวจวัด PD และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ให้เผยแพร่ข้อมูลการตรวจวัด PD

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Hauschild W. Critical review of voltage applied for quality-acceptance and diagnostic field tests on high-voltage and extra-high-voltage cable systems. IEEE insulation magazine. 2013 March/April.
- [2] Van Veen L. W. Comparison of measurement methods for partial discharge measurement in power cables. Master thesis delft University of Technology. 2014
- [3] Mashikian S M, Boone W. Guide for partial discharge testing of shielded power cable systems in a field environment. IEEE 400.3. 2006.
- [4] Bartnikas R. Partial discharges. Their mechanism, detection and measurement. IEEE transactions on dielectrics and electrical insulation. 2002 Vol. 9. No.5.
- [5] Gulski E, Cichecki P, Wester F, Smit J, Bodega R, Hermans T, Seitz P. On-site testing and PD diagnosis of high voltage power cables. IEEE transactions on dielectrics and electrical insulation. 2008; 15(6); 1691–700.
- [6] Kulick J, Law J D, Hulett H R. Guide for field testing of shielded power cable systems using VLF. IEEE 400.2 . 2004.
- [7] Gulski E. Insulation condition assessment of medium voltage power cables using on-site PD detection and analysis techniques. Delft University of Technology.
- [8] Engelstatter H. GRU_Test PD diagnosis ENG 20050125. SebaKMT, diagnosis seminar. 2004
- [9] Gotz D. Theory II influence to TDR analysis. 2010.
- [10] Sangsangsa S. High voltage engineering 1. Department of Electrical Faculty of Engineering Chulalongkorn University 1st edition. 2004. (In Thai)
- [11] Illias H, Yuan S T, Bakar A H, Mokhlis H, Chen G, Lewin L P. Partial discharge patterns in high voltage insulation. IEEE international conference on power and energy. 2012.
- [12] Gulski E, Wester J F, Smit J J, Groot E. PD knowledge rules for insulation condition assessment of distribution power cables. Delft University of Technology.
- [13] Keller M. OWTS PD diagnosis. OWTS-M seminar, Baunach, Germany, Seba Dynatronik Mess- und Ortungstechnik GmbH. 2007

การศึกษาแนวทางเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง กรณีศึกษา บริษัท A ทรานสปอร์ต จำกัด

รัชฎา แต่งภูเขียว^{1*} ณัฐนันท์ อิศระพงศ์² พรศิริ คำหล้า³ และปิยณัฐ โตอ่อน⁴
Taengphukieo.ra@gmail.com^{1*}, nutthanance@gmail.com², pornsiri.kh@gmail.co.th³,
piyanat.to@gmail.com⁴

¹⁻⁴ สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และเทคโนโลยีขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Received : 11-Mar-2020
Revised : 01-Sep-2020
Accepted : 14-Sep-2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนด้านเชื้อเพลิงถือว่าเป็นต้นทุนที่สำคัญและมีต้นทุนมากในการขนส่งสินค้า ดังนั้น สถานประกอบการต่าง ๆ จึงพยายามหากลยุทธ์เพื่อลดต้นทุนเชื้อเพลิงให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เช่น การเปลี่ยนจากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นแก๊ส หรือการควบคุมพนักงานขับรถให้วิ่งในเส้นทางที่กำหนด เป็นต้น ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย การเก็บข้อมูลเริ่มต้นจากการเปรียบเทียบการจ่ายค่าเชื้อเพลิงกรณีศึกษา บริษัท A ทรานสปอร์ต จำกัด จากการศึกษาพบว่า บริษัทดังกล่าวได้จัดการการดำเนินงานด้านขนส่งอยู่ 2 รูปแบบการจ่าย (1) แบบจ่ายตามจริง และ (2) แบบเหมาจ่ายรายเที่ยว ผลการวิจัยพบว่า จากการเก็บข้อมูลต้นทุนการขนส่งในระยะเวลา 1 เดือน ค่าใช้จ่ายรวมรูปแบบที่ (2) แบบเหมาจ่ายรายเที่ยว มีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำกว่าค่าใช้จ่ายรวมของรูปแบบที่ (1) แบบจ่ายตามจริง คิดเป็นร้อยละ 21.91

คำสำคัญ: ต้นทุนขนส่ง เชื้อเพลิง การลดต้นทุน

A Guideline of to Reduce Transportation Cost: A Case study of A Transport Co., Ltd.

Ratchada Taengphukieo^{1*}, Nutthanan Issarapong², Pornsiri Khamla³ and Piyanat To-on⁴
Taengphukieo.ra@gmail.com^{1*}, nutthananice@gmail.com², pornsiri.kh@gmail.co.th³,
piyanat.to@gmail.com⁴

^{1*-4} Department of Logistics Engineering and Transportation Technology Faculty of Engineering and Industrial Technology
Kalasin University

Received	: 11-Mar-2020
Revised	: 01-Sep-2020
Accepted	: 14-Sep-2020

Abstract

This research was a guideline to reduce transportation cost. The cost of fuel becomes a main and highest cost for delivering goods. Therefore many enterprises try to find a strategy to reduce a fuel cost as much as possible, for example, using gas instead of diesel fuel or controlling a driver to drive in a specified route etc. The research methodology began with collecting data and comparing fuel expenditure of A Transportation Co., Ltd. as a case company. From the study, it found that there were 2 types of payment used to manage the transportation operation; (1) actual payment and (2) pay per trip. According to one-month data collecting, the total cost of type (2), pay per trip spent lower than the total cost of type (1), actual payment as 21.91 percent.

Keywords: Transportation costs, Fuel, Cost reduction

1. บทนำ

ปัจจุบันการดำเนินธุรกิจการค้าไร้พรมแดน ผู้บริหารต้องมีความรู้ที่ทันสมัยและการวางแผนเพื่อพัฒนา เทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อนำมาใช้ในองค์กร โดยเฉพาะ การบริหารจัดการด้านโลจิสติกส์ซึ่งถือเป็นกลยุทธ์ สำคัญที่ทำให้ผู้ประกอบการ SMEs นำมาใช้เพื่อเพิ่มขีด ความสามารถในการทำกำไรให้กับธุรกิจ โดยจะทำให้ สินค้าและบริการมีต้นทุนที่ต่ำลง สามารถส่งสินค้าไปให้ กับลูกค้าได้อย่างรวดเร็วถูกต้องมากขึ้น [1]

บริษัท A ทรานสปอร์ต จำกัด ทำธุรกิจเกี่ยวกับการขนส่งสินค้า โดยให้บริการเริ่มตั้งแต่การจัดเก็บสินค้า มีพื้นที่มากกว่า 30,000 ตรม. โดยใช้ระบบการจัดการ คลังสินค้า (Warehouse Management System: WMS) บริการออกแบบการแพ็คเกจให้เหมาะสมกับ สินค้า และลดแรงกระแทกหรือความเสียหายที่จะเกิด กับสินค้าระหว่างจัดส่ง และรูปแบบ ให้บริการ Cross docking การกระจายสินค้าไปยังโมเดิร์นเทรด โดย บริการกระจายสินค้าให้กับร้านไฮเปอร์มาร์ทขนาดใหญ่ จำนวน 2 บริษัท โดยนำระบบการจัดการขนส่ง (Transportation Management System: TMS) มาใช้ในงานด้านการขนส่งสินค้า ซึ่งบริษัทมีพาหนะ ที่ใช้ในการขนส่งตั้งแต่รถบรรทุกสี่ล้อ รถบรรทุกหกล้อ รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกสิบสองล้อ รถบรรทุกสิบล้อ พ่วงแม่ลูก รถพ่วงตู้คอนเทนเนอร์ ต้นทุนในการขนส่ง นั้นมีหลายปัจจัยแต่ต้นทุนที่มากที่สุดคือต้นทุนเชื้อเพลิง บริษัทจึงหาแนวทางกลยุทธ์ที่จะสามารถลดต้นทุนเชื้อเพลิง ทุกทาง เช่น การเปลี่ยนจากการใช้น้ำมันเป็นแก๊ส ธรรมชาติมีราคาถูกกว่าน้ำมัน การควบคุมการขับรถ ของพนักงานให้วิ่งในเส้นทางที่กำหนด เพื่อหลีกเลี่ยง การวิ่งระยะทางไกลโดยไม่จำเป็น การบำรุงดูแลรักษา เครื่องยนต์อย่างสม่ำเสมอทำให้สามารถลดต้นทุนได้ ในระดับหนึ่ง ในอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการลดต้นทุนเชื้อเพลิง คือการคิดแบบเหมาจ่าย โดยให้พนักงานเหมาค่าใช้จ่าย การขนส่งในแต่ละเที่ยว ซึ่งพนักงานต้องบริหารเงินเอง และทำให้สามารถควบคุมการขับรถให้วิ่งเส้นทางที่ใกล้ ที่สุดไปในตัวด้วย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ต้นทุนการขนส่ง โดยใช้การวิเคราะห์แบบเหมาจ่ายรายเที่ยว และ แบบจ่ายตามจริง โดยได้ทำการกำหนดขนาดของ กลุ่มตัวอย่าง และประเภทของรถบรรทุก ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนและประเภทรถของ บริษัท A ทรานสปอร์ต จำกัด

ประเภทรถบรรทุก	จำนวนรถบรรทุกตัวอย่าง
6 ล้อ	8
10 ล้อ	20
18 ล้อ	1

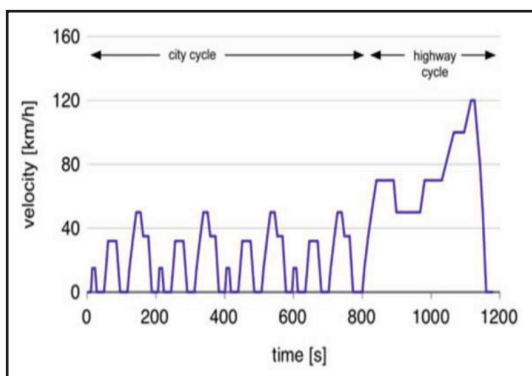
จากตารางที่ 1 เป็นข้อมูลของจำนวนรถขนส่ง ที่มีใช้ใน บริษัท A ทรานสปอร์ต จำกัด จึงได้เลือกประเภท ของรถบรรทุก 10 ล้อ มาเป็นกรณีศึกษา เนื่องจาก มีจำนวนของกลุ่มตัวอย่างมากที่สุด ทำให้ข้อมูลที่ได้ มีความเชื่อมั่นสูงและสามารถมองเห็นแนวโน้มได้ง่าย จากนั้นทางคณะผู้วิจัย ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับ การกำหนด Rate การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งข้อมูลปริมาณ การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลรถบรรทุกทุกสปีด บริษัท A ทรานสปอร์ต จำกัด

ลำดับ	ยี่ห้อ	ทะเบียน	ประเภทรถ	rate.กม/ลิตร
1	ISUZU-ตู้	xx-xx57	10	3.50
2	HINO-ตู้	xx-xx72	10	3.10
3	HINO-ตู้	xx-xx16	10	4.00
4	10,12-ตู้-แปลงจาก6-หัวลาก	xx-xx67	10	4.50
5	ดัดแปลงจาก6ล้อเป็น 10 ล้อ	xx-xx34	10	5.50
6	ดัดแปลงจาก6ล้อเป็น 10 ล้อ	xx-xx35	10	6.00
7	ISUZU-ตู้	xx-xx97	10	3.80
8	HINO-ตู้	xx-xx73	10	3.10
9	HINO(10ล้อตู้ใหม่)	xx-xx61	10	4.00
10	ISUZU / FVM เปิดปีก	xx-xx85	10	5.10
11	ISUZU / FVM เปิดปีก	xx-xx86	10	5.10
12	ISUZU / FVM เปิดปีก	xx-xx87	10	5.10
13	ISUZU / FVM เปิดปีก	xx-xx88	10	5.10
14	ISUZU / FVM เปิดปีก	xx-xx89	10	5.10
15	ISUZU / FVM เปิดปีก	xx-xx90	10	5.10
16	10-ISUZU-ตู้	xx-xx68	10	3.50
17	10-ISUZU-ตู้	xx-xx77	10	4.60
18	10-HINO-ตู้	xx-xx88	10	3.10
19	10-HINO-ตู้	xx-xx89	10	3.10
20	10-ISUZU-ตู้	xx-xx58	10	3.80
			เฉลี่ย	4.32 ≈ 4.5

จากตารางที่ 2 เป็นตารางที่บอกถึงข้อมูลรถบรรทุกทุกสปีดทั้งหมดในศูนย์ใหญ่ของบริษัท ซึ่งประกอบไปด้วย ยี่ห้อ ทะเบียน ประเภท และ Rate ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (กม/ลิตร) โดยที่ ค่า Rate ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (กม/ลิตร) เฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 4.5 กม./ลิตร ซึ่งทางบริษัทได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานสากล UN R101

โดยที่ UN R101 คือ การทดสอบหาอัตราใช้น้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้ Gas Analyzer ซึ่งเป็น Flow Meter ที่มีความเที่ยงตรงที่สุดโดยการทดสอบจะกระทำในห้องปฏิบัติการที่ได้ควบคุมจะกระทำโดยการนำรถยนต์ทดสอบ มาวิ่งบนแชสซีส์ไดนาโมมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ ระดับความเร็วต่าง ๆ ตามช่วงเวลาที่กำหนดในรูปที่ 1 [2]



รูปที่ 1 ตัวอย่างผลการทดสอบ

เกวลี หริจันทรวงศ์และคณะ ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้รถขนส่งของบริษัท ABC ซึ่งเป็นการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพแท้จริงในการบริหารจัดการใช้รถขนส่งของบริษัท โดยได้ทำการศึกษาแนวทางต่าง ๆ ในการบริหารจัดการเพื่อลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้รถขนส่ง รวมทั้งพัฒนาวิธีการลดจุดบกพร่อง เพิ่มประสิทธิภาพซึ่งจะนำไปสู่การสร้างมาตรฐานในการบริหารจัดการและลดต้นทุนค่าขนส่ง ผลการศึกษางานวิจัยนี้พบว่าแม้จะเป็นรถประเภทเดียวกัน แต่มีความสามารถในการบรรทุกที่แตกต่างกัน เนื่องจากความกว้าง ยาว สูง แตกต่างกันไปตามยี่ห้อหรือการปรับสภาพรถ ดังนั้นจึงสร้างมาตรฐานในการดำเนินงานของพนักงาน และเพิ่มความสามารถในการใช้ทรัพยากรของบริษัท จึงให้มีการระบุขนาดความกว้าง ยาว สูง และปริมาตรของรถขนส่งแต่ละคันเพื่อนำมาใช้ในการสร้างมาตรฐานการบรรทุก ผลจากการทดลอง พบว่าจะสามารถลดจำนวนเที่ยวในการขนส่งสินค้าได้จากเดิมขนส่งทั้งหมด 327 เที่ยว สามารถปรับลดลงได้เหลือเพียง 213 เที่ยวเท่านั้น นอกจากนี้ยังลดการใช้รถขนส่งขนาดเล็ก และเพิ่มการใช้รถขนส่งขนาดใหญ่ โดยสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายจาก 826,235 บาท เหลือ 744,516 บาทได้ [3]

ประสาร ทองไม้และคณะ ทำการศึกษาแนวทางการลดต้นทุนการขนส่งน้ำมันฝรั่งเศสในระบบโลจิสติกส์ของบริษัทผู้ผลิตขนมขบเคี้ยวมันฝรั่งทอด โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาแนวทางในการลดต้นทุนการขนส่งน้ำมันฝรั่งเศสในระบบโลจิสติกส์ของบริษัทผู้ผลิตขนมขบเคี้ยวมันฝรั่งทอดกรอบ

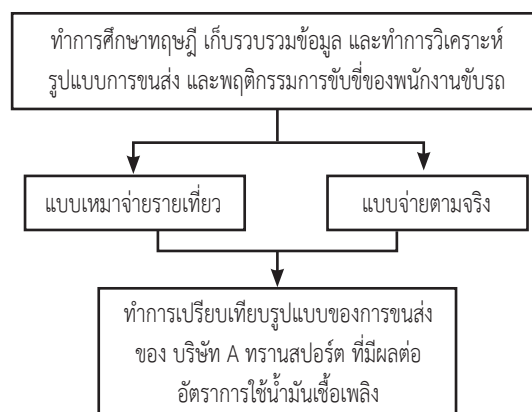
ซึ่งได้ใช้แนวคิดการจัดระบบงานและต้นทุนการขนส่งน้ำมันฝรั่งเศส แนวคิดบริหารสินค้าคงคลังในระบบโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน และแนวคิดเกี่ยวกับทฤษฎีการผลิตและการเพิ่มผลผลิต ใช้วิธีการรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึก ผลการศึกษาพบว่า การนำระบบการขนส่งและระบบโลจิสติกส์แบบใหม่มาใช้ในบริษัท ทำให้ทางบริษัท สามารถลดต้นทุน คิดเป็นร้อยละ 19.70 ของต้นทุนการขนส่งแบบเดิม ซึ่งต้นทุนการขนส่งนั้นประกอบด้วยการจัดซื้อจัดส่งหัวพันธุ์น้ำมันฝรั่งเศส คิดเป็นร้อยละ 3.57 ค่าจ้างแรงงาน คิดเป็นร้อยละ 66.67 ค่าเช่าห้องเย็น คิดเป็นร้อยละ 100 และค่าขนส่ง คิดเป็นร้อยละ 52.25 [4]

งานวิจัยทั้ง 2 ทำให้ทราบว่า การบริหารด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง และการลดต้นทุน สามารถใช้แนวทางในการจัดการได้หลายแบบ ไม่ว่าจะเป็นการจัดรูปแบบการวางสินค้า ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึก และจำนวนเที่ยวในการขนส่ง ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนเป็นอย่างมาก เนื่องจากจำนวนเที่ยวในการวิ่งรับ-ส่งสินค้าส่งผลโดยตรงต่ออัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้เลือกแนวทางในการศึกษารูปแบบการขนส่ง และพฤติกรรมการใช้พื้นที่งานขับรถ เพื่อใช้เป็นแนวทางเพื่อลดต้นทุนการขนส่งต่อไป

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบแนวทางการต้นทุนการขนส่งดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดของงานวิจัย

จากรูปที่ 2 ได้แสดงกรอบแนวคิดของงานวิจัยครั้งนี้ พบว่าต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดจากการขนส่งสินค้า ซึ่งเป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดต้นทุนสูงมาจากการขับขี่ที่ไม่ปฏิบัติตามระเบียบ เช่น การใช้ความเร็ว การวิ่งออกนอกเส้นทาง และการติดเครื่องยนต์ทิ้งไว้ในขณะจอด โดยสาเหตุหลักมาจากพฤติกรรมการขับขี่พนักงานขับรถ ซึ่งเคยชินกับรูปแบบการขับขี่ในลักษณะเดิม ๆ ไม่ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการขับขี่ไปตามแนวทางในการประหยัดน้ำมันที่บริษัทกำหนดไว้ จึงส่งผลกระทบต่อต้นทุนน้ำมัน ดังนั้นในการแก้ปัญหาโดยจะเน้นไปที่การลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ด้วยวิธีการสร้างแรงจูงใจ (Incentive) ในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงให้กับพนักงานขับรถโดยบริษัทจะจ่ายส่วนต่างเป็นผลตอบแทนเป็นเงินจูงใจ (Incentive) ให้กับพนักงานที่สามารถลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลงได้ ซึ่งวิธีนี้จะสามารถกระตุ้นให้พนักงานขับรถปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการขับขี่ให้ไปตามแนวทางในการประหยัดน้ำมันที่บริษัทกำหนดไว้ได้ [5] เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบต้นทุนเพื่อหาแนวทางการลดต้นทุน โดยได้ใช้การเปรียบเทียบ 2 รูปแบบระหว่าง 1. แบบเหมาจ่ายรายเที่ยว เทียบกับ 2. แบบจ่ายตามจริง ซึ่งได้ใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

1) แบบเหมาจ่ายรายเที่ยว

$$\text{แบบเหมาจ่ายรายเที่ยว} = \text{ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงเหมารอบเดือน} + \text{รายได้ค่าเที่ยวรวมในรอบเดือน}$$

2) แบบจ่ายตามจริง

$$\text{แบบจ่ายตามจริง} = \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการใช้เชื้อเพลิงจริงในรอบเดือน} + \text{รายได้ค่าเที่ยวรวมในรอบเดือน}$$

4. ผลการดำเนินงาน

สำหรับการวิจัยนี้ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายของรถบรรทุก ประเภท 10 ล้อ จำนวนทั้งหมด 20 คัน ระหว่างวันที่ 26/09/61 – 25/10/61 และทำการเปรียบเทียบข้อมูล แบบเหมาจ่ายรายเที่ยวกับแบบจ่ายตามจริง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายแบบเหมาจ่ายรายเที่ยว และแบบจ่ายตามจริง ระหว่างวันที่ 26/09/18 – 25/10/18

ลำดับ	ทะเบียน	แบบจ่ายตามจริง (บาท)	แบบเหมาจ่ายรายเที่ยว (บาท)	ผลการเปรียบเทียบ (บาท)
1	xx-xx57	131,668	95,886	35,782
2	xx-xx72	190,891	89,218	101,673
3	xx-xx16	127,006	102,146	24,860
4	xx-xx67	128,949	117,630	11,319
5	xx-xx34	65,749	60,317	5,432
6	xx-xx35	105,697	71,214	34,482
7	xx-xx97	63,189	61,021	2,168
8	xx-xx73	87,192	73,920	13,272

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายแบบเหมาจ่ายรายเที่ยว และแบบจ่ายตามจริง ระหว่างวันที่ 26/09/18 – 25/10/18 (ต่อ)

ลำดับ	ทะเบียน	แบบจ่ายตามจริง (บาท)	แบบเหมาจ่ายรายเที่ยว (บาท)	ผลการเปรียบเทียบ (บาท)
9	xx-xx61	99,909	87,647	12,262
10	xx-xx85	114,159	78,902	35,257
11	xx-xx86	118,603	108,306	10,297
12	xx-xx87	114,096	85,266	28,830
13	xx-xx88	92,208	90,844	1,364
14	xx-xx89	92,124	59,001	33,123
15	xx-xx90	60,506	48,860	11,647
16	xx-xx68	35,180	20,267	14,913
17	xx-xx77	35,750	33,317	2,433
18	xx-xx88	47,611	33,800	13,811
19	xx-xx89	89,380	86,444	2,937
20	xx-xx58	20,740	17,700	3,040
รวม		1,820,608	1,421,705	398,903

จากตารางที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายแบบเหมาจ่ายรายเที่ยว และแบบจ่ายตามจริง พบว่าต้นทุนการขนส่งแบบเหมาจ่ายรายเที่ยว สามารถช่วยลดต้นทุนได้ถึง 398,903 บาท/เดือน หรือคิดเป็นร้อยละ 21.91 เมื่อเทียบกับการขนส่งแบบจ่ายตามจริง

5. สรุปผลการวิจัย

บริษัท A ทรานสปอร์ต จำกัด ทำธุรกิจเกี่ยวกับการขนส่งสินค้า โดยให้บริการเริ่มตั้งแต่การจัดเก็บสินค้า มีพื้นที่มากกว่า 30,000 ตรม. โดยใช้ระบบการจัดการคลังสินค้า (WMS) บริการออกแบบการแพคเกจให้เหมาะสมกับสินค้า และลดแรงกระแทกหรือความเสียหายที่จะเกิดกับ สินค้าระหว่างจัดส่ง ก็ได้นำเอาแนวคิดในการลดต้นทุนการขนส่ง ซึ่งแบบเดิมได้ใช้การคิด

ต้นทุนการขนส่งแบบจ่ายตามจริง ซึ่งไม่ได้ช่วยลดค่าใช้จ่าย ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาโดยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดในการลดต้นทุน พบว่าการจัดรูปแบบการขนส่ง และพฤติกรรมมีผลต่อต้นทุนในการขนส่ง และจากข้อมูลข้างต้นใช้ระบบ GPS เข้ามาช่วยในการจัดการในการตรวจสอบระยะทาง เส้นทางเดินรถ ตรวจสอบการจอดแวะพักของพนักงานขับรถ และอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของรถนั้น ๆ จึงทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของคนขับ ซึ่งมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันไป จากพฤติกรรมดังกล่าวทำให้เกิดต้นทุนที่ไม่จำเป็น [6]

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการปรึกษากับทางบริษัทโดยเสนอแนวคิดแบบจ่ายตามจริง ซึ่งผลจากการเก็บข้อมูลของรถบรรทุกประเภท 10 ล้อ พบว่าแนวคิดแบบเหมาจ่ายรายเที่ยว สามารถช่วยลดต้นทุนได้ถึง 398,903 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็นร้อยละ 21.91 เมื่อเทียบกับแบบจ่ายตามจริง และหากต้องการลดต้นทุนในการขนส่งที่ไม่จำเป็นควรมีการอบรมพนักงานขับรถเพื่อให้มีแนวทางปฏิบัติไปในทิศทางเดียวกัน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wijitkulsawat Ni. Logistics cost management for sme's entrepreneur in thailand. Walai Alongkorn Journal Review (Humanities and Social Sciences). Year 8, Issue 2, May - August 2018
- [2] Environmental standards and oil consumption rates about ECO Sticker. [Internet]. 2019 [cited 2019 Mar 5]; Available from: <http://www.car.go.th>
- [3] Harichanwong Ke. Cost reduction and Optimizing in Transportation Case Studies: Jinda Transports Co., Ltd. Logistics Management Program: University of the Thai Chamber of Commerce. 2008. (In Thai)
- [4] Thongsam Pr. Study the ways to reduce the cost of transportation of fresh potatoes in the logistics system of a snack potato chips company. Chiang Mai University. 2008. (In Thai)
- [5] Charoenying Th. Study and determine transportation cost reduction strategies to create a competitive advantage for the company. PKS Transport Company Limited. Logistics Management University of the Thai Chamber of Commerce. 2008. (In Thai)
- [6] Chomhunthot Th. Energy reduction guideline for transportation case study: chokthitipong transport limited partnership. This independent study is part of the study according to the Master of Science Program. Logistics and Supply Chain Management Program College of Logistics and Supply Chain, Sripatum University. 2017. (In Thai)

การศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม กรณีศึกษา เกษตรกรผู้ปลูกหญ้าเนเปียร์แคว

รัชฎา แต่งภูเขียว^{1*} กฤษณา ดลประเสริฐ² และนริศรา สำราญสม³

Taengphukieo.ra@gmail.com^{1*}, somkrissana2@gmail.com², Narisarasamransom@gmail.com³

¹⁻³ สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และเทคโนโลยีขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Received : 13-Nov-2019
Revised : 30-Mar-2020
Accepted : 02-Jun-2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม กรณีศึกษาเกษตรกรผู้ปลูกหญ้าเนเปียร์แคว บ้านมอดินแดง อำเภอมือเือง จังหวัดกาฬสินธุ์ เก็บรวบรวมข้อมูล โดยการสำรวจ โดยใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์เชิงลึกเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แคว จำนวน 30 ราย และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม ผลการศึกษาพบว่า กิจกรรมหลักในการปฏิบัติงานของเกษตรกรผู้ปลูกหญ้าเนเปียร์แคว ประกอบไปด้วย 5 กิจกรรมหลัก คือ 1. กิจกรรมการเตรียมแปลงปลูก 2. กิจกรรมการปลูก 3. กิจกรรมการดูแลรักษา 4. กิจกรรมการเก็บเกี่ยวและ 5. กิจกรรมการขนส่ง สำหรับต้นทุนฐานกิจกรรมในภาพรวมมีค่าเท่ากับ 2,059,500 บาทต่อปี ซึ่งกิจกรรมหลักที่มีต้นทุนสูงที่สุดคือ กิจกรรมการปลูก มีต้นทุนรวมเท่ากับ 686,700 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 33.34 อันดับที่สองคือกิจกรรมการขนส่ง มีต้นทุนรวมเท่ากับ 576,000 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 27.97 อันดับที่สามคือ กิจกรรมการเก็บเกี่ยว มีต้นทุนรวมเท่ากับ 398,400 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 19.34

คำสำคัญ: ต้นทุนฐานกิจกรรม หญ้าเนเปียร์แคว ต้นทุนโลจิสติกส์

A Study of Logistics Costs Using Activity-Based Cost Analysis Techniques: A Case Study of Dwarf Napier Grass Growers

Ratchada Taengphukieo^{1*}, Krissana Donprasert² and Narisara Samransom³
Taengphukieo.ra@gmail.com^{1*}, somkrissana2@gmail.com², Narisarasamransom@gmail.com³

¹⁻³ Logistics Engineering and Transport Technology Program Faculty of Engineering and Industrial Technology Kalasin University

Received	: 13-Nov-2019
Revised	: 30-Mar-2020
Accepted	: 02-Jun-2020

Abstract

The objective of this research was to study the cost of logistics by applying the activity based cost analysis technique. A case study of dwarf napier grass group of farmers at Ban Din Din Daeng, Muang District, Kalasin Province, data were collected by using questionnaires and in-depth interviews, 30 samples of dwarf Napier grass were interviewed and the data were analyzed by activity based costs. Technique found that the main activities in the operation of the dwarf napier grass growers consist of 5 main activities which are 1. Plantation preparation activity 2. Planting activity 3. Maintenance activity 4. Harvesting and 5. Transportation activity. The overall activity based cost was 2,059,500 baht per year. The main activity with the highest cost are planting activity the total cost is 686,700 baht per year or 33.34 percent, Followed by transportation. With a total cost of 576,000 baht per year, representing 27.97 percent. While, ranking was harvesting activity with a total cost of 398,400 baht per year or 19.34 percent.

Keywords: Activity based cost, Dwarf Napier Grass, Logistics costs

1. บทนำ

หญ้าเนเปียร์ (*Pennisetum purpureum*) มีถิ่นกำเนิดในแถบประเทศของแอฟริกา ปัจจุบันพบปลูกแพร่กระจายทั่วโลกในแถบประเทศอบอุ่น ส่วนประเทศไทยได้นำหญ้าเนเปียร์จากประเทศมาเลเซียเข้ามาปลูกครั้งแรกในปี พ.ศ. 2472 โดย นายอาร์ พี โจนส์ และในช่วงปี พ.ศ. 2504-2507 ประเทศไทยได้นำเมล็ดพันธุ์จากต่างประเทศมาปลูกอย่างต่อเนื่อง อาทิ กรมปศุสัตว์ นำเข้าพันธุ์ลูกผสมจากประเทศอินเดียเข้ามาปลูกมีการปลูกหลายชนิด เช่น หญ้าเนเปียร์แคระ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 2 เป็นต้น ส่วนใหญ่นิยมปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ เพราะหญ้าทุกชนิดเป็นหญ้าประเภทอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โคขุน โคขุน แพะ แกะ และช้าง เป็นต้น โดยส่วนมากเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์จะนิยมปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ เพื่อเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากลำต้นมีขนาดกลาง และมีคุณค่าทางอาหารสูงเหมาะสมสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง รวมถึงสามารถเจริญเติบโตให้ผลผลิตต่อไร่สูงเก็บเกี่ยวได้ตลอดปีทำให้หญ้าเนเปียร์แคระกำลังเป็นที่นิยม เพื่อเป็นธุรกิจของเกษตรกร เพราะเป็นพืชที่มีอายุเก็บเกี่ยวได้นานประมาณ 5-6 ปี และในระยะเวลา 1 ปี สามารถเก็บเกี่ยวได้ประมาณ 9-10 ครั้งต่อปี [1]

หญ้าเนเปียร์แคระ มีชื่อสามัญว่า ดวาร์ฟเนเปียร์ (Dwarf Napier) ในสายพันธุ์หญ้าเนเปียร์ นอกจากหญ้าเนเปียร์แคระแล้ว ยังมีหญ้าเนเปียร์สายพันธุ์ต่าง ๆ ที่นิยมปลูกอีกหลายชนิด เช่น หญ้าเนเปียร์ธรรมดา หญ้าเนเปียร์ลูกผสม และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ทั้งหมดเป็นหญ้าที่ให้ผลผลิตสูงทั้งสิ้น หญ้าเนเปียร์แคระนำเข้ามาจากมหาวิทยาลัยแห่งรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยนายวิฑูรย์ กำเนิดเพชร เมื่อเดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2532



รูปที่ 1 หญ้าเนเปียร์แคระอายุ 30-45 วัน

ลักษณะทั่วไปของหญ้าเนเปียร์แคระเป็นหญ้าที่มีอายุหลายปี มีลำต้นใต้ดินเป็นแบบเหง้า (Rhizome) มีลักษณะทรงต้นเป็นกอพุ่มตั้ง ลำต้นอวบและเตี้ยกว่าหญ้าเนเปียร์ธรรมดา มีความสูงประมาณ 1-2 เมตร มีการแตกกอดี ดังรูปที่ 1 มีสัดส่วนของใบมากกว่าส่วนของลำต้น สามารถทนแล้งได้ดีพอสมควร เนื่องจากมีระบบรากที่แข็งแรง และหยั่งลึกลงในดินและยังมีความสามารถดูดธาตุอาหารได้มากทำให้ได้ผลผลิตสูง หญ้าเนเปียร์แคระเจริญเติบโตได้ในดินหลายชนิด เช่น ดินร่วน ดินร่วนปนทรายถึงดินเหนียว ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์จะเจริญเติบโตได้เร็ว เหมาะสำหรับปลูกในเขตชลประทานหรือพื้นที่ที่มีระบบการให้น้ำดี เมื่อโตเต็มที่ จะออกช่อดอกที่มีลักษณะยาวเรียว เรียกช่อดอกแบบนี้ว่า ช่อดอกแบบ “spike” ช่อดอกมีสีเหลืองอ่อนยาวประมาณ 10 นิ้ว ตรงส่วนปลายของช่อดอกจะโค้งงอเล็กน้อย [2]

จากการศึกษาและลงพื้นที่สำรวจข้อมูลการเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์แคระของเกษตรกรบ้านมอดินแดง อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่าเกษตรกรในตำบลโพธิ์ทอง อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ ได้รวมกลุ่มกันเป็น “กลุ่มผู้ปลูกหญ้าบ้านมอดินแดง” ตั้งในปี 2555 มีสมาชิก 83 คน พื้นที่เพาะปลูกหญ้ารวมกันกว่า 800 ไร่ และมีแผนขยายพื้นที่ปลูกมากขึ้นเนื่องจากตลาดมีความต้องการสูง โดยเฉพาะผู้ประกอบการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โคขุน โคขุน แพะ แกะ เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบปัญหาที่เกิดขึ้นคือเกษตรกรไม่มีการจดบันทึกหรือทำรายการเกี่ยวกับต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานด้านต่างๆ ทำให้ไม่สามารถจำแนกต้นทุนที่เกิดขึ้นจริงในการเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์แคระได้ ส่งผลต่อการบริหารจัดการที่ไม่เป็นระบบ และไม่สามารถตรวจสอบต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรมจากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหญ้าเนเปียร์แคระ บ้านมอดินแดง อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ต้นทุนฐานกิจกรรม (activity-based costing: ABC) คือวิธีการหนึ่งของการจัดสรรต้นทุนทรัพยากรขององค์กร โดยอาศัยกิจกรรมการผลิตสินค้าหรือบริการที่สร้างขึ้นสำหรับลูกค้า วิธีการ ABC เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้สามารถเข้าใจถึงต้นทุนของสินค้าและลูกค้า และผลประโยชน์ที่ได้รับ ทำให้ ABC ถูกใช้เพื่อรองรับ

การตัดสินใจทางกลยุทธ์ดังเช่น การกำหนดราคา การจัดจ้างคนภายนอก และการระบุและการวัดกระบวนการดำเนินการ เป็นต้น

รูธีร์ พนมยงค์ และคณะ กล่าวว่า ข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือต้นทุนฐานกิจกรรม (อังกฤษ: activity-based costing: ABC) สามารถแยกข้อดี-ข้อเสียของเครื่องมือ ได้ดังนี้ [3]

1. ข้อดี สามารถแบ่งได้ดังนี้

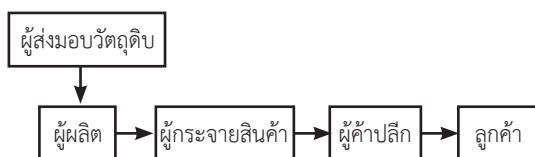
- 1) ช่วยให้การคำนวณต้นทุนผลิตภัณฑ์/บริการมีความถูกต้อง
- 2) ช่วยการพัฒนากิจกรรมอย่างต่อเนื่อง
- 3) ช่วยในการวัดผลปฏิบัติงานของกิจการ
- 4) ช่วยในการลดต้นทุนและค่าใช้จ่าย
- 5) ช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจ

2. ข้อเสีย สามารถแบ่งได้ดังนี้

- 1) มีค่าใช้จ่ายมากเนื่องจากต้องจัดทำแผนภูมิแสดงขบวนการผลิตแบ่งแยกเป็นกิจกรรมต่างๆ
- 2) ต้องหาเอกสารหรือจดรายงานความสัมพันธ์ของตัวหลักต้นทุนกับกิจกรรมทุกกิจกรรม ส่งผลให้เสียค่าใช้จ่ายและเสียเวลา

การจัดการห่วงโซ่อุปทาน

ปวีณา เชาวลิทวงศ์ กล่าวว่า การจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Supply.Chain.Management ;SCM) คือ การออกแบบการวางแผนปฏิบัติการควบคุมติดตามกิจกรรมในห่วงโซ่อุปทาน มีวัตถุประสงค์ในการสร้างคุณค่าในการแข่งขัน และยกระดับงานสากลและการปรับปรุงอุปทาน.(Supply).ให้สอดคล้องกับอุปสงค์.(Demand).และการวัดการปฏิบัติงาน [4] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน

สมพงษ์ ปัญญาที่ยั่งยืน ศึกษาวิเคราะห์ระบบต้นทุนฐานกิจกรรมของผู้ให้บริการรับจ้างขนส่ง โดยศึกษากิจกรรมที่เกิดขึ้นและวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรมครอบคลุมกิจกรรมตั้งแต่รับสินค้าจากลูกค้าที่ศูนย์กระจายสินค้าตัวอย่างจนถึงการดำเนินการขนส่งไปตามศูนย์กระจายสินค้าตามภูมิภาคทั้ง 6 โดยใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม จากการวิเคราะห์กิจกรรมของงานวิจัยทำให้ทราบว่า กิจกรรมที่เกิดขึ้นมีทั้งหมด 26 กิจกรรมย่อย โดยกิจกรรมที่มีต้นทุนสูงที่สุดคือ กิจกรรมการขนส่งสินค้ามีต้นทุนค่าใช้จ่ายสูงสุดคิดเป็น 86 เปอร์เซ็นต์ [5]

กานติมา อิ่มศรี, และจงกลดินทร์ แสงอาสภวิริยะ การศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมกุ้งแปรรูป ด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรมมีวัตถุประสงค์หลักคือ 1) ศึกษากิจกรรมการปฏิบัติงานของผู้ประกอบการแพกุ้ง และ 2) ศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์ด้วยระบบต้นทุนฐาน กิจกรรมของผู้ประกอบการแพกุ้ง พื้นที่ศึกษา คือ ตลาดทะเลไทย สหกรณ์พัฒนาการประมงมหาชัย จังหวัดสมุทรสาคร ประชากรที่ศึกษา คือ ผู้ประกอบการแพกุ้งที่เป็นสมาชิกชมรมผู้ค้ากุ้งสมุทรสาครในตลาดทะเลไทย วิธีการศึกษาใช้การวิจัยเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ เพื่อเข้าสัมภาษณ์ผู้ประกอบการแพกุ้งที่ให้ความร่วมมือ ซึ่งมีจำนวน 25รายหรือคิดเป็นร้อยละ 55 ของประชากรที่ศึกษาผลการศึกษพบว่ากิจกรรมในการปฏิบัติงานของผู้ประกอบการ กุ้งประกอบไปด้วย 3 กิจกรรมหลักคือ 1) กิจกรรมการจัดการวัตถุดิบ 2) กิจกรรมการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบ และ 3) กิจกรรมการบรรจุภัณฑ์และหีบห่อ สำหรับต้นทุนโลจิสติกส์ตามฐานกิจกรรมในภาพรวมมีค่าเท่ากับ 309,118 บาท ต่อเดือน โดยต้นทุนที่สูงที่สุดอยู่ในกิจกรรมการบรรจุภัณฑ์และหีบห่อ มีต้นทุนทั้งสิ้น 132,392.45 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 42.83 รองลงมาคือ กิจกรรมการจัดการวัตถุดิบ มีต้นทุนทั้งสิ้น 114,895.30 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 37.17 และสุดท้ายคือกิจกรรมการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบ มีต้นทุนทั้งสิ้น 61,830.24 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 20 ตามลำดับ [6]

เอกชัย คุปตาวาทิน, และคณะได้ศึกษาด้านทุนโลจิสติกส์และการบริหารต้นทุนโลจิสติกส์ของเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดในจังหวัดชัยภูมิ โดยประยุกต์วิธีวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม เพื่อให้ทราบโครงสร้างต้นทุน ซึ่งจะนำไปสู่แนวทางการพัฒนาหรือลดต้นทุนโลจิสติกส์ จากการวิเคราะห์กิจกรรมโลจิสติกส์ที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการแบ่งส่วนต้นทุนตามกิจกรรม ผลจากการศึกษาพบว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวมของเกษตรกรคิดเป็นร้อยละ 16.49 ของมูลค่าขายทั้งหมด โดยแบ่งต้นทุนโลจิสติกส์รวมออกเป็น 4 ส่วนคือ ต้นทุนด้านการจัดหาปัจจัยการผลิต คิดเป็นร้อยละ 14.66 ถือได้ว่าเป็นต้นทุนที่สูงที่สุด ต้นทุนการเคลื่อนย้ายผลผลิตในพื้นที่ คิดเป็นร้อยละ 1.33 ต้นทุนการขนส่ง คิดเป็นร้อยละ 0.34 และต้นทุนการดูแลคลังสินค้าและสินค้าคงคลัง คิดเป็นร้อยละ 0.16 ตามล ลำดับ แนวทางการลดต้นทุนโลจิสติกส์ สามารถทำได้โดยการรวมกลุ่มสมาชิกเครือข่ายผู้ผลิตสับปะรดเพื่อวางแผนการผลิตภายใต้การสนับสนุนของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนจัดตั้งศูนย์กลางกระจายผลผลิต [7]

พิพิตินันท์ สมไชยวงศ์ ราเชนทร์ ชูศรี สุจิตดา หงษ์ทองทำการวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ของเกษตรกรพื้นที่สูง โดยใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม กรณีศึกษาเกษตรกรพื้นที่สูงผาตั้ง จังหวัดเชียงราย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการเพาะปลูกพืชผักของเกษตรกรและวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ในแต่ละกิจกรรมของกระบวนการเพาะปลูก ทำการสัมภาษณ์ข้อมูลเชิงลึกต้นทุนและผลตอบแทนของเกษตรกร ผลการศึกษาพบว่าสามารถแบ่งกิจกรรมเป็น 6 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 การเพาะเมล็ดพันธุ์ ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมแปลงเพาะปลูก ขั้นตอนที่ 3 การปลูกต้นกล้าขั้นตอนที่ 4 การใส่ปุ๋ยและฉีดพ่นฮอร์โมน ขั้นตอนที่ 5 การเก็บเกี่ยวและขั้นตอนที่ 6 การขนส่ง และในหาต้นทุนการเพาะปลูกพบว่า การเพาะปลูกผักเบบี๋คอสมอสในโรงเรือนมีต้นทุนเฉลี่ยต่อโรงเรือน 3,340.16 บาท และมีกำไรเฉลี่ยต่อโรงเรือน 5,007.43 บาท สำหรับการเพาะปลูกผักบัตเตอร์เฮด พบว่ามีต้นทุนเฉลี่ยต่อโรงเรือน 3,475.88 บาท และมีกำไรเฉลี่ยต่อโรงเรือนประมาณ 5,941.95 บาท [8]

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ทำการเก็บและรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์เชิงลึก โดยรวบรวมข้อมูลในช่วงปี พ.ศ.2561-2562 เพื่อศึกษาห่วงโซ่อุปทานและต้นทุนโลจิสติกส์ในการเพาะปลูกทุเรียนเปียร์แคระของกลุ่มเกษตรกร บ้านมอดินแดง อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม ซึ่งมีวิธีการดำเนินงานดังนี้

1. ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data)

1.1 เก็บข้อมูลเบื้องต้นของกลุ่มเกษตรกรโดยการลงพื้นที่จริง สอบถามและสังเกต เพื่อให้ทราบขั้นตอนการเพาะปลูกเบื้องต้น

1.2 เก็บข้อมูลเชิงลึก โดยการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนเปียร์แคระจำนวน 30 ราย

2. ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเพาะปลูกทุเรียนเปียร์แคระ และข้อมูลโครงสร้างห่วงโซ่อุปทานตลอดจนการวิเคราะห์ต้นทุนและข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

แบบสอบถามในการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนเปียร์แคระบ้านมอดินแดง อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ มีการเก็บข้อมูลดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ประกอบด้วย เพศ อายุ จำนวนพื้นที่ปลูก พื้นที่เช่าหรือของตนเอง

ส่วนที่ 2 ต้นทุนการเพาะปลูกทุเรียนเปียร์แคระ บ้านมอดินแดง อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ ประกอบด้วย ต้นทุนการเตรียมแปลงปลูก การปลูก การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว และการขนส่ง

ประชากรกลุ่มตัวอย่าง

เกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนเปียร์ใน"กลุ่มผู้ปลูกทุเรียนบ้านมอดินแดง" ในปี พ.ศ. 2561-2562 มีทั้งหมด 66 ราย ผู้ศึกษาใช้วิธีการเลือกแบบจำเพาะเจาะจง (Purposive Sampling) เฉพาะเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนเปียร์แคระ ซึ่งมีทั้งหมด 30 ราย

3. วิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนโลจิสติกส์ โดยประยุกต์ใช้การคำนวณต้นทุนฐานกิจกรรม มีขั้นตอนดังนี้ [9]

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดกิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อย

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาต้นทุนทั้งหมดจำแนกตามทรัพยากรที่ใช้และกำหนดเกณฑ์การกระจายต้นทุน

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์การกระจายต้นทุนตามกิจกรรม

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณต้นทุนรวมทั้งหมดของแต่ละกิจกรรม

4. ผลการวิจัย

4.1 โครงสร้างห่วงโซ่อุปทานการเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์แควของเกษตรกรบ้านมอดินแดง อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ ดังรูปที่ 3

จากรูปที่ 3 โครงสร้างห่วงโซ่อุปทานการเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์แควของเกษตรกรบ้านมอดินแดง อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกหญ้าเนเปียร์แควแล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นระบบภาพห่วงโซ่อุปทานโดยเริ่มจากกิจกรรมส่วนของต้นน้ำมีการจัดหาท่อนพันธุ์หญ้าเนเปียร์จากพ่อค้าหลายราย จากนั้นในส่วนของการกลั่นน้ำหรือกระบวนการผลิตจะมีการนำท่อนพันธุ์มาปลูกในพื้นที่ที่เตรียมไว้ซึ่งจะมีวิธีการปลูกแบบปักชำและใช้น้ำจากบ่อบำบัดน้ำเสียจากบริษัทผลิตแบริ่งแห่งหนึ่งในจังหวัดกาฬสินธุ์ เพื่อนำมารดท่อนพันธุ์ที่ปลูกไว้ซึ่งในน้ำจะมีปุ๋ยที่หญ้าต้องการเพื่อช่วยให้หญ้าเจริญเติบโตได้ดี สำหรับส่วนของปลายน้ำจะนำหญ้าเนเปียร์แควที่พร้อมจำหน่ายกระจายออกสู่ตลาดโดยมีการขนส่งให้กับลูกค้าประมาณ 40% และขายหน้าร้านอีก 60%

4.2 วิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม

4.2.1 วิเคราะห์กิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยจากการเก็บข้อมูลพบว่า กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการปลูกหญ้าเนเปียร์แควของเกษตรกรบ้านมอดินแดง อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ มีกิจกรรมหลัก 5 กิจกรรม คือ กิจกรรมการเตรียมแปลงปลูก กิจกรรมการปลูก กิจกรรมการดูแลรักษา กิจกรรมเก็บเกี่ยวและ กิจกรรมการขนส่ง โดยทั้ง 5 กิจกรรมหลักจะประกอบไปด้วยกิจกรรมย่อยทั้งสิ้น 7 กิจกรรมรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยของผู้ปลูกหญ้าเนเปียร์แคว

กิจกรรมหลัก	กิจกรรมย่อย
A การเตรียมแปลงปลูก	A01 ไถกำจัดวัชพืชและไถพรวนดิน A02 ไถยกร่อง
B การปลูก	B01 ปักชำ
C การดูแลรักษา	C01 รดน้ำ
D การเก็บเกี่ยว	D01 เก็บเกี่ยวผลผลิตโดยการตัดและมัดด้วยฟาง
E การขนส่ง	E01 ขนย้ายหญ้าเนเปียร์แควจากไร่นาหน้าร้านด้วยรถกระบะ E02 ขนย้ายหญ้าเนเปียร์แควขึ้นรถกระบะส่งลูกค้า

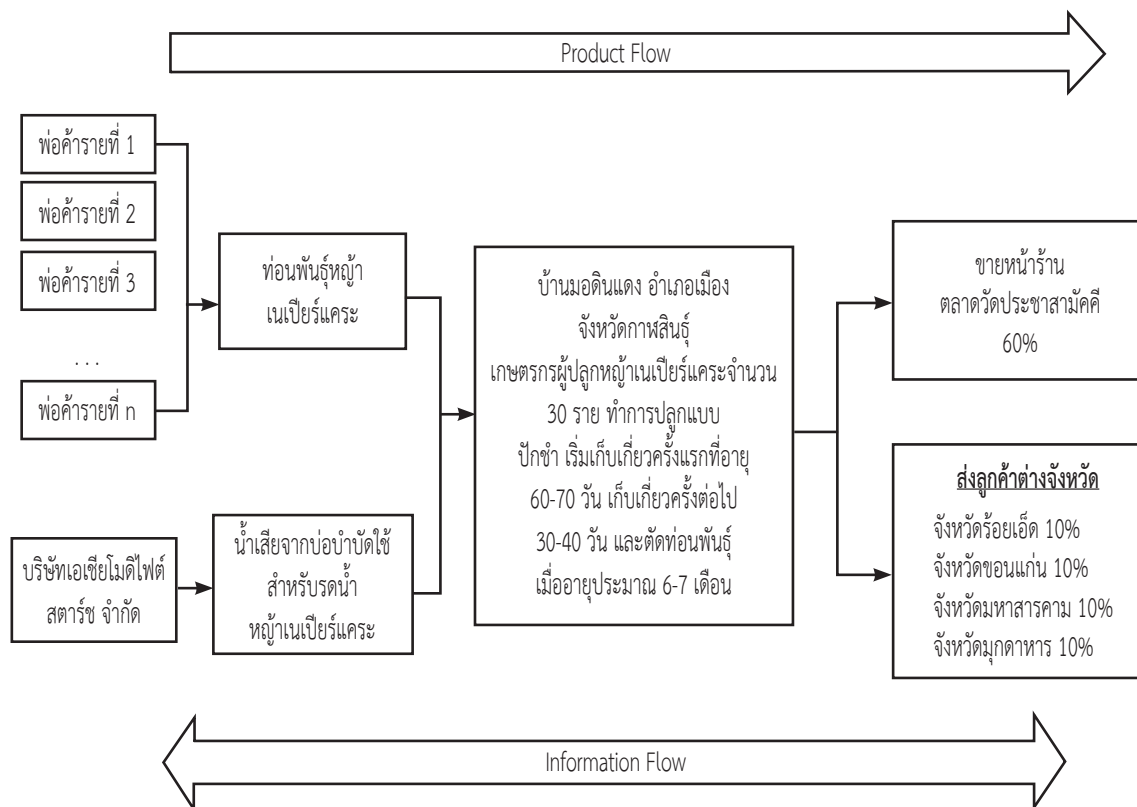
4.2.2 จำแนกต้นทุนทั้งหมดตามทรัพยากรที่ใช้และกำหนดเกณฑ์การกระจายต้นทุน

จากการลงพื้นที่สอบถามและสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกหญ้าเนเปียร์แควบ้านมอดินแดงอำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ สามารถจำแนกการใช้ทรัพยากรโดยประมาณปีการเพาะปลูก 2561-2562 ออกเป็น 5 ประเภท คือ ด้านบุคคล ด้านพื้นที่ ด้านเครื่องจักร-อุปกรณ์ วัสดุใช้งานสิ้นเปลือง และค่าใช้จ่ายอื่นๆ สำหรับเกณฑ์การกระจายต้นทุนจะนำเวลาในการปฏิบัติงาน พื้นที่ในการปฏิบัติงานและเปอร์เซ็นต์การทำงานมาเป็นเกณฑ์ในการกระจายต้นทุนรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในส่วนของผู้ที่เพาะปลูกไม่มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น เนื่องจากพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดเป็นของเกษตรกรเอง ไม่ได้มีการเช่าพื้นที่จึงไม่เกิดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ สำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายในส่วนต่าง ๆ มีรายละเอียด ดังนี้

- 1) ค่าจ้างปลูกหญ้าเนเปียร์
 $= 300 \text{ บาท/วัน/คน} \times 5.37 \text{ คน/วัน} \times 30 \text{ ราย}$
- 2) ค่าจ้างตัด/เก็บเกี่ยว
 $= 300 \text{ บาท/วัน/คน} \times 12 \text{ วัน/ปี} \times 3.4 \text{ คน/วัน/ไร่} \times 30 \text{ ราย}$

- 3) จ้างไถกำจัดวัชพืชและไถพรวนดิน
= 300 บาท/ครั้ง/ไร่ x 2 ครั้ง/ไร่/ปี
x 266 ไร่
- 4) จ้างไถยกร่อง
= 300 บาท/ครั้ง/ไร่ x 1 ครั้ง/ไร่/ปี
x 266 ไร่
- 5) ค่าเชื้อเพลิงรถ = 12,000 บาท/ปี/คัน
x 30 คัน
- 6) ค่าเชื้อเพลิงเครื่องสูบน้ำ
= 4,800 บาท/ปี/เครื่อง x 30 เครื่อง
- 7) ค่าซ่อมบำรุง = 7,200 บาท/คัน x 30 คัน
- 8) ค่ามัดตัดหญ้า
= 220 บาท/ด้าม x 2 ด้าม/ปี/ราย x
30 ราย
- 9) เชือกฟางมัดหญ้า
= 50 บาท/ม้วน x 12 ม้วน/ปี/ราย
x 30 ราย
- 10) ท่อนพันธุ์หญ้าเนเปียร์
= 100 บาท/ถุง x 24 ถุง/ไร่/ปี x 266 ไร่
- 11) ค่าโทรศัพท์
= 500 บาท/ราย x 30 ราย



รูปที่ 3 ห่วงโซ่อุปทานการเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์แคะของเกษตรกรบ้านมอดินแดง อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์

ตารางที่ 2 ต้นทุนการใช้ทรัพยากรและเกณฑ์การกระจายต้นทุน

ประเภททรัพยากร			ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย ต่อหน่วย (บาท)	จำนวนหรือ ปริมาณที่ใช้ เฉลี่ย	ค่าใช้จ่าย ต่อปี (บาท)	เกณฑ์การกระจาย ต้นทุน
ด้านบุคคล	ค่าแรงงาน รายวัน	จ้างปลูกหญ้าเนเปียร์แคะ	300	161 คน	48,300	เวลาการปฏิบัติงาน
		จ้างตัด/เก็บเกี่ยว	300	1,224 คน	367,200	เวลาการปฏิบัติงาน
	ค่าแรงงาน แบบเหมา	ไถกำจัดวัชพืชและไถพรวนดิน	300	532 ไร่	159,600	พื้นที่การปฏิบัติงาน
		ไถยกร่อง	300	266 ไร่	79,800	พื้นที่การปฏิบัติงาน
ด้านพื้นที่	พื้นที่ของตนเอง		-	-	-	พื้นที่การปฏิบัติงาน
เครื่องจักร อุปกรณ์	ค่าเชื้อเพลิงรถ		12,000	30 คัน	360,000	เวลาการปฏิบัติงาน
	ค่าเชื้อเพลิงเครื่องสูบน้ำ		4,800	30 เครื่อง	144,000	เวลาการปฏิบัติงาน
	ค่าซ่อมบำรุง		7,200	30 คัน	216,000	เวลาการปฏิบัติงาน
วัสดุใช้งาน สิ้นเปลือง	มิดดัดหญ้า		220	60 ต้าม	13,200	พื้นที่การปฏิบัติงาน
	เชือกฟางมัดหญ้า		50	360 ม้วน	18,000	พื้นที่การปฏิบัติงาน
	ท่อนพันธุ์หญ้าเนเปียร์		100	6,384 ถุง	638,400	พื้นที่การปฏิบัติงาน
อื่นๆ	ค่าโทรศัพท์		500	30 ราย	15,000	% การทำงาน

ตารางที่ 3 การกระจายต้นทุนตามกิจกรรม

ค่าใช้จ่าย		กิจกรรมย่อย							รวม (บาท)
		ไถกำจัด วัชพืชและ ไถพรวน ดิน	ไถ ยกร่อง	ปักชำ	รดน้ำ	เก็บเกี่ยว โดยการ ตัดและมัด ด้วยฟาง	ขนย้ายหญ้า เนเปียร์แคะ มาหน้าร้าน ด้วยรถกระบะ	ขนย้ายหญ้า เนเปียร์แคะ ขึ้นรถกระบะ ของลูกค้า	
ด้านบุคลากร	ค่าแรงงานรายวัน	-	-	48,300	-	367,200		-	415,500
	ค่าแรงงานแบบเหมา	159,600	79,800	-	-	-		-	239,400
ด้านพื้นที่	พื้นที่ของตนเอง	-	-	-	-	-		-	-
เครื่องจักร อุปกรณ์	ค่าเชื้อเพลิงรถ	-	-	-	-	-	360,000	-	360,000
	ค่าเชื้อเพลิง เครื่องสูบน้ำ	-	-	-	144,000	-	-	-	144,000
	ค่าซ่อมบำรุง	-	-	-	-	-	216,000	-	216,000
วัสดุใช้งาน สิ้นเปลือง	มิดดัดหญ้า	-	-	-	-	13,200		-	13,200
	เชือกฟางมัดหญ้า	-	-	-	-	18,000		-	18,000
	ท่อนพันธุ์หญ้า เนเปียร์แคะ	-	-	638,400	-	-		-	638,400
อื่นๆ	ค่าโทรศัพท์	-	-	-	-	-		15,000	15,000
ค่าใช้จ่ายตามกิจกรรมย่อย		159,600	79,800	686,700	144,000	398,400	576,000	15,000	2,059,500
ค่าใช้จ่ายตามกิจกรรมย่อย (%)		7.75	3.87	33.34	6.99	19.34	27.97	0.73	100

4.2.3 การวิเคราะห์การกระจายต้นทุนตามกิจกรรม

การวิเคราะห์การกระจายต้นทุนตามกิจกรรมย่อย ซึ่งมีกิจกรรมย่อยทั้งหมด 7 กิจกรรม คือ ไถ่กำจัดวัชพืช ไถพรวนดิน ไถยกร่อง ปักชำ รดน้ำ เก็บเกี่ยวโดยการตัดและมัดด้วยฟาง ขนย้ายหญ้าเนเปียร์แคะจากไร่มาหน้าร้านด้วยรถกระบะ และขนย้ายหญ้าเนเปียร์แคะขึ้นรถกระบะของลูกค้า โดยมีค่าใช้จ่ายด้านทรัพยากรทั้งหมด 5 ประเภท รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 พบว่าค่าใช้จ่ายตามกิจกรรมย่อยรวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 2,059,500 บาท กิจกรรมย่อยที่มีค่าใช้จ่ายมากที่สุดคือ การปักชำ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 686,700 บาท คิดเป็นร้อยละ 33.34 ของต้นทุนรวม รองลงมาเป็นการขนย้ายหญ้าเนเปียร์แคะมาหน้าร้านด้วยรถกระบะมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 576,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 27.97 การเก็บเกี่ยวโดยการตัดและมัดด้วยฟาง มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 398,400 บาท คิดเป็นร้อยละ 19.34 ไถ่กำจัดวัชพืชและไถพรวนดินมี

ค่าใช้จ่ายเท่ากับ 159,600 บาท คิดเป็นร้อยละ 7.75 การรดน้ำ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 144,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 6.99 การไถยกร่องมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 79,800 บาท คิดเป็นร้อยละ 3.87 และการขนย้ายหญ้าเนเปียร์แคะขึ้นรถกระบะของลูกค้ามีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 0.73 ตามลำดับ

4.2.4 ต้นทุนรวมทั้งหมดของแต่ละกิจกรรม

ต้นทุนรวมของเกษตรกรผู้ปลูกหญ้าเนเปียร์แคะ บ้านมอดินแดง อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ทั้งหมด 30 ราย เท่ากับ 2,023,500 บาทต่อปี ต้นทุนรวมของกิจกรรมหลักทั้ง 5 กิจกรรม พบว่ากิจกรรมหลักที่มีต้นทุนสูงที่สุดคือ กิจกรรมการปลูก มีต้นทุนรวมเท่ากับ 686,700 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 33.34 อันดับที่สองคือกิจกรรมการขนส่ง มีต้นทุนรวมเท่ากับ 576,000 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 27.97 อันดับที่สามคือ กิจกรรมการเก็บเกี่ยว มีต้นทุนรวมเท่ากับ 398,400 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 19.34 แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ต้นทุนรวมทั้งหมดของแต่ละกิจกรรม

ต้นทุนการใช้ทรัพยากร	กิจกรรมหลัก						คิดเป็น (%)
	การเตรียมแปลงปลูก	การปลูก	การดูแลรักษา	เก็บเกี่ยว	การขนส่ง	รวม	
บุคลากร	239,400	48,300	-	367,200	-	654,900	31.80
พื้นที่	-	-	-	-	-	-	-
เครื่องจักรฯ	-	-	144,000	-	576,000	720,000	34.96
วัสดุใช้งาน	-	638,400	-	31,200	-	669,600	32.51
อื่นๆ	-	-	-	-	15,000	15,000	0.73
ต้นทุนรวม (บาท/ปี)	239,400	686,700	144,000	398,400	591,000	2,059,500	100

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม กรณีศึกษากลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหญ้าเนเปียร์แคะ บ้านมอดินแดง อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่า

5.1 ห่วงโซ่อุปทานของเกษตรกรผู้ปลูกหญ้าเนเปียร์แคะ บ้านมอดินแดง อำเภอเมือง จังหวัด

กาฬสินธุ์ มีลักษณะโซ่อุปทานของการเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์แคะ ประกอบไปด้วย ผู้จัดการหาวัตถุดิบ ผู้ผลิต และลูกค้า

5.2 ต้นทุนโลจิสติกส์ ตามต้นทุนฐานกิจกรรม (activity-based costing : ABC) มีต้นทุนการดำเนินงานต่อปี

ในกิจกรรมหลักทั้ง 5 กิจกรรมเรียงตามลำดับ ได้ดังนี้ กิจกรรมการเตรียมแปลงปลูก มีต้นทุน 239,400 บาทต่อปี กิจกรรมการปลูก มีต้นทุน 686,700 บาทต่อปี การดูแลรักษา มีต้นทุน 144,000 บาทต่อปี กิจกรรมการเก็บเกี่ยว มีต้นทุน 398,400 บาทต่อปี กิจกรรมการขนส่ง มีต้นทุน 591,000 บาทต่อปี ซึ่งต้นทุนรวมเท่ากับ 2,059,500 บาทต่อปี ซึ่งในแต่ละกิจกรรมมีการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 34.96 ของต้นทุนรวม รองลงมาคือ ด้านวัสดุใช้งานสิ้นเปลือง คิดเป็นร้อยละ 32.51 ของต้นทุนรวม ด้านบุคลากร คิดเป็นร้อยละ 31.80 ของต้นทุนรวม และด้านอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 0.73 ของต้นทุนรวม ตามลำดับ

6. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

6.1 เกษตรกรทั้ง 30 ราย มีต้นทุนรวมเท่ากับ 2,059,500 บาทต่อปี ได้ผลผลิตประมาณ 2,400 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมดจำนวน 266 ไร่ และราคาขายหนุ่ยเนเปียร์อยู่ที่กิโลกรัมละ 20 บาท หากพิจารณากำไรทั้งหมดพบว่า ได้กำไรเท่ากับ 12,768,800 บาทต่อปี คิดเป็นกำไรสุทธิเท่ากับ 10,709,300 บาทต่อปี ซึ่งเหมาะแก่การลงทุน

6.2 การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษากิจกรรมที่เพิ่มมูลค่า/ไม่เพิ่มมูลค่าเพื่อปรับหรือลดกิจกรรมนั้นๆ

6.3 เกษตรกรควรมีการปฏิบัติตามแนวทางการลดต้นทุนอย่างต่อเนื่อง โดยจะต้องมีการคำนวณต้นทุนมาตรวจสอบและปรับเปลี่ยนอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายนอก

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sitthichanda S. Ya Napier and renewable Energy Production. Environmental Journal. 2017; 21:19-24 (In Thai)
- [2] Pimthanaprateep S. General information About dwarf Napier grass. [Internet]. 2005 [cited 2019 Mar 7]; Available from: <http://natres.psu.ac.th/radio/radioarticle/radio47-48/47-480042>.
- [3] Phanomyong R. activity-based costing. [Internet]. 2005 [cited 2019 Mar 15]; Available from: <http://techno56.wordpress.com/2005/08/14>
- [4] Chaowalitwong P. The analysis of agriculturist about risk perception in supply chain of rubber industry A case study : rubber industry at A.DoI Luang, Chaingrai Province [master's thesis]. Bangkok: Bangkok University; 2017. (In Thai)
- [5] Panyingyong Sp. Activity Cost Base System Analysis: Case Study of Transport Service Providers. [master's thesis]. Bangkok: Srinakharinwirot University; 2010. (In Thai)
- [6] Imsri KT, Saengadsapaviriya Jk. Logistics costs of the shrimp processing industry with the activity cost base system [master's thesis]. Chiang Mai: Mae Jo University; 2012 (In Thai)
- [7] Kuppawatin Ek, Phromsapat Pl, ChomMali Ws. The Study of Logistics Costs By using the activity costing system based on a case study of pineapple growers in Chaiyaphum province. Panyapiwat Journal 2016; 8(3): 89-98. (In Thai)
- [8] Somchaiwong Pt, Chusri RC, Hongthong Sj. Logistics Cost Analysis of Highland Farmers By using the activity-based costing system. Journal of Marketing and Management. 2017; 4(1):159-72. (In Thai)
- [9] Onsanit Sa. Analysis of Logistics Cost Reduction by Activity Base Costing System (ABC) Case study: Johnson Controls and Summit Integrated Company Limited. [master's thesis]. Chonburi: Sripatum University Chonburi Campus; 2011. (In Thai)

การศึกษาสมบัติเชิงกลในกระบวนการชุบแข็งของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ด้วยแรงเสียดทานสำหรับอุตสาหกรรมการเชื่อมเพลลา

ประจักษ์ อ่างบุญตา¹ ศิริชัย ต่อสกุล^{2*} และไพศาล ทองสงค์³

Prajak.a@en.rmutt.ac.th¹, sirichai.to@en.rmutt.ac.th^{2*}, paisan.t@en.rmutt.ac.th³

^{1,2*,3} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received	: 27-Jun-2020
Revised	: 17-Jul-2020
Accepted	: 29-Sep-2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ด้วยแรงเสียดทาน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความยาว 100 มิลลิเมตร ภายใต้ปัจจัยการเชื่อมคือ แรงดันในการอัด 20, 25 และ 30 บาร์ เวลาในการอัด 5, 7 และ 9 วินาที ที่อุณหภูมิปกติและที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบ Hardening + Quenching, Hardening + Tempering และ Hardening + Full Annealing ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เมื่อเชื่อมเสร็จได้นำชิ้นงานเชื่อมไปทดสอบความแข็ง ความแข็งแรงดึง และถ่ายรูปเปรียบเทียบขนาดรอยเชื่อม การเชื่อมชิ้นงานด้วยแรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานอุณหภูมิปกติและชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบพบว่าชุบ Hardening + Tempering 30 บาร์ 9 วินาที หลังจากการเชื่อมชิ้นงานมีค่าแรงดึงสูงสุด และค่าความแข็งของรอยเชื่อมชิ้นงาน Hardening + Quenching 30 บาร์ 7 วินาที จะมีค่าความแข็งมากที่สุดทั้งแถบบนและแถวกึ่งกลางที่จุด 0 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบผลกับค่าความดันเวลา อุณหภูมิแตกต่างกัน และในส่วนของขนาดรอยเชื่อมพบว่าที่ความดันมาก เวลามามากจะได้ขนาดรอยเชื่อมที่ใหญ่ที่สุด

คำสำคัญ: การเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน การชุบแข็ง เหล็กกล้าไร้สนิม

A Study of the Mechanical Properties of the Hardening Processes on the AISI 420 Stainless Steel by Friction Welding for Shaft Welding Industries

Prajak Angboonta¹, Sirichai Torsakul^{2*} and Paisan Thongsong³

Prajak.a@en.rmutt.ac.th¹, sirichai.to@en.rmutt.ac.th^{2*}, paisan.t@en.rmutt.ac.th³

^{1,2*,3} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received	: 27-Jun-2020
Revised	: 17-Jul-2020
Accepted	: 29-Sep-2020

Abstract

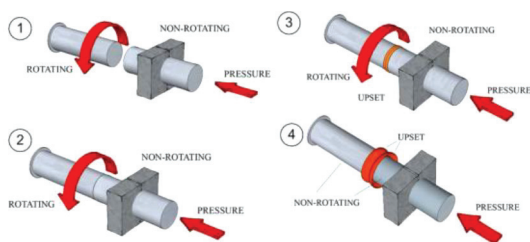
The purpose of this research is to identify a key process parameter in a friction welding of stainless steel AISI 420 with a diameter of 10 mm and a length of 100 mm. The process parameters, including a compression pressure, compression dwell time, and rotational speed, were ranged between 20 and 30 bars (20, 25, 30 bars), between 5 and 9 seconds (5, 7, 9 seconds), and 2500 rev/min, respectively. The specimens can be classified into four categories as a commercial condition, hardened and quenched, hardened and tempered, and hardened and full annealed. Hardness and tensile strength of each combination were investigated and it can be concluded that the highest tensile strength was detected in a hardened and tempered specimen with the compression pressure of 30 bars and compression dwell time of 9 seconds, while the highest hardness was found in a hardened and quenched specimen with the compression pressure of 30 bars and compression dwell time of 7 seconds.

Keywords: friction welding, hardened, stainless steel.

1. บทนำ

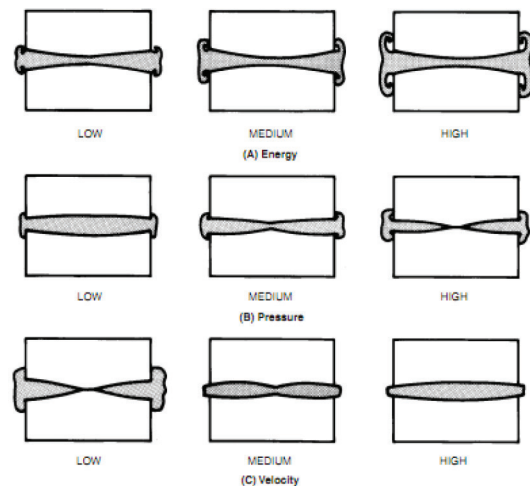
ปัจจุบันอุตสาหกรรมในประเทศไทยได้พัฒนาและเติบโตอย่างรวดเร็ว จึงมีการแข่งขันทางด้านอุตสาหกรรมสูง โดยมีการนำเอาความรู้ทางเทคนิคและเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการงานอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ ผลิตภัณฑ์ด้านกีฬา อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ฯลฯ ทำให้มีการประยุกต์และพัฒนาวิธีการผลิตให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการเชื่อมก็เป็นส่วนหนึ่งของวิธีการผลิตในอุตสาหกรรมที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย วิธีการเชื่อมที่ใช้กันมากคือการเชื่อมไฟฟ้า และการเชื่อมมิก/แม็ก แต่การเชื่อมก็ไม่ได้มีเพียงสองอย่างเท่านั้น ยังมีการเชื่อมแบบอื่นๆ อีกมากมายโดยในลักษณะทั่วไป การเชื่อมชิ้นงานต่างๆ จะต้องมีส่วนประสาน หรือลวดเชื่อม ในการเชื่อมให้เหมาะกับประเภทของวัสดุที่นำมาเชื่อมด้วย นอกจากนี้ ยังต้องอาศัยผู้ที่มีความชำนาญ ในการเชื่อมให้ได้แนวเชื่อมที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและเสียเวลาในการผลิต ชิ้นงานที่มีปริมาณมากๆ เทคโนโลยีการเชื่อมจึงเป็นที่นิยมในประเทศที่กำลังพัฒนาและเติบโตอย่างรวดเร็ว

การเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน (Friction Welding) ความร้อนได้จากการเสียดทานกันที่ผิวหน้าสัมผัสของวัสดุ ในขณะที่ผิวสัมผัสใช้แรงกดอัดเพื่อให้ชิ้นงานติดกัน ผิวสัมผัสที่ประสานเข้าด้วยกันจะเป็นแบบ plastic state โดยวัสดุยังไม่หลอมละลาย ชิ้นงานที่เชื่อมเสร็จจะมีขนาดความยาวลดลง เหมาะกับการเชื่อมต่อชิ้นงานที่เป็นเพลตตัน เพลากลวง และการต่อเพลากับเหล็กแผ่น สามารถเชื่อมต่อวัสดุต่างชนิดกันได้ เช่น เหล็กกับอลูมิเนียม อลูมิเนียมกับทองแดง ไททานีียมกับเหล็ก เป็นต้น การเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน ไม่ต้องใช้แก๊สคลุม และลวดเชื่อม [1] ขั้นตอนการเชื่อม ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน [2]

ลักษณะรูปร่างของรอยต่อ และความกว้างของพื้นที่ที่กระทบร้อน เปลี่ยนแปลงได้ตามโมเมนต์ความเฉื่อยของล้อดุนกำลัง (flywheel) แรงกดและความเร็วรอบ ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ใช้ควบคุมอัตราการเย็นตัวของรอยเชื่อม ผลจากตัวแปรเหล่านี้ แสดงให้เห็นรูปแบบของความร้อน (heat pattern) และครีป (flash) ในการเชื่อมเหล็ก แสดงดังรูป



รูปที่ 2 รูปแบบรอยต่อที่ได้รับอิทธิพลจากพลังงาน ความดันและความเร็วของการเชื่อม ด้วยแรงเสียดทาน [3]

เนื่องจากปัจจุบันการทดลองเชื่อมชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างของวัสดุด้วยวิธีการชุบแข็งแล้วนำไปเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน ยังไม่มีการทดลองกับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ว่าการชุบแข็งมีผลต่อการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 อย่างไร [3] จากการศึกษางานวิจัยพบว่า Mumin Sahin และคณะ [4] ได้การศึกษาลักษณะของคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้า AISI 1040 ด้วยแรงเสียดทาน การศึกษาทฤษฎีและความสำคัญของการเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมต่าง ๆ ที่ได้รับคือการพัฒนาเพื่อให้ได้การต่อที่เหมาะสมในการใช้งานต่าง ๆ ส่วน Sahin, A.Z. และคณะ [5] ได้ทำการศึกษากลไกการถ่ายเทความร้อนของกระบวนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน โดยทำการทดลองเชื่อมวัสดุแท่งทองแดงกับเหล็กที่สภาวะความเร็ว และเวลาการเชื่อมแตกต่างกัน ทำการวิเคราะห์โครงสร้าง ความแข็ง ซึ่งที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิด Heat Affected

Zone สูง ในขณะที่ Seli, H. และคณะ [6] ได้ศึกษาสถานะการนำความร้อน ในการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานของวัสดุแท่งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ กับวัสดุอลูมิเนียม การเปรียบเทียบอุณหภูมินั้นได้ทำการทดสอบความแข็งแรงเชื่อม และความแข็งแรงดึง ผลการทดลองสอดคล้องกับการคำนวณทางทฤษฎี ทางด้าน Yilba, B.S. และคณะ [7] ทำการศึกษาการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานของเหล็กกับอลูมิเนียม และอลูมิเนียมกับทองแดง โดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรของความเร็วรอบ ระยะเวลาการกด และแรงการกด จากนั้นทำการศึกษาค้นสมบัติเชิงกล เช่น ค่าความเค้นจุดคราก ความแข็งแรงดึงสูงสุด และศึกษาโครงสร้างจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่สำคัญในการเชื่อมด้วยความเสียดทาน คือ ความเร็วรอบในการหมุน ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมของเหล็กกับอลูมิเนียม หรืออลูมิเนียมกับทองแดงก็ตาม จะส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาค Sahin, M., [8] ได้ทำการศึกษาค้นหาการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานกับวัสดุเครื่องมือ กับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1040 เพื่อศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อมวัสดุนี้ โดยเปรียบเทียบจากการทดสอบแรงดึง ความล้า การทดสอบแรงกระแทกและความแข็ง ซึ่งตัวแปรที่สำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงและความล้า คือ เวลาในการเชื่อม และแรงดัน

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาพบว่ายังไม่เคยมีการศึกษาทดลองการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ด้วยแรงเสียดทาน จึงมีแนวคิดที่จะทำการทดลองนำวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ไปผ่านกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างที่เป็นไปตามกรรมวิธีการอบชุบในรูปแบบต่างๆ และ วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ที่ไม่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้าง ด้วยวิธีการชุบแข็งนำไปทำการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน แล้วนำมาเปรียบเทียบ เพื่อศึกษาอิทธิพลการชุบแข็งต่อการเชื่อมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ด้วยแรงเสียดทาน การทดลองจะนำวัสดุที่ผ่านการเชื่อมไปตรวจสอบคุณสมบัติทางกล ผลจากการศึกษาสามารถนำมาพัฒนากระบวนการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ และงานโครงสร้างได้

2. การออกแบบการทดลอง

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องกลึงที่หาได้ในโรงงานอุตสาหกรรม ในการทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องกลึงยี่ห้อโดยประยุกต์เอาหลักการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น จะมีการนำเอาชุดไฮดรอลิกมาติดตั้งแทนด้วยปั๊มไฮดรอลิก จะใช้สำหรับออกแรงดันให้ชิ้นงานเกิดการเสียดทาน โดยชิ้นงานที่หนึ่งอยู่ที่หัวจับเครื่องกลึง และชิ้นงานอีกหนึ่งชิ้นอยู่ที่ชุดไฮดรอลิกท้ายแทนด้วยปั๊มไฮดรอลิก นำเอาชุดไฮดรอลิก มาใช้ในการเชื่อมนั้น แรงดันที่ใช้จะสามารถควบคุมให้คงที่ตามการทดลอง ดังแสดงได้ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน

เครื่องกลึงที่ใช้ ต้องมีเบรกที่สามารถหยุดหัวจับเครื่องได้ โดยใช้ระยะเวลาในการหยุดน้อยที่สุด ใช้ความเร็วรอบ 2,500 รอบ/นาที และชุดไฮดรอลิกเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แทนแทนด้วยปั๊มไฮดรอลิกที่สามารถปรับค่าแรงดันได้ตามต้องการ เพื่อทำหน้าที่เคลื่อนชิ้นงานเข้าหากันทำให้เกิดแรงเสียดทาน เป็นผลทำให้ชิ้นงานเกิดความร้อนซึ่งทำให้ชิ้นงานติดกัน โดยแรงดันที่ใช้ในการกดชิ้นงาน (P_1) คือ 14 บาร์ เพื่อทำให้ชิ้นงานมีแรงเสียดทานกันที่ผิวสัมผัส ทำให้ชิ้นงานเกิดความร้อนจนถึงสภาวะพลาสติก จึงใช้แรงดันเพื่อกดอัดให้ชิ้นงานติดกัน แรงที่ใช้ในการอัด (P_2) ตามการทดลองคือ 20 บาร์ 25 บาร์ และ 30 บาร์ตามลำดับ ดังแสดงได้ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ชุดไฮดรอลิก

2.2 การเตรียมการทดลอง

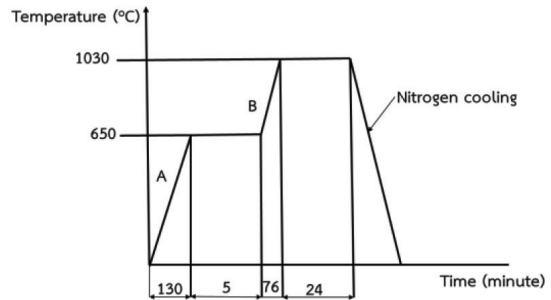
1) นำเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ตัดให้มีความยาว 100 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5



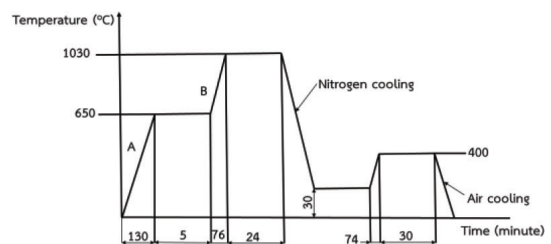
รูปที่ 5 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420
ขนาด $\varnothing 10 \times 100$ มิลลิเมตร

2) หาช่วงอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในกรรมวิธีการอบชุบเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420

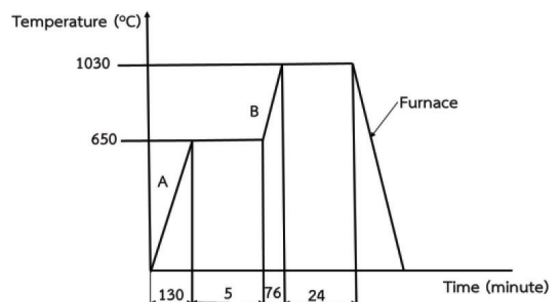
3) นำเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ไปผ่านกรรมวิธีการอบชุบ ตามที่ได้เขียนกราฟไว้โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ Hardening + Quenching, Hardening + Tempering และ Hardening + Full Annealing โดยมีอุณหภูมิที่ใช้ในการชุบแข็งชิ้นงานที่อุณหภูมิ $1,030^{\circ}\text{C}$ ดังรูปที่ 6, 7, และ 8



รูปที่ 6 อุณหภูมิและเวลาในการทำ
Hardening + Quenching

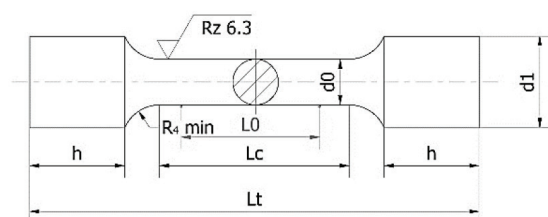


รูปที่ 7 อุณหภูมิและเวลาในการทำ
Hardening + Tempering



รูปที่ 7 อุณหภูมิและเวลาในการทำ
Hardening + Full Annealing

4) การเตรียมรูปร่างและขนาดของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึง ของชิ้นงานเชื่อม ตามมาตรฐาน DIN 50125 [9]



รูปที่ 9 ชิ้นทดสอบเพลากลม [9]

สัญลักษณ์

d_0 : Probendurchmesser

d_1 : metrisches ISO-Gewinde

L_0 : Anfängsmesslänge ($L_0=50d_0$)

L_c : Versuchslänge

L_t : Gesamtlänge

h : Kopfhöhe

Bezeichnung riner Zugprobe (Form B) mit

Probendurchmesser $d_0= 14$ mm und

Anfängsmesslänge $L_0 = 70$ mm

ตารางที่ 1 ขนาดชิ้นทดสอบชนิดเพลากลม แบบ A (DIN 50125) หน่วยเป็น มม. [9]

เส้นผ่านศูนย์กลาง ชิ้นทดสอบ	เส้นผ่านศูนย์กลาง ปลายจับ	ระยะ ปลายจับ	ความยาว พิกัด	ความยาว ขนาน	ความยาว รวม
d_0	d_1	h อย่างน้อย	L_0	L_c	L_t อย่างน้อย
6	8	25	30	36	95
8	10	30	40	48	115
10	12	35	50	60	140
12	15	40	60	72	160
14	17	45	70	84	180
16	20	50	80	96	205
18	22	55	90	108	230
20	24	60	100	120	250
22	30	70	125	150	300

2.3 การทดลอง

นำเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 มาจับยึดที่หัวจับเครื่องกลึง และนำอีกหนึ่งชิ้นมาจับยึดที่หัวจับของชุดไฮดรอลิก ดังแสดงได้ในรูปที่ 10 กำหนดแรงดันและเวลาที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งความดันที่ใช้ในการกดแช่คือ 14 บาร์ และความดันที่ใช้ในการกดอัด 20, 25 และ 30 บาร์ ตามลำดับ ตั้งความเร็วรอบของเครื่องกลึง 2,500 รอบ/นาที จากนั้นเปิดเครื่องกลึงทำการเชื่อมชิ้นงาน ใช้ความดัน 14 บาร์ เพื่อให้กระบอกไฮดรอลิกเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน ที่จับยึดที่หัวจับของเครื่องกลึง โดยใช้เวลาในการกดแช่ชิ้นงานคือ 4 วินาที เป็นเวลาที่เหล็กเกิดความร้อน เมื่อเกิดการเสียดทาน แล้วเพิ่มความดันในการกดอัดชิ้นงานเข้าหากัน เมื่อครบเวลาที่กำหนด

หยุดเครื่องกลึงแบบทันที จากนั้นถอดชิ้นงานออกจากเครื่องกลึง และตรวจสอบรอยเชื่อมว่าชิ้นงานติดกันหรือไม่



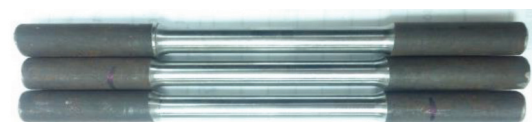
รูปที่ 10 การจับยึดชิ้นงานกับเครื่องกลึง

ทำการทดลองเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ที่ไม่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบ และที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบ คือ Hardening + Quenching , Hardening + Tempering และ Hardening + Full Annealing ที่ความดัน 20, 25 และ 30 บาร์ และเวลาดกดแช่ 5, 7 และ 9 วินาที ตามลำดับ ได้ชิ้นงานเชื่อม ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม

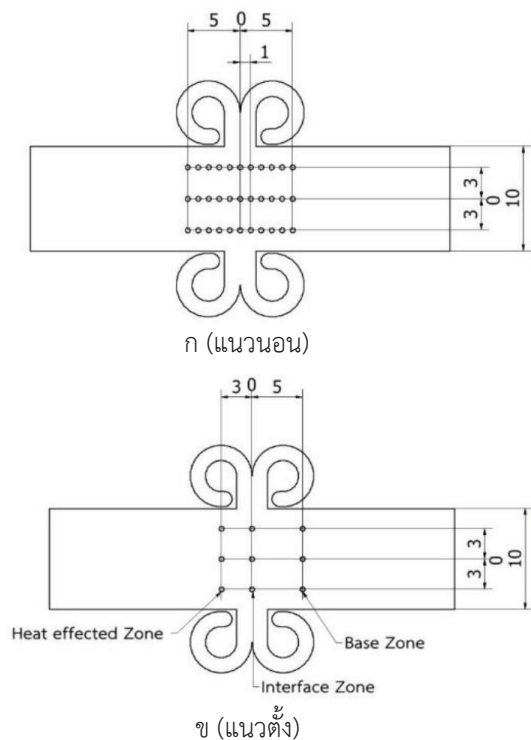
หลังจากการทดสอบตามตัวแปรที่กำหนดไว้ครบแล้ว นำชิ้นงานมาหาค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงและการเปรียบเทียบแนวเชื่อม



รูปที่ 12 การเตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึง

การทดสอบค่าความแข็งแรงในแนวนอนของชิ้นงานเชื่อม จำนวนสามแนว แต่ละแนววัดทั้งหมด 11 จุด ต้องทำการผ่าชิ้นงานที่กึ่งกลางเพลตามแนวยาว วัดค่าความแข็งแรงที่กึ่งกลางเพล

การทดสอบค่าความแข็งในแนวนอนของชิ้นงานเชื่อม จำนวนสามแนว แต่ละแนววัดทั้งหมด 11 จุด ต้องทำการผ่าชิ้นงานที่กึ่งกลางเพลตามแนวยาว วัดค่าความแข็งที่กึ่งกลางเพล แนว 0 และอีกสองแนววัดห่างออกจากกึ่งกลางเพลข้างละ 3 มิลลิเมตร ดังรูป ก และการวัดในแนวตั้ง วัดความแข็งที่จุด Interface Zone, Heat effected Zone และ BaseZone โดยวัดที่จุด 0 , 3 และ -3 แต่ละแนววัดทั้งหมด 3 จุด ดังรูป ข รายละเอียดดังรูปที่ 13



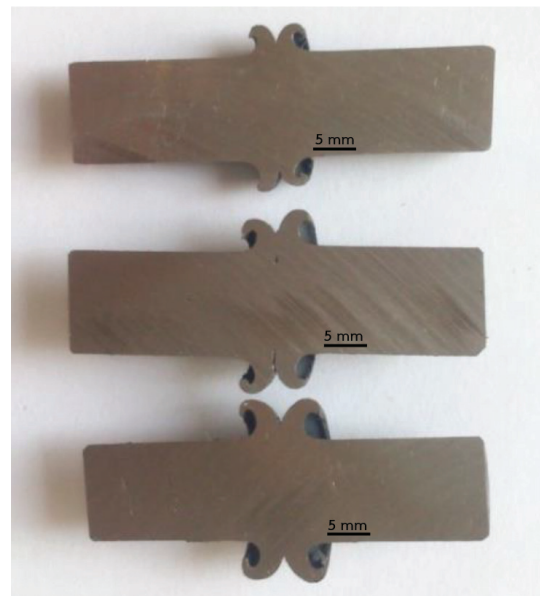
รูปที่ 13 ตำแหน่งการทดสอบความแข็งในแนวนอน และแนวตั้ง

ตารางที่ 2 เวลาที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงานด้วยแรงเสียดทาน

เวลา (วินาที)	ลักษณะรอยเชื่อม	ค่าเฉลี่ยแรงดึง (N/mm^2)
2	เล็กมาก	116.71
3	เล็ก	124.37
5	พอดี	138.39
7	พอดี	137.90
9	พอดี	138.55
11	ใหญ่	146.86

จากตารางที่ 2 พบว่าเวลาที่ใช้ในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ด้วยความเสียดทานเวลาที่เหมาะสมในการเชื่อมชิ้นงาน คือ 5 วินาที 7 วินาที และ 9 วินาที ซึ่งเชื่อมชิ้นงานติดกันและรับแรงดึงได้ดีและเนื้อของวัสดุเกิดน้อยทำให้ไม่สิ้นเปลืองวัสดุ

การเปรียบเทียบขนาดรอยเชื่อม โดยยึดค่าอุณหภูมิและความดันเท่ากัน เปรียบเทียบที่เวลาในการกดอัดที่ต่างกัน คือ ที่ 5 , 7 และ 9 วินาที โดยการนำเอาชิ้นงานที่ผ่าครึ่งตามความยาวของชิ้นงานทั้งสามชิ้นมาวางเรียงกันแล้วถ่ายรูปเปรียบเทียบขนาดรอยเชื่อมที่ปรากฏ รูปบน 5 วินาที รูปกลาง 7 วินาที และรูปล่าง 9 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 14



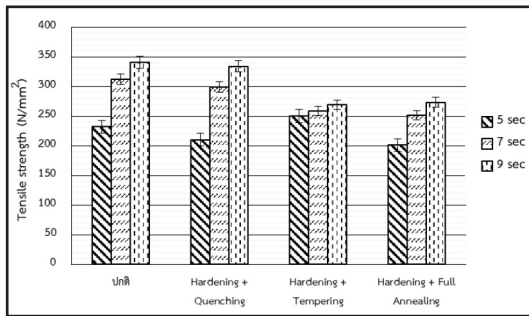
รูปที่ 14 ชิ้นงานที่เปรียบเทียบขนาดของรอยเชื่อม

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

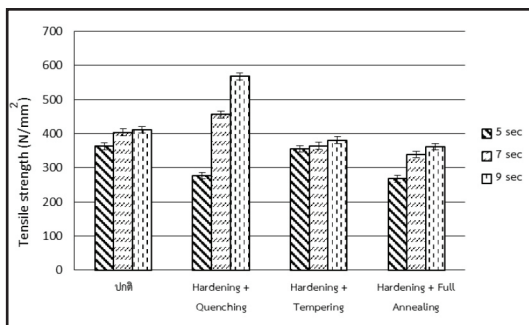
3.1 ความแข็งแรงดึง

เมื่อเชื่อมเสร็จนำชิ้นงานไปผ่านการกลึงตามมาตรฐาน DIN 50125 จากนั้นนำมาทดสอบความแข็งแรงดึง เพื่อเปรียบเทียบผลของชิ้นงานแต่ละกลุ่มดังนี้

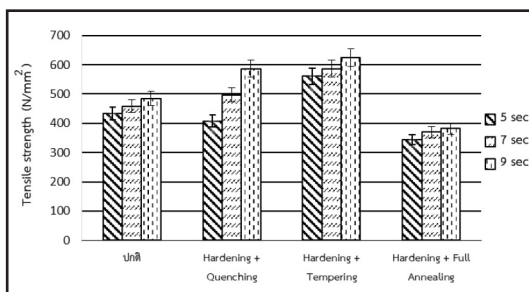
จากความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดระหว่างความดันและเวลาที่อุณหภูมิปกติและผ่านกรรมวิธีการอบชุบ Hardening + Quenching , Hardening + Tempering และ Hardening + Full Annealing ที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ด้วยความเสียดทาน



รูปที่ 15 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 20 บาร์



รูปที่ 16 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 25 บาร์



รูปที่ 17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 30 บาร์

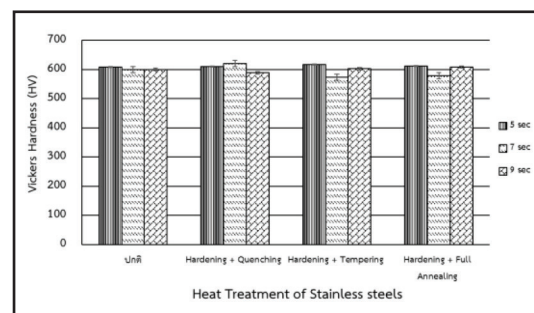
จากรูปที่ 15 16 และ 17 แสดงค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดระหว่างความดันและเวลาแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิปกติ และที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบ จะเห็นได้ว่าที่กรรมวิธีการอบชุบแบบ Hardening + Tempering ที่ความดัน 30 บาร์ 9 วินาที จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด เพราะ เนื่องจากชิ้นงานผ่านการชุบแข็ง แล้วนำไปทำ Tempering เพื่อคลายความเครียดภายในเนื้อโลหะหลังการทำ Hardening เพราะกระบวนการเย็นตัวอย่างรวดเร็วทำให้อะตอมของโลหะจัดเรียงตัว

ไม่เป็นระเบียบ จึงทำให้เกิดความเครียดภายในโลหะ และการทำ Tempering จะทำให้โลหะแข็งแรงและรับแรงต่าง ๆ ได้มากขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลมากนัก เช่น ค่าความแข็งแรงดึง หรือความแข็ง จึงทำให้ชิ้นงานรับแรงดึงได้มากกว่าชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบชุบที่แตกต่างกัน

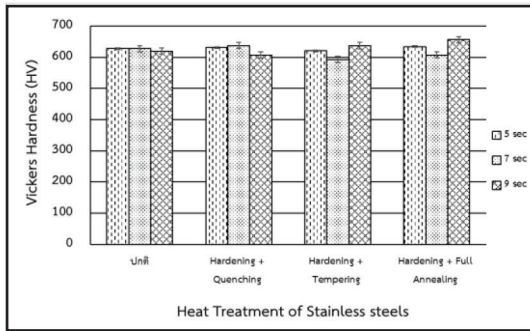
ผลการวิจัยความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยแรงดึง สอดคล้องกับงานวิจัยของ พุทสาธน์ นราพินิจ และคณะ [10] พบว่าจากความสัมพันธ์ค่าแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดระหว่างความดันและเวลาที่อุณหภูมิปกติ และ ที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบ เปรียบเทียบชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยความเสียดทานที่สภาวะอุณหภูมิปกติกับการนำชิ้นงานไปผ่านกรรมวิธีการอบชุบ Hardening + Quenching , Hardening + Tempering และ Hardening + Full Annealing แล้วนำไปเชื่อมด้วยความเสียดทาน พบว่าชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบ Hardening + Tempering ที่ความดันและเวลามาก จะทำให้เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ทนต่อแรงดึงมากกว่าการนำชิ้นงานไปผ่านกรรมวิธีการอบชุบแบบ Hardening + Full Annealing เพราะชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนจะทำให้เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 อ่อนลง แต่ความเหนียวจะเพิ่มขึ้น

3.2 ความแข็งแนวนอน

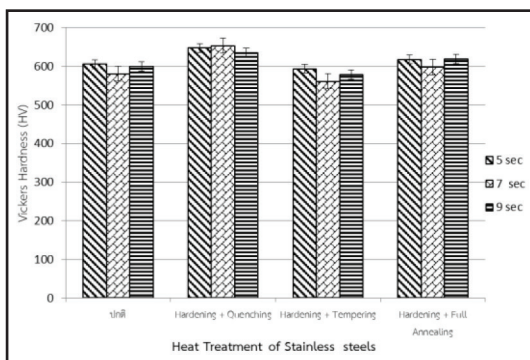
จากความสัมพันธ์ของค่าความแข็งระหว่างความดันและเวลาที่อุณหภูมิปกติ และ ที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบ ที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ด้วยความเสียดทานที่แนวเชื่อมในแนวนอน (Horizontal) แฉวน



รูปที่ 18 เปรียบเทียบความแข็งที่ 20 บาร์แนวเชื่อมในแนวนอน (Horizontal)



รูปที่ 19 เปรียบเทียบความแข็งที่ 25 บาร์
แนวเชื่อมในแนวนอน (Horizontal)

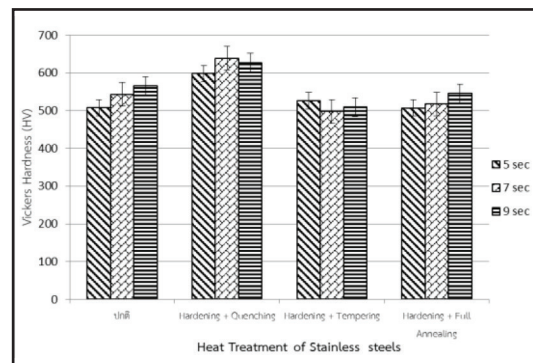


รูปที่ 20 เปรียบเทียบความแข็งที่ 30 บาร์
แนวเชื่อมในแนวนอน (Horizontal)

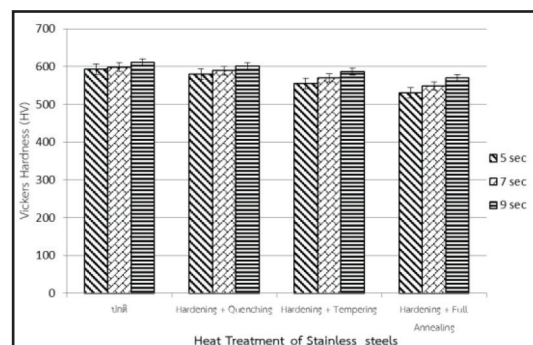
จากรูปที่ 18 19 และ 20 แสดงค่าพบว่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมที่จุด 0 มม. ในบริเวณแถบบนระหว่างความดันและเวลาที่อุณหภูมิปกติ และ ที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบ Hardening + Quenching , Hardening + Tempering และ Hardening + Full Annealing จะเห็นได้ว่าที่ Hardening + Quenching ความดัน 30 บาร์ เวลา 7 วินาที มีค่าความแข็งสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความดัน เวลา อุณหภูมิแตกต่างกัน เพราะ เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ที่ผ่านกระบวนการอบชุบ Hardening + Quenching จะทำให้เกรนละเอียดกว่าเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ที่อุณหภูมิต่างกัน จึงทำให้เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 มีค่าความแข็งมากที่สุดและเมื่อได้รับความร้อนขณะกวดอัดมากขึ้นขณะทำการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานทำให้เกรนละเอียดขึ้นจึงทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานที่ชุบแข็งมีความแข็งขึ้น

3.3 ความแข็งแนวตั้ง

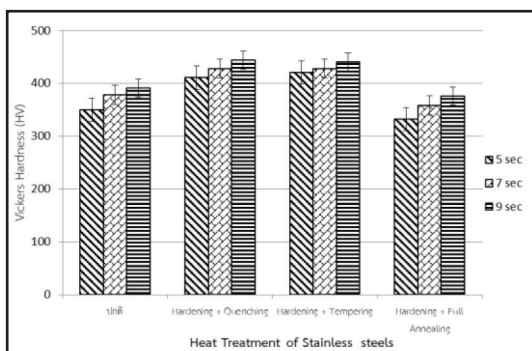
จากรูปที่ 21 22 และ 23 เป็นความแข็งบริเวณรอยเชื่อมในแนวตั้ง (Vertical) Interface Zone, Heat Effected Zone และ Base Zone พบว่าที่ Hardening + Quenching ความดัน 30 บาร์ เวลา 9 วินาที มีค่าความแข็งสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความดัน เวลา อุณหภูมิแตกต่างกัน เพราะ เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ที่ผ่านกระบวนการอบชุบ Hardening + Quenching จะทำให้เกรนมีขนาดใหญ่กว่าเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ที่อุณหภูมิต่างกัน จึงทำให้เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 มีค่าความแข็งมากที่สุดและเมื่อได้รับความร้อนขณะกวดอัดมากขึ้นขณะทำการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานทำให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นจึงทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานที่ชุบแข็งมีความแข็งขึ้น



รูปที่ 21 เปรียบเทียบความแข็งที่ 20 บาร์
แนวเชื่อมในแนวตั้ง (Vertical) Interface Zone



รูปที่ 22 เปรียบเทียบความแข็งที่ 25 บาร์
แนวเชื่อมในแนวตั้ง (Vertical) Heat Effected Zone



รูปที่ 23 เปรียบเทียบความแข็งที่ 30 บาร์
แนวเชื่อมในแนวตั้ง (Vertical) Base Zone

จากการวิเคราะห์ผล พบว่ากรรมวิธีการอบชุบ Hardening + Quenching , Hardening + Tempering และ Hardening + Full Annealing มีผลต่อสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ด้วยความเสียดทาน เหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบ Hardening + Full Annealing จะทนต่อค่าแรงดึงได้น้อยกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมที่อุณหภูมิปกติและเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบ Hardening + Quenching , Hardening + Tempering และ ค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบ Hardening + Quenching ส่วนใหญ่จะมีค่าความแข็งของบริเวณรอยเชื่อมมากกว่า เหล็กกล้าไร้สนิมที่อุณหภูมิปกติและเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบแบบ Hardening + Tempering และ Hardening + Full Annealing ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความดันและเวลาที่ใช้ในการเชื่อมแรงเสียดทาน และเมื่อทำการเปรียบเทียบแนวเชื่อมชิ้นงานที่ได้รับความดัน และ เวลาในการเสียดทานที่นานกว่าจะทำให้รอยเชื่อมมีขนาดใหญ่กว่า และเมื่อความดันเท่าเดิม และเวลาที่น้อยกว่าเดิม จะทำให้แนวเชื่อมมีขนาดเล็กลง ไปตามตัวแปรของความดันและเวลา

4. สรุปผลการทดลอง

1. การเชื่อมชิ้นงานด้วยความเสียดทานระหว่างอุณหภูมิปกติของชิ้นงานและการนำชิ้นงานไปผ่านกรรมวิธีการอบชุบ พบว่าชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบแบบ Hardening + Full Annealing หลังจากเชื่อมชิ้นงานค่าแรงดึงจะมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดึงของชิ้นงาน

ที่ปกติและที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบแบบ Hardening + Quenching และ Hardening + Tempering

2. ค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบ Hardening + Quenching ส่วนใหญ่จะมีค่าความแข็งของบริเวณรอยเชื่อมมากกว่า เหล็กกล้าไร้สนิมที่อุณหภูมิปกติ และเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบแบบ Hardening + Tempering และ Hardening + Full Annealing ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความดันและเวลาที่ใช้ในการเชื่อมแรงเสียดทาน

3. ความดันที่ใช้ในการเชื่อมด้วยความเสียดทานคือ 20 บาร์ 25 บาร์และ 30 บาร์ นำชิ้นงานที่ทดลองเสร็จแล้วไปความแข็งแรงดึงและทดสอบความแข็งซึ่งความดันมีผลต่อค่าแรงดึงในการเชื่อมชิ้นงานเมื่อทำการเพิ่มความดันในการเชื่อมสูงขึ้นจะทำให้ชิ้นงานทนต่อค่าแรงดึงได้สูงขึ้นและเมื่อเพิ่มความดันส่วนใหญ่จะทำให้ค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมนั้นมีค่าลดลงด้วยและจะทำให้ชิ้นงานมีครีบของรอยเชื่อมหนาและใหญ่ขึ้น

4. เวลาที่ใช้ในการเชื่อมด้วยความเสียดทานคือ 5 วินาที 7 วินาที และ 9 วินาที นำชิ้นงานที่ทดลองเสร็จแล้วไปความแข็งแรงดึงซึ่งมีผลต่อค่าแรงดึงเมื่อเพิ่มเวลามากขึ้นจะทำให้ค่าแรงดึงสูงขึ้นและทดสอบความแข็งซึ่งเวลาไม่มีผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานมากแต่ชิ้นงานที่ได้รับเวลาในการเชื่อมเพิ่มขึ้นจะทำให้ชิ้นงานมีครีบของรอยเชื่อมหนาและใหญ่ขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก RMUTT financial budget in fiscal in 2018 ที่ได้ให้งบประมาณสนับสนุนโครงการวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีให้การสนับสนุนในด้านต่าง ๆ จนโครงการวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จในการดำเนินงานเป็นอย่างดี ทางผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] The Welding Engineer's Current Knowledge, Welding processes and equipment Materials and their behavior during welding Construction and design Fabrication, applications engineering Edition. 2015
- [2] FPE GATWICK, [Internet]. Friction Welding, [cited 2019 Mar 10]. Available from : <http://www.gawickhnologies.com/processes/friction-welding>
- [3] Welding Handbook, Welding Processes, Part 2 Ninth Edition. Volume 3. 2007
- [4] Mumin Sahin H, Erol Akata and Gulmez T. 2550. Characterization of mechanical properties in AISI 1040 parts welded by friction welding Department of Mechanical Engineering, Trakya University.
- [5] Sahin, A.Z., Yibas, B.S., Ahmed, M., Nickel, J. Analysis of the friction welding process in relation to the welding of copper and steel bars. Journal of Materials Processing Technology. 1998;82(1-3) :127-36
- [6] Seli, H, Ismail, A. I., Rachman, E., Ahmad, Z.A. Mechanical evaluation and thermal modelling of friction welding of mild steel and aluminium. Journal of Materials Processing Technology. 2010;210(9):1209-16.
- [7] Yilba, B.S., Sahin, A.Z., Kahraman, N. Friction welding of St-A1 and A1-Cu materials. Journal of Materials Processing Technology. 1995;49(3-4): 431-43.
- [8] Sahin M. Joining with friction welding of high-speed steel and medium-carbon steel. Journal of Materials Processing Technology. 2005;168(2) :202-10.
- [9] Mana Tantit Bundit 2003 Industrial Material Testing, Bangkok: TSB Products (in Thai)
- [10] Narapinij P, Saramath S, Torsakul S. study of hardening process effect on the aisi 1045 steel by friction welding for shaft welding industries. Kasem Bundit Engineering Journal. 2016;6(1) :122-33. (in Thai)

การออกแบบบรรจุภัณฑ์กระเป๋จากเปลือกไข่นกกระทาเทศ ร้านปาลิตาไข่จิตร

ภัทรกร ออแก้ว^{1*}

Pattarakorn2@gmail.com^{1*}

^{1*} หลักสูตรเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

Received : 06-Oct-2020
Revised : 26-Oct-2020
Accepted : 30-Oct-2020

บทคัดย่อ

การออกแบบบรรจุภัณฑ์กระเป๋จากเปลือกไข่นกกระทาเทศ ร้านปาลิตาไข่จิตร มีวัตถุประสงค์ 1. เพื่อออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ให้มีความเหมาะสมกับกระเป๋จากเปลือกไข่นกกระทาเทศ 2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเชิงกลของโครงสร้าง ในการปกป้องคุ้มครองต่อบรรจุภัณฑ์กระเป๋จากเปลือกไข่นกกระทาเทศ 3. เพื่อออกแบบกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ให้มีความสวยงาม น่าสนใจ แสดงเอกลักษณ์เฉพาะ 4. เพื่อประเมินความพึงพอใจโดยรวม ต่อบรรจุภัณฑ์กระเป๋จากเปลือกไข่นกกระทาเทศ ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ผู้ผลิตกระเป๋จากเปลือกไข่นกกระทาเทศ จำนวน 2 คน โดยใช้แบบสัมภาษณ์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักท่องเที่ยวที่เลือกซื้อกระเป๋จากเปลือกไข่นกกระทาเทศ จำนวน 100 คน โดยใช้วิธีการเก็บข้อมูลแบบสำรวจพฤติกรรมของผู้บริโภค มาออกแบบบรรจุภัณฑ์เป็นรูปแบบกล่องได้ทั้งหมดจำนวน 3 รูปแบบ เพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ผลปรากฏว่ารูปแบบที่ 2 มีความแข็งแรงมากที่สุดทั้งด้านความต้านการฉีกขาด ด้านความต้านการตกกระแทก ด้านความต้านแรงกด กราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ แบบที่ 2 มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยมีความสวยงาม มีคุณค่า สื่อถึงสินค้าภายใน มีเอกลักษณ์เฉพาะเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ ความพึงพอใจโดยรวม ต่อต้นแบบบรรจุภัณฑ์กระเป๋จากเปลือกไข่นกกระทาเทศ ครอบคลุมวัตถุประสงค์ 2 ด้าน คือ 1. ด้านโครงสร้างบรรจุภัณฑ์สามารถปกป้องคุ้มครองสินค้า 2. ด้านกราฟิกที่สามารถช่วยส่งเสริมการขาย สร้างทัศนคติที่ดีงามต่อผลิตภัณฑ์ ผลการประเมินพบว่าโดยภาพรวม มีความพึงพอใจในระดับมาก

คำสำคัญ: การออกแบบบรรจุภัณฑ์ กระเป๋จากเปลือกไข่นกกระทาเทศ ร้านปาลิตาไข่จิตร

Package Design for Ostrich Shell bag of Palita Exquisite Eggs Shop

Pattarakorn Orkarw^{1*}

Pattarakorn2@gmail.com^{1*}

^{1*} Division of Printing and Packaging Technology, Faculty of Art and Architecture, Rajamangala University of Technology Lanna

Received	: 06-Oct-2020
Revised	: 26-Oct-2020
Accepted	: 30-Oct-2020

Abstract

The purposes of this study were as follows: 1. To design an appropriate packaging with appropriate structure for the product in order to protect the internal product and be convenient for transportation. 2. To test the mechanical performance of the structure in the protection of packaging. 3. To design graphics for packaging to be remarkable and show unique characteristics with complete product information. 4. To test overall satisfaction with the ostrich eggshell bag packaging. The population used in the research were 2 of ostrich egg bag manufacturers by using the interviewing. The sample consisted of 100 tourists who bought ostrich eggshell bags by using the collecting consumer behavior surveys method to design the packaging in 3 prototypes of die-cut box in order to test the mechanical properties. The result shows that the prototype No.2 is the most powerful consist of anti-vibration, impact resistance, pressure resistance graphic on the package. Moreover prototype No.2 is the most appropriate which beautiful, valuable, represent internal product and unique. Overall satisfaction to the prototype of ostrich eggshell bag packaging covered 2 objectives are the packaging structure can protect the product and graphic design can help sales promotion with create a positive attitude to the product. The evaluation result shows that the overall satisfaction is at a high level.

Keywords: Package Design, Ostrich Shell bag, Palita Exquisite Eggs Shop

1. บทนำ

เปลือกไข่ มีประโยชน์สามารถผลิตผลิตภัณฑ์เปลือกไข่วิจิตรศิลป์มีมากมาย ทั้งเปลือกไข่ที่มีไว้เพื่อประดับตกแต่งบ้าน เอาเปลือกไข่มาทำกระเป๋านาฬิกาเปลือกไข่ เป็นต้น โดยเปลือกไข่ส่วนใหญ่จะเป็นเปลือกไข่ที่ได้มาจากไข่ห่านและไข่นกกระทาจากเทศ [1] กระบวนการขั้นตอนการผลิตเปลือกไข่เริ่มจากนำไข่มาเจาะด้วยสว่านไฟฟ้า แล้วนำเปลือกไข่มาเขียนลวดลายตามความต้องการด้วยอุปกรณ์เขียนลวดลายจากนั้นนำมาตัดด้วยเครื่องตัดไข่ที่สั่งเฉพาะ

ร้านปาลิตาไข่วิจิตร เริ่มก่อตั้งกิจการ ในปี พ.ศ. 2547 เป็นธุรกิจครอบครัว เกิดความสนใจงานไข่วิจิตรขึ้นมาและได้ติดต่อขอเรียนรู้การทำไข่วิจิตรในช่วงแรกพบอุปสรรคมากมายในการทำ ไม่ว่าจะเป็นการจัดหาอุปกรณ์หรือแม้กระทั่งสถานที่ในการจำหน่ายสินค้า ต่อมาได้ติดต่อไปยังพัฒนาชุมชนอำเภอหางดง เพื่อนำสินค้าลงประกวดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) เพื่อที่จะเป็นส่วนหนึ่งในโครงการ 1 ตำบล 1 ผลิตภัณฑ์ (OTOP) ปัจจุบันได้เป็นผลิตภัณฑ์ระดับ 5 ดาว และยังสามารถส่งออกไปยังต่างประเทศได้ด้วย สินค้าที่สร้างชื่อเสียงให้แก่ร้านปาลิตาไข่วิจิตร คือ กระเป๋าจากไข่นกกระทาจากเทศ



รูปที่ 1 กระเป๋าจากไข่นกกระทาจากเทศ

แต่ทางร้านยังขาดบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับสินค้า เพราะงานไข่วิจิตรเป็นงานที่ใช้ความประณีตในการทำ ดังนั้นจึงต้องมีโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ที่รักษาคุณภาพของสินค้าได้ไม่ให้เกิดหักหรือเกิดความเสียหายระหว่างการขนส่ง และกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ ขาดความสวยงาม ข้อมูลไม่ครบถ้วน จึงทำให้สินค้าขายได้ยาก เพราะกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ส่งเสริมให้เกิดค่านิยมที่ดี

ส่งเสริมความก้าวหน้าทางด้านธุรกิจเป็นสื่อกลางในการสื่อความหมายของสินค้าจากผู้ผลิตไปถึงผู้บริโภค เพิ่มมูลค่าให้กับสินค้า

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นพัฒนาบรรจุภัณฑ์กระเป๋าไข่วิจิตร ให้มีโครงสร้างที่แข็งแรงสามารถปกป้องสินค้าแลป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการขนส่ง หรือเคลื่อนย้ายสินค้า ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง มีกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ช่วยในการสื่อสารด้านการตลาด มีความสวยงามโดดเด่น เป็นที่น่าสนใจสร้างการจดจำให้กับลูกค้า สร้างยอดขายได้ให้มากขึ้นได้

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบโครงสร้างแบบบรรจุภัณฑ์ให้มีความเหมาะสมกับกระเป๋าจากเปลือกไข่นกกระทาจากเทศ
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเชิงกลของโครงสร้าง ในการปกป้องคุ้มครองต่อบรรจุภัณฑ์กระเป๋าจากไข่นกกระทาจากเทศ
3. เพื่อออกแบบกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ให้มีความสวยงาม น่าสนใจ แสดงเอกลักษณ์เฉพาะ
4. เพื่อประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อบรรจุภัณฑ์กระเป๋าจากไข่นกกระทาจากเทศ

3. ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยเรื่อง “การออกแบบบรรจุภัณฑ์กระเป๋าจากเปลือกไข่นกกระทาจากเทศ ร้านปาลิตาไข่วิจิตร” แบ่งขั้นตอนการวิจัย ออกเป็น 4 ขั้นตอน

3.1 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ ผู้วิจัยทำการศึกษาค้นคว้า เอกสาร งานวิจัย และบทความด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ลงพื้นที่ร้านปาลิตาไข่วิจิตร เลขที่ 135 หมู่ที่ 1 ตำบลหารแก้ว อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ 50230 เพื่อเก็บข้อมูล และความคิดเห็น จากกลุ่มผู้เกี่ยวข้อง 2 กลุ่ม ซึ่งได้แก่ ผู้ผลิตและนักท่องเที่ยว ที่มาเลือกซื้อผลิตภัณฑ์จากเปลือกไข่นกกระทาจากเทศ ร้านปาลิตาไข่วิจิตร จำนวน 2 ท่าน โดยใช้เครื่องมือในการวิจัย คือ การสัมภาษณ์ด้วยคำถามแบบเปิด เพื่อให้ทราบถึงความต้องการบรรจุภัณฑ์โครงสร้างบรรจุภัณฑ์ ที่เหมาะสมกับการทำบรรจุภัณฑ์กระเป๋าจากเปลือกไข่นกกระทาจากเทศ ที่มีความ

แข็งแรง [2] ทำหน้าที่สามารถปกป้องสินค้าจากแรงกระแทกจากภายนอก และสามารถเรียงซ้อนเพื่อขนส่งได้ สามารถมองเห็นสินค้าภายในได้ และสามารถหิ้วถือได้สะดวก การอำนวยความสะดวกในการใช้งานและการขนย้าย ด้วยต้นทุนที่มีประสิทธิภาพ

3.2 ขั้นตอนการทดสอบความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้ทราบถึงความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ได้นำโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 รูปแบบ เพื่อทำการทดสอบ

3.2.1 ทดสอบความต้านการสั่นสะเทือน

3.2.2 ทดสอบความต้านการตกกระแทก

3.2.3 ทดสอบความต้านแรงกดโดยใช้วิธีทดสอบ ดังนี้

- Inter Safe Transit Association;

Test Procedure-2A Resource Book 2018

- Fixed Displacement Vibration test

- Drop Test

- ASTM D 642-15 Determining

Compressive Resistance of Shipping Containers, Components, and Unit Loads

ทำการทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย (ห้องปฏิบัติการทดสอบบรรจุภัณฑ์) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เพื่อนำผลมาวิเคราะห์ และสรุปผล โครงสร้างบรรจุภัณฑ์ที่แข็งแรงมากที่สุด เหมาะสมที่จะนำมาบรรจุกระเป๋จากเปลือกไข่นกกระทาจอกเทศ ซึ่งเป็นสินค้าที่มีมูลค่าสูง

3.3 ขั้นตอนการออกแบบกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ สอบถามความคิดเห็นจากประชากรได้แก่ ผู้ผลิตสินค้าจากเปลือกไข่นกกระทาจอกเทศ จำนวน 2 คน กลุ่มตัวอย่าง คือ นักท่องเที่ยวที่เลือกซื้อผลิตภัณฑ์จากเปลือกไข่นกกระทาจอกเทศ ร้านปาลิตาไข่วิจิตร จำนวน 100 คน เครื่องมือในการวิจัยคือ แบบสอบถามข้อมูลเบื้องต้นด้วยคำถามแบบตรวจสอบ (Check List) และการสัมภาษณ์ด้วยคำถามแบบปลายเปิด เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ เมื่อได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูล จึงนำไปสู่การออกแบบกราฟิก 3 รูปแบบ เน้นการออกแบบให้สินค้าดูน่าสนใจ หูหรรามีระดับ บ่งบอกถึงรสนิยมการใช้งานของผู้ซื้อที่เป็น

นักท่องเที่ยว โดยใช้สีทองเป็นสีหลัก ในการออกแบบกราฟิก จะต้องต้องมีข้อมูลบนบรรจุภัณฑ์ระบุไว้อย่างครบถ้วน ประเมินผลการออกแบบให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ จำนวน 3 ท่าน ใช้แบบสอบถามแบบมาตราส่วน (Rating Scale) ด้วยคำถามแบบเรียงลำดับ ประกอบแบบจำลอง (Mockup) พร้อมข้อเสนอแนะ โดยใช้สูตรคำนวณเป็นค่าคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจ ($\bar{x}$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และแปลผลด้วยการบรรยาย

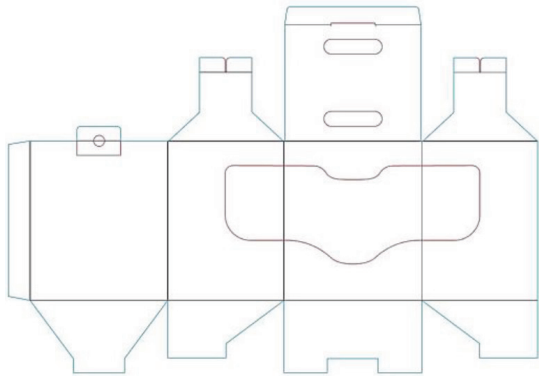
3.4 ขั้นตอนประเมินความพึงพอใจที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ต้นแบบ ผู้วิจัยนำผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้ผลิต สินค้าจากเปลือกไข่นกกระทาจอกเทศ ร้านปาลิตาไข่วิจิตร จำนวน 2 ท่าน และนักท่องเที่ยว จำนวน 100 ท่าน ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย มาทำการวิเคราะห์โดยคำนวณเป็นค่าคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจ ($\bar{x}$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

4. ผลการวิจัย

4.1. การออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ จากการวิเคราะห์ข้อมูลประชากรและกลุ่มตัวอย่างพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ ต้องการให้บรรจุภัณฑ์ สามารถปกป้องสินค้าระหว่างการขนส่งได้ดีเนื่องจากสินค้ามีราคาสูง วัสดุที่จะนำมาผลิตต้องเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีรูปทรงที่เหมาะสมแก่การจับถือหิ้วและอำนวยความสะดวกต่อการนำเอาผลิตภัณฑ์ภายในออกมาใช้ และสามารถมองเห็นสินค้าที่อยู่ภายในได้ นำไปสู่การออกแบบบรรจุภัณฑ์กระเป๋จากไข่นกกระทาจอกเทศ 3 รูปแบบ โดยทั้ง 3 แบบมีวัสดุที่เหมือนกัน คือใช้กระดาษลูกฟูกลอน E เนื่องจากลอนไม่ครีบน้ำหนักเบา งานพิมพ์คุณภาพสูง เหมาะสำหรับการผลิตเป็นกล่องได้ค้ำที่มีจำนวนลอนต่อความยาวฟุตอยู่ที่ 94 ลอน ซึ่งทำให้กระดาษลูกฟูกลอน E มีความต้านทานแรงกระแทกสูงมาก และมีพื้นผิวที่เรียบตึง ส่งผลให้งานพิมพ์มีคุณภาพสูงมากแตกต่างกันที่รูปแบบของโครงสร้าง

รูปแบบที่ 1 เป็นกล่องได้ค้ำที่เน้นการโชว์ตัวสินค้าโดยไม่ต้องนำสินค้าออกจากบรรจุภัณฑ์ มีช่องหน้าต่างด้านหน้ามุมกว้าง สามารถมองเข้าไปเห็นตัวสินค้าได้อย่างชัดเจนถึง 180 องศา ยังมีแผ่นลูกฟูก

กันกระแทก ด้านในช่วยซับแรงกระแทกจากภายนอก
ที่จะมากระทำต่อตัวสินค้าได้ ด้านบนกล่องมีช่องจำนวน
2 ช่อง สำหรับสอดมือเข้าไปเพื่อหิ้วกล่องได้ ทำให้สะดวก
ต่อการจับถือนำพา

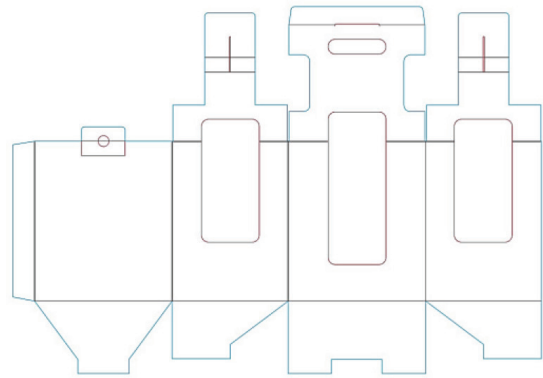


รูปที่ 2 Pattern บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1



รูปที่ 3 โครงสร้างบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1

รูปแบบที่ 2 เป็นกล่องไค้ททรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส
กล่องถูกออกแบบมาให้สามารถมองเห็นสินค้าภายใน
ได้ทั้งมุมมองด้านบนของกล่อง และด้านข้างกล่อง
ถึง 3 ช่อง ด้านบนยังสามารถสอดนิ้วสำหรับถือได้อีกด้วย
ตัวสินค้าถูกล็อคไว้ให้อยู่กับที่ด้วยแผ่นลูกฟูกกันกระแทก
ที่ถูกออกแบบพิเศษ ทำให้ตัวสินค้าห่างจากผนังกล่อง
ในระยะที่เหมาะสม

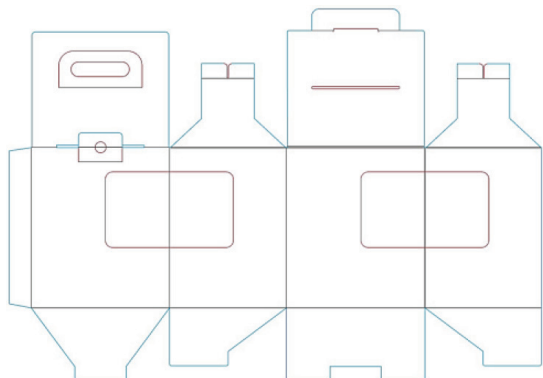


รูปที่ 4 Pattern บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2



รูปที่ 5 โครงสร้างบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2

รูปแบบที่ 3 กล่องไค้ท แบบมีหูหิ้วเป็น
บรรจุภัณฑ์กระเป๋าจกเปลือกไข่ทรงจอกเทศ
ที่สามารถมองเห็นสินค้าได้รอบกล่อง เพราะฝากล่อง
ออกแบบให้มี 2 ชั้น ภายในฝากล่องสามารถพับขึ้นเป็น
หูหิ้วกล่องได้ ทำให้ง่ายต่อการหิ้ว และไม่ต้องมีบรรจุภัณฑ์
อีก 1 ชั้น แผ่นลูกฟูกกันกระแทกภายในมีจำนวน 2 ชั้น
ช่วยป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกจากภายนอกได้ดี



รูปที่ 6 Pattern บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 3



รูปที่ 7 โครงสร้างบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 3

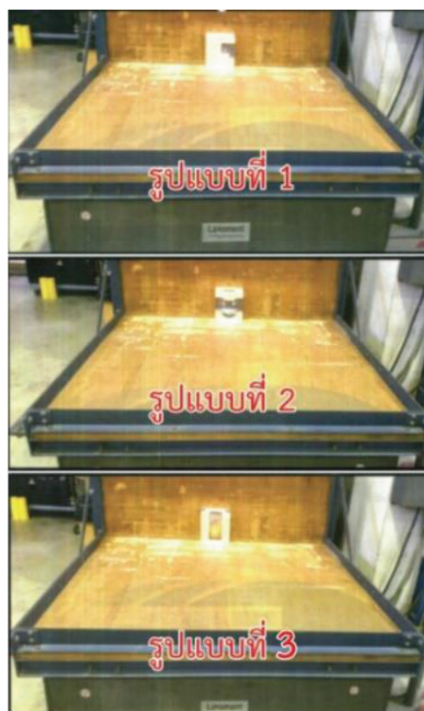
4.2 ทดสอบความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์

4.2.1 การทดสอบความต้านทานการสั่นสะเทือน

สภาวะการทดสอบ อุณหภูมิ 32 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ความถี่ 4 Hz ระยะเวลา 60 นาที ความเร่ง 0.81 ระยะการสั่น 12.5 มม. ซึ่งเป็นค่าขณะทำการทดสอบ ลักษณะการบรรจุสินค้า เป็นกล่องกระดาษลูกฟูก 1 ชั้น ลอน E กระเป๋าจากไชน่กกระจอกเทศ 1 ใบ กันกระแทก ด้วยกระดาษลูกฟูก 1 ชั้น ได้ผลทดสอบความต้านทานการสั่นสะเทือน ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการสั่นสะเทือน

รูปแบบบรรจุภัณฑ์	ผลการทดสอบความต้านการตกกระแทก
บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1	กล่องกระดาษลูกฟูกและผลิตภัณฑ์ไม่ปรากฏความเสียหาย
บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2	กล่องกระดาษลูกฟูกและผลิตภัณฑ์ไม่ปรากฏความเสียหาย
บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 3	กล่องกระดาษลูกฟูกและผลิตภัณฑ์ไม่ปรากฏความเสียหาย



รูปที่ 8 การทดสอบความต้านทานการสั่นสะเทือนบรรจุภัณฑ์

4.2.2 การทดสอบความต้านทานการตกกระแทก

นำผลิตภัณฑ์กระเป๋าจากไชน่กกระจอกเทศทั้ง 3 รูปแบบ ทดสอบด้วยวิธี ISTA-2A ด้วยความสูง 460 มม. จำนวน 10 ครั้ง/ชิ้น ตำแหน่งของการตก คือ 1 มุม 3 ขอบ 6 ด้าน ได้ผลทดสอบการต้านการตกกระแทก ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความต้านทานการตกกระแทก

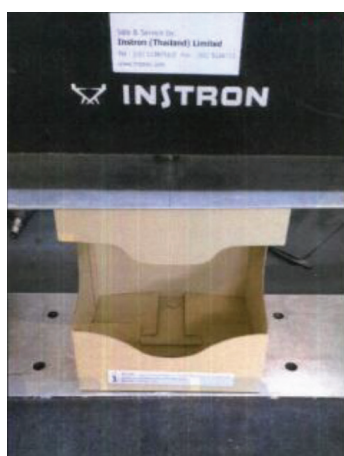
รูปแบบบรรจุภัณฑ์	ผลการทดสอบความต้านการตกกระแทก
บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1	กล่องกระดาษลูกฟูกไม่ปรากฏความเสียหาย แต่มีอับของผลิตภัณฑ์หัก
บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2	กล่องกระดาษลูกฟูกและผลิตภัณฑ์ไม่ปรากฏความเสียหาย
บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 3	กล่องกระดาษลูกฟูกไม่ปรากฏความเสียหาย แต่มีอับของผลิตภัณฑ์หัก บานพับหลุดออก

4.2.3 การทดสอบความต้านแรงกด
ทำการทดสอบโดย นำบรรจุภัณฑ์กระเป๋จาก
ไซนักระจอกเทศ ทั้ง 3 รูปแบบ รูปแบบละ 5 ชิ้น
ทดสอบด้วยเครื่อง Compression Test เพื่อหา
ค่าเฉลี่ยของความต้านแรงกด อัตราเร็วในการทดสอบ
คือ 12.7 มิลลิเมตรต่อวินาที สภาวะการทดสอบ อุณหภูมิ
27 องศา ความชื้นสัมพัทธ์ 65 % ซึ่งเป็นค่าขณะทำการ
ทดสอบ

ตารางที่ 3 การทดสอบความต้านแรงกด รูปแบบที่ 1

ชิ้นที่ทดสอบ	Compressive load Maximum Load (Kgf)	Compressive extension at Maximum Load (mm)
1	7.66	7.06
2	6.13	4.59
3	8.04	2.77
4	7.08	4.76
5	7.92	5.12
Mean	7.37	4.86
SD	0.78	1.53

บรรจุภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ กระเป๋จาก
ไซนักระจอกเทศ รูปแบบที่ 1 มีความต้านแรงกด
7.4 kgf



รูปที่ 9 การทดสอบความต้านแรงกด
บรรจุภัณฑ์ รูปแบบที่ 1

ตารางที่ 4 การทดสอบความต้านแรงกด รูปแบบที่ 2

ชิ้นที่ทดสอบ	Compressive load Maximum Load (Kgf)	Compressive extension at Maximum Load (mm)
1	61.19	12.40
2	73.20	9.01
3	66.40	8.86
4	69.88	10.39
5	65.77	10.70
Mean	67.29	10.27
SD	4.52	1.44

บรรจุภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ กระเป๋จาก
ไซนักระจอกเทศ รูปแบบที่ 2 มีความต้านแรงกด
67.3 kgf

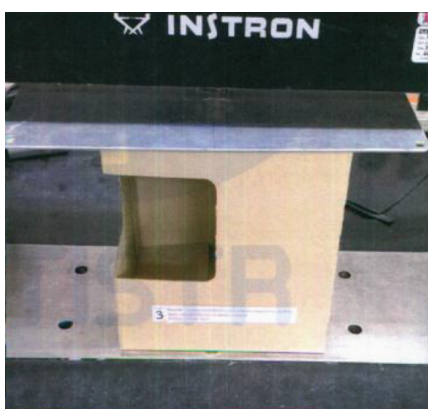


รูปที่ 10 การทดสอบความต้านแรงกด
บรรจุภัณฑ์ รูปแบบที่ 2

ตารางที่ 5 การทดสอบความต้านแรงกด รูปแบบที่ 3

ชั้นที่ทดสอบ	Compressive load Maximum Load (Kgf)	Compressive extension at Maximum Load (mm)
1	45.84	8.42
2	43.67	8.74
3	46.56	9.94
4	46.56	9.94
5	46.54	10.30
Mean	45.53	9.47
SD	1.21	0.83

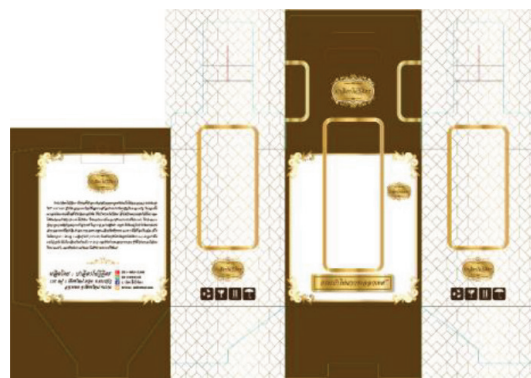
บรรจุภัณฑ์บรรจุภัณฑ์กระเป๋จากไข่นกกระทาจากเทศ รูปแบบที่ 3 มีความต้านแรงกด 45.5 kgf



รูปที่ 11 การทดสอบความต้านแรงกดบรรจุภัณฑ์ รูปแบบที่ 3

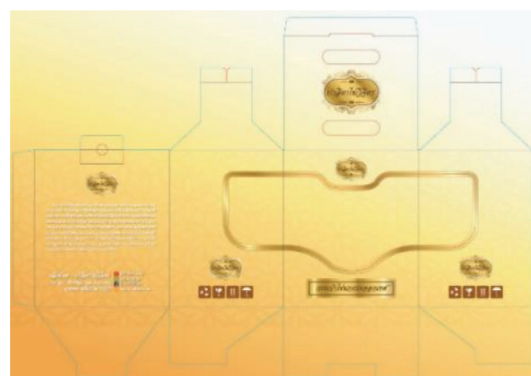
4.3 การออกแบบกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์

รูปแบบที่ 1 ออกแบบให้กราฟิกดูหรูหรา ใช้สีทองเป็นสีหลัก ซึ่งสีทองบ่งบอกถึงคุณค่า รสนิยม ความเจริญรุ่งเรืองสีทองทำให้ทุกสิ่งที่อยู่รอบ ๆ สว่างสดใส ช่วยเพิ่มความอบอุ่นและดึงดูดความน่าสนใจ ลดทลายพื้นหลัง แสดงถึงเอกลักษณ์ของความเป็นไทย ตัวอักษรใช้แบบตัวดปลายพู่กัน



รูปที่ 12 กราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ รูปแบบที่ 1

รูปแบบที่ 2 เป็นการออกแบบกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ โดยใช้การตัดกันของสี ขาว-น้ำตาล ซึ่งสีน้ำตาลให้ความรู้สึกหนักแน่นสมบูรณ์ เชื่อมโยงกับธรรมชาติแวดล้อม และรสนิยมที่ดีในการใช้ชีวิตไปจนถึงความมีสไตล์เส้นขอบช่องหน้าต่างสินค้า ตัดด้วยสีทอง เมื่อมองลอดผ่านช่องทำให้สินค้าดูมีคุณค่า



รูปที่ 13 กราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ รูปแบบที่ 2

รูปแบบที่ 3 เป็นการออกแบบกราฟิกบรรจุภัณฑ์แบบเรียบง่าย สีที่ใช้คือ สีขาว-ทอง จัดวางกราฟิกลดทลายธรรมชาติ ซึ่งเกิดผลิตภัณฑ์กระเป๋จากไข่จากนกกระทาจากเทศที่มีต้นกำเนิดจากธรรมชาติ ใช้การลงเส้นแบบบางเบาด้วยสีทอง ตัวอักษรแบบอ่านง่ายสบายตา



รูปที่ 14 กราฟิคนบนบรรจุภัณฑ์ รูปแบบที่ 3

นำผลการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ทั้ง 3 รูปแบบ ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ประเมิน

ตารางที่ 6 ผลการประเมินความพึงพอใจผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์

รายการ	รูปแบบบรรจุภัณฑ์		
	รูปแบบที่ 1 ($\bar{x}$)	รูปแบบที่ 2 ($\bar{x}$)	รูปแบบที่ 3 ($\bar{x}$)
สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ผู้ใช้	2.33	4.57	3
เปิด-ปิด ใช้งาน สิ้นค้าได้สะดวก	3.67	4	2.33
มีรูปแบบง่ายต่อการใช้งาน	4.33	4.67	4
มีขนาดสัดส่วนเหมาะสม	3.00	4.33	2.67
สามารถเรียงซ้อนและขนส่งได้	3.33	4.33	3.33
นำสินค้าออกมาใช้งานได้สะดวก	2.33	4.67	4
สามารถผลิตในระบบอุตสาหกรรม	3	5	4
รูปแบบสวยงาม ดึงดูดสายตา	4.33	3.33	3
ลดลาย สี สันสวยงาม	2.67	4.67	3.33

ตารางที่ 6 ผลการประเมินความพึงพอใจผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

รายการ	รูปแบบบรรจุภัณฑ์		
	รูปแบบที่ 1 ($\bar{x}$)	รูปแบบที่ 2 ($\bar{x}$)	รูปแบบที่ 3 ($\bar{x}$)
มีความประณีตเรียบร้อย	2.33	4.67	4
บ่งบอกถึงรสนิยมอันดีของผู้ใช้งาน	4.33	4.33	4.33
รวม	3.24	4.42	3.45

พบว่า รูปแบบที่ 2 มีความเหมาะสมที่สุด มีความเหมาะสมในระดับมาก มีค่า ($\bar{x}=4.42$)



รูปที่ 15 ต้นแบบบรรจุภัณฑ์ที่สมบูรณ์

4.4 ผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ต้นแบบ ทำให้ทราบถึงคุณภาพของต้นแบบบรรจุภัณฑ์กระเป๋จากเปลือกไข่นกกระจอกเทศร้านปาไลตาไข่วิจิตร ค่าคะแนนเฉลี่ยผลการประเมินความพึงพอใจ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการประเมินความพึงพอใจ

รายการ	ระดับความพึงพอใจ ของกลุ่มตัวอย่าง		
	$\bar{x}$	SD.	แปล ผล
มีขนาดเหมาะสมกับ การใช้งาน	4.17	0.74	มาก
เปิด-ปิด หยิบใช้งานสินค้า ได้สะดวก	4.01	0.84	มาก
สะดวกในการขนส่งหรือ จัดเก็บ	3.82	0.73	มาก
มีรูปแบบและโครงสร้างที่ เหมาะสม	4.04	0.63	มาก
วัสดุที่ใช้มีความเหมาะสม	4.64	0.71	มาก
ปกป้องคุ้มครองสินค้าได้ เป็นอย่างดี	4.25	0.78	มาก
มีการแสดงข้อมูลสินค้า ครบถ้วน	3.98	0.74	มาก
มีเอกลักษณ์ เหมาะสมกับ ผลิตภัณฑ์	3.86	0.61	มาก
มีขนาดเหมาะสมกับการ ใช้งาน	4.17	0.74	มาก
เปิด-ปิด หยิบใช้งานสินค้า ได้สะดวก	4.01	0.84	มาก
รวม	4.11	0.73	มาก

จากตารางที่ 7 พบว่า ความพึงพอใจของผู้ผลิต ผู้จำหน่ายและผู้บริโภคที่มีต่อต้นแบบบรรจุภัณฑ์กระเป๋จากเปลือกไข่นกกระทาจาก ร้านปาลิตาไข่วิจิตร แสดงความคิดเห็นต่อต้นแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์จากเปลือกไข่นกกระทาที่ได้รับการออกแบบ พบว่า โดยภาพรวม มีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{x}=4.11$) $SD = 0.73$

5. สรุปและอภิปรายผล

สรุปด้านโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ ผลการวัดประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์กระเป๋จากไข่นกกระทา รานปาลิตาไข่วิจิตร 3 รูปแบบ โดยทำการทดสอบความแข็งแรงทั้งหมด 3 ด้าน ได้แก่ 1. ทดสอบความต้านการฉีกขาด 2. ทดสอบความต้านการตกกระแทก 3. ทดสอบความต้านแรงกด ผลปรากฏว่า โครงสร้างบรรจุภัณฑ์ รูปแบบที่ 2 มีความแข็งแรงมากที่สุด โดยการทดสอบความต้านทานการฉีกขาด ผลคือ กล่องกระดาษลูกฟูกและผลิตภัณฑ์ไม่ปรากฏความเสียหาย ทดสอบความต้านการตกกระแทก ผลคือ กล่องกระดาษลูกฟูกและผลิตภัณฑ์ไม่ปรากฏความเสียหายเช่นเดียวกัน ทดสอบความต้านแรงกด ผลคือ กล่องสามารถต้านทานแรงกดได้ 67.3 kgf

สรุปด้านกราฟิกบรรจุภัณฑ์ ผลการประเมินความพึงพอใจด้านกราฟิกบรรจุภัณฑ์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน 1. ความเหมาะสมของกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ของผู้เชี่ยวชาญ ที่มีต่อผลการออกแบบกราฟิก 3 รูปแบบ ผลปรากฏว่ากราฟิกบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2 มีความเหมาะสมที่สุด มีความเหมาะสมในระดับมาก มีค่า ($\bar{x} = 4.42$) 2. ความพึงพอใจต่อต้นแบบบรรจุภัณฑ์ของผู้ผลิต ผู้บริโภค แสดงความคิดเห็นต่อต้นแบบบรรจุภัณฑ์กระเป๋จากเปลือกไข่นกกระทาจาก รานปาลิตาไข่วิจิตร ที่ได้รับการออกแบบ พบว่าโดยภาพรวม มีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{x} = 4.11$)

การอภิปรายผลการออกแบบบรรจุภัณฑ์กระเป๋จากไข่นกกระทา รานปาลิตาไข่วิจิตร โครงสร้างของบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับการออกแบบถือว่าเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมกับการบรรจุสินค้าที่มีมูลค่าสูง มีการคำนวณขนาดของสินค้า และคำนวณรูปร่างของบรรจุภัณฑ์เป็นอย่างดี [3] การออกแบบโครงสร้างหมายถึง การกำหนดลักษณะรูปร่าง รูปทรง ขนาด ปริมาตรส่วน ปริมาณอื่น ๆ ของวัสดุที่จะนำมาผลิตและประกอบเป็นภาชนะบรรจุให้เหมาะสมกับหน้าที่ใช้สอยเพราะมีความสามารถในการปกป้องสินค้าภายในได้เป็นอย่างดี อีกทั้งการทดสอบในห้องปฏิบัติการถือเป็นการจำลองสถานะของการใช้งานจริงได้เป็นอย่างดี การทดสอบการฉีกขาดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เป็นการจำลองการ

สภาพการณ์ขนส่งในระยะทางที่มีการขนส่งต่อเนื่องตลอดเวลา การทดสอบความต้านทานการตกกระแทก ยิ่งตอกย้ำความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ที่สามารถรักษาสภาพของสินค้าภายใน แม้จะตกกระทบพื้น ซึ่งในสถานการณ์จริงเราไม่สามารถคาดเดาได้เลยว่าบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุสินค้าอยู่นั้นจะเกิดสิ่งที่ไม่คาดคิดคือตกจากที่สูงซึ่งเกิดจากระบบการขนส่งที่ไม่ได้คุณภาพ หรือแม้แต่ความผิดพลาดของมนุษย์เอง ทดสอบความต้านแรงกด เป็นการคำนวณหาจำนวนชิ้นในการเรียงซ้อนจริงของกล่องที่บรรจุสินค้า ถือเป็นสิ่งที่บอกว่าบรรจุภัณฑ์สามารถเรียงซ้อนได้ดี ซึ่งบรรจุภัณฑ์กระเป๋าจากไข่นกกระจอกเทศที่ได้รับการออกแบบ สามารถผ่านการทดสอบได้อย่างดี สอดคล้องกับงานวิจัยของด้านกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์มีความสวยงามดูหรูหรา ช่วยส่งเสริมคุณค่าของกระเป๋าจากไข่นกกระจอกเทศได้เป็นอย่างดี [4] บรรจุภัณฑ์เป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ที่ใช้การบรรจุสินค้าในการจัดจำหน่ายเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคด้วยต้นทุนที่เหมาะสม

6. ข้อเสนอแนะ

สินค้าที่มีมูลค่าสูงยิ่งควรมีบรรจุภัณฑ์ที่ดีและได้มาตรฐาน เพราะหน้าที่สำคัญที่สุดของบรรจุภัณฑ์ก็คือการปกป้องสินค้าให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ หากนำต้นแบบบรรจุภัณฑ์จากงานวิจัยไปใช้จริง โดยการผลิตบรรจุภัณฑ์ในระบบอุตสาหกรรม ในระยะแรกผู้ประกอบการอาจจะต้องลงทุนเรื่องการผลิตมาก แต่ในระยะยาวจะช่วยให้ผู้บริโภคมั่นใจถึงคุณภาพของสินค้าภายใน เพราะบรรจุภัณฑ์จะช่วยปกป้องสินค้าภายในให้อยู่ในสภาพดีเสมอ แม้ว่าจะผ่านการขนส่งในสภาพแวดล้อมใดมาแล้วยังทำให้กระเป๋าจากไข่นกกระจอกเทศเป็นผลิตภัณฑ์ที่แตกหักเสียหายได้ง่าย จึงควรออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง ถือว่าการลงทุนที่คุ้มค่าของผู้ประกอบการ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Nuengtawee S, Ostrich egg products crafted by Thai people for increase unemployment income. Processed Agriculture. 3rd ed. 2014; 25: 52-5. (in thai).
- [2] Kirwan, M.J. Handbook of Paper and Paperboard Packaging Technology. 2nd ed. Chichester west sussex: John Wiley & Sons; 2013.
- [3] Tinbud P, Packaging design. Bangkok: O.S printing house; 1987. (in thai).
- [4] Pun, Khongchareonkiat S, Food packaging. Bangkok: Thai Packaging Association; 1998. (in thai).

การออกแบบบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน นครหริภุญไชย

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมหาวัน

ภัทรกร ออแก้ว^{1*}

Pattarakorn2@gmail.com^{1*}

^{1*} หลักสูตรเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

Received	: 06-Oct-2020
Revised	: 28-Oct-2020
Accepted	: 30-Oct-2020

บทคัดย่อ

การออกแบบบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน นครหริภุญไชย กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมหาวัน มีวัตถุประสงค์ 1. เพื่อออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ให้มีความเหมาะสมทั้งในด้านรูปทรง ประโยชน์ใช้สอยและต้นทุนในการผลิต 2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเชิงกลของโครงสร้างในการปกป้องคุ้มครองผลิตภัณฑ์ 3. เพื่อออกแบบกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ให้มีความสวยงาม น่าสนใจ แสดงเอกลักษณ์เฉพาะและ 4. เพื่อประเมินความพึงพอใจ บรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน นครหริภุญไชย ประชากร และกลุ่มตัวอย่างเลือกมา 2 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายพระสกุลลำพูน 10 ท่าน และนักท่องเที่ยวที่มาเดินเลือกบูชาพระสกุลลำพูน บริเวณวัดมหาวัน 100 ท่าน วิธีการเก็บข้อมูลสำรวจพฤติกรรมผู้บริโภค มาออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ 3 รูปแบบ คือ ด้านความต้านทานการสั่นสะเทือน ด้านการต้านการตกกระแทก และด้านการต้านแรงกด รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุน และระยะเวลาการขึ้นรูป ผลคือรูปแบบที่ 3 เหมาะสมมากที่สุด ผลผลิตจากกระดาษคราฟท์ที่ย่อยสลายได้ จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หน้ากล่องมองเห็นสินค้าภายในและพับได้ มีต้นทุนการผลิตและใช้เวลาขึ้นรูปน้อยที่สุด ตราสินค้า ออกแบบโดยประยุกต์ใช้ตัวอักษร และหลักการออกแบบ เพื่อประสิทธิภาพในการสื่อสารให้ชัดเจน อ่านง่าย และสวยงาม น่าสนใจ สื่อถึงพระสกุลลำพูน และวัดมหาวัน โดยลดลายบนบรรจุภัณฑ์ประยุกต์มาจากลายปูนปั้นและลายที่เขียนบนฝาผนังอุโบสถวัดมหาวัน ตัวอักษรที่ใช้สื่อถึงความเป็นภาคเหนือ ใช้การพิมพ์ระบบดิจิทัล 1 สี ใช้สีน้ำตาลเข้ม การออกแบบบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน ครอบคลุม 4 ด้าน คือ การแข่งขันในตลาด ความสามารถเข้ากันได้กับระบบสากล การควบคุมด้านความปลอดภัย และการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสภาพแวดล้อมซึ่งมีผลประเมินความพึงพอใจโดยรวม อยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: การออกแบบบรรจุภัณฑ์ พระสกุลลำพูน กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมหาวัน นครหริภุญไชย การประยุกต์ลดลายทางวัฒนธรรม

Packaging Design for Buddhist Amulet of Lamphun Province by Mahawan Community Enterprise

Pattarakorn Orkarw^{1*}
Pattarakorn2@gmail.com^{1*}

^{1*} Division of Printing and Packaging Technology, Faculty of Art and Architecture, Rajamangala University of Technology Lanna

Received	: 06-Oct-2020
Revised	: 28-Oct-2020
Accepted	: 30-Oct-2020

Abstract

Package design for Buddhist amulet from Mahawan community enterprise, Lamphun province has the following objectives: 1. To design the package structure to have suitable of shape, utility and costs of production, 2. To test the mechanical performance of the structure in product protection, 3. To design graphics to be attractive, remarkable with unique characteristics on the package and 4. To evaluate satisfaction form the package design. The sample were 10 of manufacturers and distributors. For the population, 100 of tourists or anyone who interested in Buddhist amulet of Lamphun province around Mahawan temple, Lamphun were selected. Use consumer behavior collecting survey method to design the package structure of 3 types consist of Anti-vibration, Impact resistance, and pressure resistance, which included cost analysis and the forming period. The result shows that Type No.3 is the most suitable due to the use of kraft paper that can be decomposed naturally therefore the packaging is environmentally friendly. It is foldable box and can be seen the product inside through the front of the box with the least of production cost and time for forming. Moreover, the brand is designed by using letters for the purpose of effective communication, with clear and easy to read that also beautiful and interesting. The graphic was depicting the Buddhist amulet of Lamphun province and Mahawan temple. The applied pattern comes from the stucco and the pattern written on the wall on the chapel of Mahawan temple. Characters that represent the northern region by using dark brown for a color digital printing method. Packaging design of Buddhist amulet of Lamphun province covers 4 areas which are: 1. Market competition, 2. Compatibility with international system, 3. Safety control, and 4. Conservation of natural resources and the environment. Overall satisfaction assessment result is very satisfied.

Keywords: Packaging Design, Buddhist amulet of Lamphun province, Mahawan community enterprise, Cultural Pattern Interpretation

1. บทนำ

จังหวัดลำพูน เดิมชื่อเมืองหริภุญไชย เป็นเมืองโบราณ มีอายุประมาณ 1,343 ปี ตามพงศาวดารโยนกเล่าสืบต่อกันถึงการสร้างเมืองหริภุญไชย โดยฤๅษีชาวสุเทพเป็นผู้เกณฑ์กลุ่มเม็งคบุตร หรือชนเชื้อชาติมอญมาสร้างเมืองนี้ขึ้น ในพื้นที่ระหว่างแม่น้ำสองสาย คือ แม่น้ำกวง แม่น้ำปิง เมื่อมาสร้างเสร็จได้ส่งทูตไปเชิญ ราชธิดา กษัตริย์เมืองละโว้พระนาม “พระนางจามเทวี” มาเป็นปฐมกษัตริย์ปกครองเมืองหริภุญไชย สืบราชวงศ์กษัตริย์ต่อมาหลายพระองค์ จนกระทั่งถึงสมัยพระยาธิบัยจึงได้เสียการปกครองให้แก่พ่อขุนเม็งรายมหาราช ผู้รวบรวมแคว้นทางเหนือเข้าเป็นอาณาจักรล้านนา เมืองลำพูนถึงแม้ว่าจะตกอยู่ภายใต้การปกครองของอาณาจักรล้านนา แต่ก็ได้เป็นผู้ถ่ายทอดมรดกทางศิลปะและวัฒนธรรมให้แก่ผู้ที่เข้ามาปกครอง ดังปรากฏหลักฐานทั่วไปในเวียงกุมกาม เชียงใหม่และเชียงราย

เมืองลำพูนจึงยังคงความสำคัญในทางศิลปะและวัฒนธรรมของอาณาจักรล้านนา จนกระทั่งสมัยสมเด็จพระเจ้าตากสินมหาราช เมืองลำพูนจึงได้เข้ามาอยู่ในราชอาณาจักรไทย มีผู้ครองนครสืบต่อกันมาจนถึงสมัยกรุงรัตนโกสินทร์ ต่อมาภายหลังการเปลี่ยนแปลงการปกครอง พ.ศ. 2475 เมื่อเจ้าผู้ครองนครองค์สุดท้ายคือ พลตรีเจ้าจักรคำ ขจรศักดิ์ ถึงแก่พิราลัย เมืองลำพูนจึงเปลี่ยนเป็นจังหวัด มีผู้ว่าราชการจังหวัดเป็นผู้ปกครองสืบมาจนกระทั่งถึงปัจจุบัน

ความเชื่อเรื่องวัตถุมงคลหรือเครื่องรางของขลัง เป็นสิ่งที่อยู่คู่คนไทยมาช้านานนับหลายร้อยปี ถูกเปรียบดังที่พึ่งพาทางใจของมนุษย์ในทุกยุคทุกสมัย คนที่มีความเชื่อก็พร้อมที่จะสรรหาวัตถุมงคลเพื่อมาบูชาให้จิตใจได้มีที่ยึดเหนี่ยว ในจังหวัดลำพูน ผู้คนให้ความเคารพบูชาในพระสกุลลำพูน ซึ่งพระสกุลลำพูน นครหริภุญไชย ส่วนมากจะเป็นพระเนื้อดินเผาผสมว่านร้อยแปดและผงแร่ธาตุ เนื้อดินมาจากใจกลางเมืองและมุมเมืองที่สำคัญ สร้างในสมัยเจ้าแม่จามเทวีที่ครองเมืองยุคแรกๆ เพื่อเป็นคติที่จะสร้างความร่มเย็นและมั่นคงแก่นคร พระลำพูนเนื้อที่ละเอียดที่สุดคือเนื้อพระรอด เพราะสร้างขึ้นด้วยดินผสมว่าน ส่วนมาก

เป็นดินดาน (สีเหลืองอ่อน มีกลิ่นหอม) เนื้อละเอียดมาก มีความแข็งแกร่งสูงเพราะเผาจนเจ็ดวันเจ็ดคืน เนื้อจึงแกร่งมาก พระคง พระบาง พระเลียง จะมีส่วนของว่าน และแร่ดอกมะขามผสมอยู่ จึงมีสีแสดแดง กระจายไปทั่วเนื้อพระ ให้เห็นได้ชัดว่า เนื้อเนียน แร่ไม่ลอย สำหรับพระลือ จะพบว่ามีความแกร่งเพิ่มขึ้นไปอีกเพราะจะเน้นด้านอิทธิฤทธิ์ จึงหยาบกว่าพิมพ์อื่น แต่สำหรับพิมพ์ที่เนื้อหยาบที่สุดคือ พระลบ ซึ่งมีส่วนผสมของว่านสกุเล็ด และแร่พลอยทับทิม ซึ่งเมื่อเอียงดูด้วยกล้องขยายและทำมุมแสงให้ดี [1] จะพบว่ามีความแกร่งกับทิม และแร่ทรายเงิน ทรายทองปรากฏเด่นชัด และเนื้อจะเป็นสีแดงด้วยสีของว่าน โดยพระเครื่องเหล่านี้ เป็นสัญลักษณ์แทนพระพุทธเจ้าและสร้างจากสิ่งที่เป็นมงคล ผู้ที่เคารพกราบไหว้และปฏิบัติตามคำสอน ย่อมเกิดสิริมงคล น้อมรำลึกถึง พระพุทธคุณสืบต่อไป

ปัจจุบัน พระสกุลลำพูน นครหริภุญไชย ถูกนำมาสร้างใหม่โดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนหมากวัน ทะเบียนเลขที่ 6-51-01-01/1-002 ตั้งอยู่ใน ตำบลในเมือง อำเภอเมืองลำพูน จังหวัดลำพูน เพื่อให้ประชาชนในจังหวัดลำพูน และจังหวัดใกล้เคียงได้บูชา เพื่อความเป็นสิริมงคล และยังนิยมบูชาไปเป็นของฝากแก่ญาติผู้ใหญ่ และคนในครอบครัว เพราะมีตำนานเล่าสืบต่อกันมาถึงอิทธิฤทธิ์ และพุทธคุณ ว่าพระมีส่วนที่ทำให้เกิดอิทธิฤทธิ์ เช่น พระคงจะเด่นด้านคงกระพัน พระบาง ซึ่งละเอียดกว่าจะเด่นเรื่องเมตตา โชคลาภ พระเลียงจะเด่นเรื่องพ้นจากภัยพิบัติต่างๆ พระลบ จะเด่นเรื่องคงกระพันและล้างสิ่งชั่วร้าย พระลือ เด่นด้านการปกครองและอำนาจ สำหรับพระรอด จะเด่นเรื่องคลาดแคล้วจากภัยอันตรายทั้งปวงและโชคลาภ จึงเป็นที่นิยมในการบูชาโดยเฉพาะจากวัดมหาวันจังหวัดลำพูน ส่วนใหญ่นักท่องเที่ยวที่มาจากจังหวัดลำพูน ที่มีความเลื่อมใสศรัทธาในพระพุทธศาสนา และมีความเชื่อพุทธคุณของพระสกุลลำพูน [2] บูชาไปเป็นของฝาก พระสกุลลำพูนนั้นมีชื่อเสียงมากอยู่แล้วแต่ปัจจุบันยังขาดบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมที่จะปกป้องคุ้มครองพระไม่ให้เกิดความเสียหาย จากบรรยากาศ สภาพการขนส่ง การปนเปื้อน ในระหว่างการขนส่งจากผู้ผลิตไปสู่มือผู้บริโภค และยังขาดความบรรจุภัณฑ์ที่สวยงาม ที่จะดึงดูด

ความสนใจ และช่วยชักจูงในการซื้อสินค้า บรรจุภัณฑ์ จะทำหน้าที่แนะนำผลิตภัณฑ์ที่ถูกบรรจุอยู่ให้กับผู้บริโภคด้วย จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับพระสกุลลำพูน ให้สามารถปกป้องคุ้มครองสินค้า และมีกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ที่สวยงาม สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับตัวผลิตภัณฑ์ เหมาะแก่การบูชาสืบสานความเป็นมาและเป็นของผาก

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบโครงสร้างแบบบรรจุภัณฑ์ให้มีความเหมาะสมทั้งในด้านรูปทรง ประโยชน์ใช้สอยและต้นทุนในการผลิตของพระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา

2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเชิงกลของโครงสร้าง ในการปกป้องคุ้มครองต่อบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา

2.3 เพื่อออกแบบกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ให้มีความสวยงาม น่าสนใจ แสดงเอกลักษณ์เฉพาะ

2.4 เพื่อประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา

3. กรอบแนวคิดของการวิจัย

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ ลวดลาย วัสดุบรรจุภัณฑ์ พระสกุลลำพูน โดยใช้กรอบแนวคิดด้านปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบ [3] ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

3.1 ปัจจัยภายในงานออกแบบ เป็นปัจจัยเบื้องต้นทำหน้าที่กำหนด และให้ขอบเขตแก่งานออกแบบ ไม่ว่าจะเป็นงาน 2 และ 3 มิติ ประเภทใด ๆ ก็ตาม โดยงานออกแบบนั้นเกิดขึ้นจากการนำวัสดุชนิดต่างๆ มาผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปที่เหมาะสมและเป็นไปได้จริงในเวลานั้น เพื่อให้เกิดรูปทรงใหม่ ซึ่งสามารถตอบสนองประโยชน์ตามหน้าที่ใช้สอยได้เป็นอย่างดี ปัจจัยจากภายในทั้ง 3 ประการ คือ วัสดุและกรรมวิธีการผลิต ประโยชน์ใช้สอย และรูปทรงต่างมีความสำคัญและเกี่ยวข้องสัมพันธ์โดยนักออกแบบเป็นผู้ทำหน้าที่ประสานความสัมพันธ์ระหว่างกันให้เกิดความเหมาะสมสูงสุด

3.2 ปัจจัยจากภายนอกงานออกแบบ คือ ประเด็นปัญหาในสังคมของงานออกแบบก็มีอิทธิพลในการกำหนดหรือให้ขอบเขตแก่งานออกแบบ งานออกแบบชนิดใหม่ที่เกิดขึ้น นักออกแบบจำเป็นต้องศึกษาปัจจัยแวดล้อมที่มีผลกระทบซึ่งกันและกัน เพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกันกับสิ่งที่มี และเป็นอยู่เดิมได้เป็นอย่างดีปัจจัยภายนอกที่มีความสำคัญต่องานออกแบบสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ด้าน คือ การแข่งขันในตลาด ความสามารถเข้ากันได้กับระบบสากล การควบคุมด้านความปลอดภัย และการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสภาพแวดล้อม

4. ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยเรื่อง “การออกแบบบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา” แบ่งขั้นตอนการวิจัย ออกเป็น 4 ขั้นตอน

4.1 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ ผู้วิจัยทำการศึกษาจากตำรา เอกสารงานวิจัย และบทความด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ พร้อมกับลงพื้นที่เก็บข้อมูลพื้นฐานของการผลิต จำหน่าย และบรรจุภัณฑ์เดิม จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนมหาวัน ตั้งอยู่ภายในวัดมหาวัน (มหาวันนาราม) เลขที่ 52 ถนนจามเทวี ตำบลในเมือง อำเภอเมืองลำพูน เพื่อเก็บข้อมูล และความคิดเห็น จากประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ซึ่งได้แก่ ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายพระสกุลลำพูน จำนวน 10 ท่าน และนักท่องเที่ยววัดมหาวัน และที่มาเลือกบูชาพระสกุลลำพูน บริเวณวัดมหาวัน จำนวน 100 ท่าน โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) เพื่อให้ทราบถึงความต้องการบรรจุภัณฑ์

4.2 ขั้นตอนการทดสอบความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้ทราบถึงความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ ได้นำโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ ทำการทดสอบตามระบบอุตสาหกรรมและมาตรฐานขนส่ง ดังนี้

4.2.1 ทดความต้านการสั่นสะเทือน

4.2.2 ทดความต้านการตกกระแทก

โดยใช้วิธีทดสอบ ดังนี้

- Inter Safe Transit Association; Test Procedure-2A Resource Book 2018

- Fixed Displacement Vibration test

- Drop Test

Compressive Resistance of Shipping Containers, Components, and Unit Loads

ทำการทดสอบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา โดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย (ห้องปฏิบัติการทดสอบบรรจุภัณฑ์) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เพื่อนำผลมาวิเคราะห์ และสรุปผล

4.3 ขั้นตอนการออกแบบกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ สอบถามความคิดเห็นจากประชากร ได้แก่ ผู้ผลิตพระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา จำนวน 10 คน กลุ่มตัวอย่าง คือ ที่นักท่องเที่ยวนักท่องเที่ยวบริเวณวัดมหาวัน จำนวน 100 ท่าน เครื่องมือในการวิจัยคือ แบบสอบถามข้อมูลเบื้องต้นด้วยคำถามแบบตรวจสอบ (Check List) และการสัมภาษณ์ด้วยคำถามแบบปลายเปิด เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ เมื่อได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจึงนำไปสู่การออกแบบกราฟิก จำนวน 3 รูปแบบ ประเมินผลการออกแบบให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ จำนวน 3 ท่าน ใช้แบบสอบถามแบบมาตราส่วน (Rating Scale) ด้วยคำถามแบบเรียงลำดับ ประกอบแบบจำลอง (Mockup) พร้อมข้อเสนอแนะ โดยใช้สูตรคำนวณ เป็นค่าคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจ ($\bar{X}$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และแปรผลด้วยการบรรยาย

4.4 ขั้นตอนประเมินความพึงพอใจที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ต้นแบบ ผู้วิจัยนำผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้ผลิต ผู้จำหน่าย พระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา จำนวน 10 ท่าน และนักท่องเที่ยว จำนวน 100 ท่าน ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย มาทำการวิเคราะห์ โดยคำนวณ เป็นค่าคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจ ($\bar{X}$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

5. ผลการวิจัย

5.1 การออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ โดยส่วนใหญ่มีการเข้าไปเพื่อเป็นของฝาก พกพาติดรถหรือบูชาในที่พักอาศัย สาเหตุของการเข้าไปบูชาเกิดจากความเชื่อศรัทธา และความนิยมของแต่ละบุคคล โดยปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการเข้าบูชาอย่างมากคือคุณสมบัติของพระสกุลลำพูนด้านพุทธศิลป์ และพุทธคุณ เมื่อมีเหตุการณ์ต่าง ๆ เกิดขึ้น หรือมีปัญหาอุปสรรคในการดำเนินชีวิต อ้างอิงการสัมภาษณ์ วัสดุที่นำมาขึ้นรูปเป็นโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ พระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา เป็นกล่องพับได้ หรือ Folding Carton เป็นกล่องที่ทำจากแผ่นกระดาษ ซึ่งสามารถถูกตัดและพับรอย สำหรับขึ้นรูปได้เป็นรูปทรงที่ออกแบบไว้ [4] เป็นกระดาษคราฟท์ ด้วยคุณลักษณะของกระดาษคราฟท์ เป็นกระดาษที่มีความเหนียวและแข็งแรงกว่ากระดาษธรรมดา สามารถป้องกันแรงอัดและการที่มดแทงจากการกระทบกระแทกจากภายนอกได้เป็นอย่างดี ด้านทานการเปียกน้ำ การเปื้อนน้ำมัน การเสียดสี มีน้ำหนักกระดาษมีความหนา และมีความเรียบสม่ำเสมอ สามารถติดกาวได้ดี เหมาะสำหรับการพิมพ์ สามารถนำมาแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์และภาชนะหีบห่อได้อย่างเหมาะสม ทั้งด้านการผลิต การบรรจุและการขนส่ง [5] นอกจากนี้ยังสามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้เป็นวัตถุดิบ ในการผลิตกระดาษได้อีก ช่วยลดปัญหามลพิษด้านสภาวะแวดล้อมได้ เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้กันมากในวงการอุตสาหกรรม

ผิวสัมผัสของกระดาษคราฟท์สามารถสื่อถึงความเป็นธรรมชาติ นอกจากนี้เฉดสีน้ำตาลของกระดาษคราฟท์ยังสร้างเอกลักษณ์ให้กับบรรจุภัณฑ์และสื่อถึงความเรียบง่ายได้อย่างชัดเจน อีกทั้งบรรจุภัณฑ์ยังต้องคำนึงถึงการย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การใช้กระดาษคราฟท์เป็นเยื่อจากธรรมชาติเองสามารถที่จะถูกย่อยสลายด้วยตัวเอง

โครงสร้างรูปแบบที่ 1

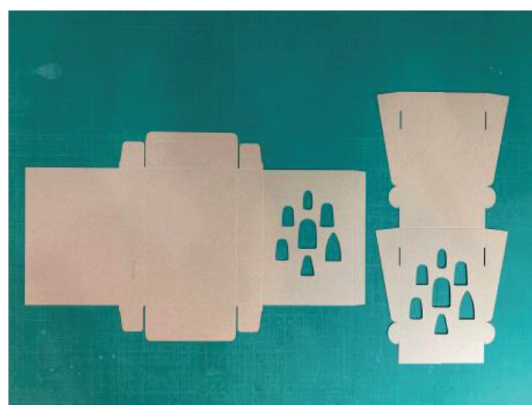
มิติโดยรวมเมื่อขึ้นรูปมีขนาด กว้าง 4 เซนติเมตร ยาว 14 เซนติเมตร สูง 23 เซนติเมตร ใช้พื้นที่กระดาษ ในการผลิตโครงสร้างทั้งภายในและภายนอก รวม กว้าง 48 เซนติเมตร ยาว 57 เซนติเมตร คำนวณต้นทุน การผลิต (จำนวนชิ้นต่ำ 1,000 ชิ้น) ราคา 15.75 บาท ต่อ 1 ชุด (ไม่รวมงานพิมพ์) ใช้ระยะการขึ้นรูปเฉลี่ย 2.24 นาที ต่อ 1 ชุด ดังภาพรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 Pattern บรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน
แบบที่ 1

โครงสร้างรูปแบบที่ 2

มิติโดยรวมเมื่อขึ้นรูป มีขนาด กว้าง 4.5 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตร สูง 21 เซนติเมตร ใช้พื้นที่ กระดาษในการผลิตโครงสร้างทั้งภายในและภายนอก รวม กว้าง 52 เซนติเมตร ยาว 54 เซนติเมตร คำนวณ ต้นทุนการผลิต (จำนวนชิ้นต่ำ 1,000 ชิ้น) ราคา 12.25 บาท ต่อ 1 ชุด (ไม่รวมงานพิมพ์) ใช้ระยะการขึ้นรูปเฉลี่ย 3.07 นาที ต่อ 1 ชุด ดังภาพรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 Pattern บรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน
แบบที่ 2



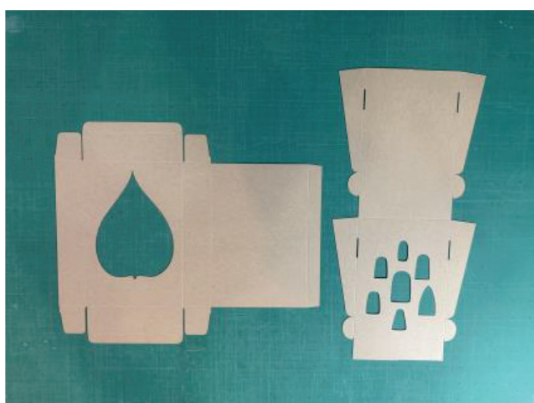
รูปที่ 2 โครงสร้างบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน
แบบที่ 1



รูปที่ 4 โครงสร้างบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน
แบบที่ 2

โครงสร้างรูปแบบที่ 3

มิติโดยรวมเมื่อขึ้นรูป มีขนาด กว้าง 4 เซนติเมตร ยาว 14 เซนติเมตร สูง 21 เซนติเมตร ใช้พื้นที่กระดาษในการผลิตโครงสร้างทั้งภายในและภายนอก รวม กว้าง 45 เซนติเมตร ยาว 52 เซนติเมตร คำนวณต้นทุนการผลิต (จำนวนชิ้นต่ำ 1,000 ชิ้น) ราคา 8.50 บาท ต่อ 1 ชุด (ไม่รวมงานพิมพ์) ใช้ระยะการขึ้นรูปเฉลี่ย 1.53 นาที ต่อ 1 ชุด ดังภาพรูปที่ 5 และ 6



รูปที่ 5 Pattern บรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน แบบที่ 3



รูปที่ 6 โครงสร้างบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน แบบที่ 3

5.2 การทดสอบความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ การทดสอบด้านการฉีกฉีกฉีก สภาวะการทดสอบที่ สภาวะการทดลองอุณหภูมิ $(34 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $(65 \pm 5) \%$ ทดสอบด้วยความถี่ 240 รอบต่อนาที ระยะการฉีก 25 มิลลิเมตร ระยะเวลาทดสอบ 1 ชั่วโมง ได้ผลทดสอบการความต้านทานการฉีกฉีกฉีก ตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการฉีกฉีกฉีกของโครงสร้างบรรจุภัณฑ์

รูปแบบบรรจุภัณฑ์	ความความต้านทานการฉีกฉีกฉีก
โครงสร้างบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1	กล่องกระดาษไม่ปรากฏความเสียหายแต่ฟิล์มห่อหุ้มสินค้าฉีก
โครงสร้างบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2	กล่องกระดาษไม่ปรากฏความเสียหาย
โครงสร้างบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 3	กล่องกระดาษไม่ปรากฏความเสียหายแต่ฟิล์มห่อหุ้มสินค้าฉีก

5.3 การทดสอบด้านการตกกระแทก สภาวะการทดสอบที่สภาวะการทดลองอุณหภูมิ $(34 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $(65 \pm 5) \%$ ความสูงในการตกกระแทก 760 มิลลิเมตร ด้วยความสูง 760 มม. จำนวน 10 ครั้ง/ชิ้น ตำแหน่งของการตก คือ 1 มุม 3 ขอบ 6 ด้าน ได้ผลทดสอบการด้านการตกกระแทก ตามตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความต้านการตกกระแทก

รูปแบบบรรจุภัณฑ์	ความต้านการตกกระแทก
โครงสร้างบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1	กล่องกระดาษและสินค้าแตก ไม่ปรากฏความเสียหาย
โครงสร้างบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2	กล่องกระดาษและสินค้าแตก ไม่ปรากฏความเสียหาย
โครงสร้างบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 3	กล่องกระดาษและสินค้า ไม่ปรากฏความเสียหาย

5.4 การทดสอบความต้านแรงกด ทำการทดสอบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ ด้วยเครื่อง Compression Test เพื่อหาค่าเฉลี่ยของความต้านแรงกด อัตราเร็วในการทดสอบ คือ 12.7 มิลลิเมตรต่อวินาที จำนวนชิ้นในการทดสอบ รูปแบบละ 5 ชิ้น ชนิดกล่อง Die-cut ไม่มีการพิมพ์บนบรรจุภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ [6] ทำการทดสอบการปล่อยขึ้นกล่องตัวอย่างที่มีโครงสร้างทรงทอที่หลากหลายตกกระทบพื้น

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความต้านแรงกด

รูปแบบบรรจุภัณฑ์	load Maximum Load (Kgf)	extension at Maximum Load (mm)
โครงสร้างบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1	19.7	3.1
โครงสร้างบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2	22.5	3.6
โครงสร้างบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 3	20.2	3.4

5.5 การออกแบบกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ เริ่มต้นจากการออกแบบตราสินค้า (Logo) โดยใช้ชื่อแบรนด์ “วิสาหกิจชุมชนหาววัน” ออกแบบโดยนำหลักการ Typography คือเทคนิค และศิลปะในการประยุกต์ใช้ตัวอักษร และหลักการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารให้มีความชัดเจน อ่านง่าย และมีความสวยงาม น่าสนใจ นอกจากนั้นแล้วยังมีสำคัญมากในการออกแบบ เพราะจะช่วยส่งผลต่อ Mood & Tone ของงานได้เป็นอย่างดีมากขึ้น การออกแบบ Typography สามารถดึงดูดสายตาของกลุ่มเป้าหมายได้ดี ทำให้เกิดการจดจำได้ง่าย ดังนั้นการเลือกรูปแบบตัวอักษร การประยุกต์ใช้ การใส่ลูกเล่นจึงมีความสำคัญอย่างมาก ดังที่ปรากฏในรูปที่ 7-10



รูปที่ 7 Sketch Design ตราสินค้าที่เน้นเทคนิค Typography เป็นหลัก

การออกแบบกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ รูปแบบ
ที่ 1



รูปที่ 8 กราฟิกบรรจุภัณฑ์ แบบที่ 1
ที่ให้ความสำคัญในด้านการมองเห็น
ผลิตภัณฑ์ภายในเด่นชัด



รูปที่ 9 กราฟิกบรรจุภัณฑ์ แบบที่ 2 ที่ให้
ความสำคัญในด้านของแหล่งที่มา
ของพระวัดมหาวน



รูปที่ 10 กราฟิกบรรจุภัณฑ์ แบบที่ 3
ให้ความสำคัญในนาลวดลายของลำนนา

นำผลการกราฟิกบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 รูปแบบ
ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ประเมิน

ตารางที่ 4 ผลการประเมินกราฟิกของผู้เชี่ยวชาญ

รายการ	รูปแบบบรรจุภัณฑ์		
	รูปแบบ ที่ 1 ($\bar{x}$)	รูปแบบ ที่ 2 ($\bar{x}$)	รูปแบบ ที่ 3 ($\bar{x}$)
ตัวอักษรมีความ เหมาะสม	2.67	3.33	4.67
ลวดลายและภาพ ประกอบมีความ เหมาะสม	4	3.67	4
การจัดวางองค์ ประกอบมีความ เหมาะสม	3	3.33	4.33
กราฟิกสามารถสื่อ ความหมายได้อย่าง ชัดเจน	2.67	3	4.33
มีความสวยงาม ดึงดูดสายตา	4.33	4	4.67
เพิ่มมูลค่าให้กับ ผลิตภัณฑ์	2.67	4	5
ลวดลาย สี สัน สวยงาม	3.67	3.33	4.33
รวม	3.28	3.52	4.47

5.6 ประเมินความพึงพอใจที่มีต่อบรรจุภัณฑ์
ต้นแบบ จะทำให้ทราบถึงคุณภาพโดยรวม ทั้งโครงสร้าง
และกราฟิกของต้นแบบบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน
นครหรือญไชย กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมหาวน ตามตาราง
ที่ 5 ด้วยประเด็นการประเมิน 7 ด้าน ตามนี้

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจ

รายการ	รูปแบบบรรจุภัณฑ์		
	($\bar{x}$)	SD.	แปลผล
ความเหมาะสมของลักษณะโครงสร้างบรรจุภัณฑ์	4.65	0.47	มากที่สุด
ความเหมาะสมของกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์	4.15	0.36	มาก
ความเหมาะสมของสีที่ใช้	4.46	0.50	มาก
ความน่าสนใจของรูปแบบโดยรวมของบรรจุภัณฑ์	4.54	0.50	มากที่สุด
การสื่อถึงเอกลักษณ์ของจังหวัดลำพูน	3.50	0.50	มาก
บรรจุภัณฑ์สามารถนำเสนอข้อมูลครบและชัดเจน	3.62	0.48	มาก
ความเป็นไปได้ในการผลิตในระบบอุตสาหกรรม	4.62	0.48	มากที่สุด
รวม	4.22	0.47	มาก

6. สรุป

โครงสร้างบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา ใช้กระดาษคราฟ ด้วยคุณลักษณะของกระดาษคราฟที่ดีกว่ากระดาษฟอกขาวหลายประการ อีกทั้งยังสื่อถึงความเป็นงานคราฟท์อีกด้วย น้ำหนักของกระดาษ ที่เหมาะสมที่สุดคือ 360 แกรม ผลการวัดประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ พระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา 3 รูปแบบ โดยทำการทดสอบความแข็งแรงทั้งหมด 3 ด้าน ได้แก่ 1. ทดสอบความต้านทานการฉีกฉีกฉีก 2. ทดสอบความต้านทานการตกกระแทกและ 3. ทดสอบความต้านแรงกด ได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตและหาเวลาเฉลี่ยของการขึ้นรูปโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 แบบ

ผลปรากฏว่าโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ รูปแบบที่ 2 มีความแข็งแรงมากที่สุด รูปแบบที่ 3 มีความแข็งแรงรองลงมา รูปแบบที่ 1 มีความแข็งแรงน้อยที่สุด โดยทดสอบความต้านทานการฉีกฉีกฉีก ผลคือ กล่องกระดาษไม่ปรากฏความเสียหาย ทดสอบความต้านทานการตกกระแทก ผลคือ รูปแบบที่ 3 ได้ผลการทดสอบดีที่สุด กล่องกระดาษและสินค้าไม่ปรากฏความเสียหาย ทดสอบความต้านแรงกด ผลคือ รูปแบบที่ 2 สามารถต้านทานแรงกดได้ 67.3 กิโลกรัมแรง ด้านต้นทุนการผลิต (จำนวนชิ้นต่ำ 1,000 ชิ้น) โครงสร้างบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 3 มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด ราคา 8.50 บาท ต่อ 1 ชุด และบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 3 ยังใช้ระยะเวลาขึ้นรูปน้อยที่สุด เฉลี่ย 1.53 นาที ต่อ 1 ชุด

กราฟิกบรรจุภัณฑ์ ออกแบบตราสินค้า (Logo) โดยใช้ชื่อแบรนด์ “วิสาหกิจชุมชนหมหวาน” ออกแบบโดยหลักการ Typography สามารถสื่อสารให้มีความชัดเจน อ่านง่าย และมีความสวยงาม น่าสนใจ ผลการประเมินความพึงพอใจด้านกราฟิกบรรจุภัณฑ์บนบรรจุภัณฑ์ของผู้เชี่ยวชาญ ผลปรากฏว่ากราฟิกบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 3 มีความเหมาะสมที่สุด มีความเหมาะสมในระดับมาก มีค่า ($\bar{x} = 4.47$) ในกระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ผู้วิจัยต้องอาศัยความรู้และข้อมูลจากหลายด้าน และอาศัยความช่วยเหลือจากผู้ชำนาญการหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

ความพึงพอใจที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ต้นแบบ จะทำให้ทราบถึงคุณภาพโดยรวม ทั้งโครงสร้างและกราฟิกของต้นแบบบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา กลุ่มวิสาหกิจชุมชนหมหวาน ของกลุ่มผู้ผลิตผู้จำหน่าย พระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา จำนวน 10 ท่าน และนักท่องเที่ยว จำนวน 100 ท่าน พบว่าโดยภาพรวมมีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{x} = 4.22$)

7. อภิปรายผล

การออกแบบบรรจุภัณฑ์ พระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา โครงสร้างของบรรจุภัณฑ์ที่ได้ออกแบบถือว่าเป็นโครงสร้างที่เหมาะสม เป็นกล่องแบบพับได้ จะถูกขนย้ายไปยังผู้บรรจุในรูปแบบของการพับให้แบน การทำให้กล่องแบนได้ของกล่องพับได้ก่อนการใช้

งานถือเป็นการใช้งานอรรถประโยชน์ที่สำคัญเชิงของการประหยัดพื้นที่ขณะขนย้ายและการเก็บรักษา และเป็นจุดที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างกล่องพับได้และกล่องคงรูป [7] ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่โครงสร้างที่มีความแข็งแรงมากที่สุด แต่เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิต และระยะเวลาการขึ้นรูปแบบ ถือว่าเหมาะสมมากที่สุด ส่วนกราฟิกของบรรจุภัณฑ์ ได้นำอัตลักษณ์ของพระสกุลลำพูน และลวดลายที่ปรากฏอยู่ในบริเวณวัดมहांวัน ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของพระสกุลลำพูน มาใช้ประกอบในการออกแบบ บนบรรจุภัณฑ์ยังมีข้อมูลที่สำคัญระบุไว้อย่างครบถ้วน การพิมพ์ด้วยสีเดียวก็ไม่ทำให้บรรจุภัณฑ์ดูด้อยค่าลง และยังสามารถลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย ความพึงพอใจของบรรจุภัณฑ์พระสกุลลำพูนที่ได้ออกแบบนั้น ขึ้นอยู่กับรสนิยมของแต่ละบุคคล [8] ซึ่ง อายุ อาชีพ รายได้ และการศึกษาที่ต่างกันมีความพึงพอใจในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน

8. ข้อเสนอแนะ

พระสกุลลำพูน นครศรีอยุธยา มิได้เป็นสินค้าเฉพาะของวัดมहांวัน การที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมहांวันได้สร้างพระสกุลลำพูนขึ้นมาใหม่นั้น ผู้บริโภคจะนึกถึงจังหวัดลำพูนซึ่งเป็นต้นกำเนิด ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงเอกลักษณ์ท้องถิ่นของจังหวัดลำพูน ที่มาของพระเครื่อง เจาะจงลึกลงไปเฉพาะที่ในเขตชุมชนของวัดต้นกำเนิด และบริเวณใกล้เคียงนี้ โดยผู้วิจัยอาจจะค้นพบเอกลักษณ์ของสินค้าในพื้นที่เพื่อพัฒนาให้เกิดเป็นแนวทางใหม่จากผู้วิจัยเองเพื่อนำมาใช้พัฒนาการออกแบบสร้างภาพลักษณ์ใหม่ได้ดีกว่าเดิม

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sengpracha N. The study impact of amulet markets to society, religion and economy. [master's thesis]. Faculty of Humanities and Social Sciences; 1996. (in Thai)
- [2] Jantane A. Thai amulets economy. Buddhist Management Program [master's thesis]. Mahachulalongkornrajavidyalaya University; 2016. (in Thai)
- [3] Boonvong N. Design principles. Bangkok: Chulalongkorn University; 1996. (in Thai)
- [4] Obolewicz P. Carton, Folding. In the Wiley Encyclopedia of Packaging Technology, Kit L edited. 3 rd ed. Hoboken Nj: John Wiley & Sons; 2009.
- [5] Horvichit T. Research of ASEAN free trade area impact on Kraft paper industry; 2003. (in Thai)
- [6] Jiang, D.S., Fu, C.Y. Study on different folding carton damaged in drop condition. Applied Mechanics and Materials. 2014; 469: 221-4.
- [7] Kirwan M.J. Handbook of Paper and Paper-board Packaging Technology. 2nd ed. Chichester west sussex: John Wiley & Sons; 2013.
- [8] Limanondamrong N. Behavior of customer exposure and satisfaction with the public relations media of Siam Commercial Bank Public Company Limited [master's thesis]. Udon Thani: Udon Thani Rajabhat University; 2010.

เครื่องผสมยางมะตอยกับน้ำยางพารา เพื่อใช้ในห้วงปฏิบัติการวิศวกรรมการทาง

สมศักดิ์ เอื้ออักษณาสัย¹ และอังคณา พันธุ์หล่อ^{2*}
somsak.a@rsu.ac.th¹, ankana.p@rsu.ac.th^{2*}

^{1, 2*} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

Received : 04-Sep-2019
Revised : 17-Jul-2020
Accepted : 30-Jul-2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องผสมวัสดุขนาดเล็กเพื่อใช้ในห้วงปฏิบัติการวิศวกรรมการทาง ซึ่งสามารถผสมน้ำยางมะตอยชนิดอิมัลชันกับน้ำยางพาราได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเริ่มจากการออกแบบเชิงความคิดในรูปแบบที่ต่างกัน 3 แบบ แล้วนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ความเหมาะสมในการจัดสร้าง โดยประเมินผลเป็นคะแนน เพื่อคัดเลือกรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นจึงดำเนินการสร้างเครื่องผสม ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักคือ ถังใส่ส่วนผสม เครื่องผสม ใบพัดกวนส่วนผสมและขาตั้ง จากนั้นจึงทดสอบหาแบบการผสมที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ตัวชี้วัดคือคุณสมบัติของวัสดุผสมในรูปของค่าความหนืดเชย์โบลต์ ค่าความยืดดึง และค่าระยะการจมตัวของเข็มมาตรฐาน พบว่าควรผสมวัสดุโดยใช้ความเร็วรอบของการผสมเท่ากับ 218 รอบต่อนาที ใช้ใบกวนแบบตะขอ และใช้เวลาในการผสมนาน 7 นาที ทั้งนี้วัสดุผสมที่ได้มีค่าความหนืดเชย์โบลต์เฉลี่ยเท่ากับ 20.40 วินาที ค่าความยืดดึงเท่ากับ 150 ซม. และค่าระยะการจมตัวของเข็มมาตรฐานเท่ากับ 55.92 หน่วย ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง (ทล.-ก.405/2538) นอกจากนี้ยังทดสอบวัสดุผสมโดยการผสมแบบปกติที่ไม่ใช้เครื่องผสม แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับวัสดุผสมที่ได้จากเครื่องผสม พบว่าการผสมโดยใช้เครื่องผสมให้วัสดุผสมที่มีความแข็งแรงมากกว่า จากผลการวิจัยสรุปว่าเครื่องผสมมีประสิทธิภาพที่ดีเพราะสามารถลดเวลาในการผสมได้ถึง 41 % เมื่อเทียบกับการผสมโดยไม่ใช้เครื่องผสม ช่วยประหยัดวัสดุที่ใช้ในการผสม สร้างสะดวกสบายในการใช้งานและมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน

คำสำคัญ: เครื่องผสมขนาดเล็ก ยางมะตอยชนิดอิมัลชัน น้ำยางพารา ประสิทธิภาพของเครื่องผสม

Asphalt and Concentrated Rubber Latex Mixing Machine for Highway Engineering Laboratory Testing

Somsak Aueatchaisai¹ and Ankana Punlor^{2*}
somsak@rsu.ac.th¹, ankana.p@rsu.ac.th^{2*}

^{1, 2*} Department of Civil Engineering, College of Engineering, Rangsit University

Received	: 04-Sep-2019
Revised	: 17-Jul-2020
Accepted	: 30-Jul-2020

Abstract

The objective of this research is to design and build the mixing machine for asphalt emulsion and concentrated rubber latex which can be used in the laboratory efficiently and safely. Firstly, the conceptual design of 3 types of mixing machine was created, to compare and find out the most suitable mixer construction type. After that, the mixing machine is built. The main components of the mixing machine are a mixer, material tank, stirrer, and support. After that, the most suitable mixing condition has to be found by using the laboratory testing results from Saybolt Furol viscosity, ductility, and penetration. It is found that 218 rpm mixing speed by using the hook stirrer and 7 minutes mixing time was the most suitable mixing condition because the mixture had a Saybolt Furol viscosity = 20.40 seconds, the ductility = 150 cm and the depth of penetration = 55.92 units which met the standard specification of the Department of Highway (DH-SP.405/2538). Moreover, manual mixing was also conducted. The results were then compared with the results of the mixing machine. It is found that the product from the mixing machine was stronger than from the manual mixing. From the overall results, it can be concluded that the mixing machine has good efficiency, because the mixing machine can decrease mixing time about 41% in comparison with manual mixing, reduce also material using and make working more comfortable and safe.

Keywords: Mixing machine, Asphalt emulsion, Concentrated rubber latex, Efficiency of mixing machine

1. บทนำ

ในแต่ละปี ประเทศไทยใช้ยางมะตอย (Asphalt Cement) ในงานก่อสร้างและซ่อมบำรุงถนนทั่วประเทศจำนวนมาก ต่อมาได้มีการนำน้ำยางพารามาผสมกับยางมะตอย เพราะยางพาราสามารถเพิ่มคุณภาพและอายุการใช้งานของถนน [1] รวมทั้งช่วยเพิ่มรายได้ในการขายยางพาราให้กับเกษตรกรชาวสวนยาง โดยในส่วนของการผสมยางนั้นกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง สำนักงานวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร ได้สร้างเครื่องผสมยางมะตอยกับน้ำยางพารา และยางมะตอยกับยางพาราชนิดแผ่นแห้ง ซึ่งเป็นเครื่องผสมที่มีขนาดใหญ่และเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในงานก่อสร้างถนน [2, 3] แต่ยังขาดเครื่องผสมขนาดเล็กที่สามารถนำไปใช้ในท้องปฏิบัติการ จากเหตุผลข้างต้นจึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องผสมยางมะตอยชนิดอิมัลชันกับน้ำยางพารา เพื่อใช้ในการงานวิจัยในท้องปฏิบัติการ โดยทำให้เกิดความสะดวกและปลอดภัยในการผสม เพราะระหว่างการผลิตจะใช้อุณหภูมิที่สูงถึง 120 °C ซึ่งทำให้น้ำที่อยู่ในยางมะตอยชนิดอิมัลชันและน้ำยางพาราเดือดเป็นฟอง และเกิดการปะทุได้ รวมทั้งมีไอระเหยที่เป็นพิษ ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ผสม

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อสร้างเครื่องผสมขนาดเล็กต้นแบบที่ใช้ในการผสมยางมะตอยชนิดอิมัลชันและน้ำยางพาราซึ่งสามารถให้ผลิตภัณฑ์หรือวัสดุผสมในปริมาณ 1-3 ลิตรต่อการผสมหนึ่งครั้ง ซึ่งเพียงพอต่อการทดสอบที่กำหนดไว้เบื้องต้น

2.2 เครื่องผสมขนาดเล็กต้นแบบนี้จะต้องเหมาะสมต่อการใช้งานในท้องปฏิบัติการ

2.3 วัสดุผสมที่ได้จากการผสมโดยใช้เครื่องผสมขนาดเล็กต้นแบบนี้จะต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

2.4 เครื่องผสมขนาดเล็กต้นแบบนี้จะต้องมีประสิทธิภาพ และความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน รวมทั้งช่วยประหยัดวัสดุและลดรอบเวลาในการเตรียมส่วนผสม

2.5 ความรู้ที่ได้จากการสร้างเครื่องผสมขนาดเล็กต้นแบบนี้ สามารถเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อสร้างเครื่องผสมขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานก่อสร้างถนนต่อไปในอนาคต

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบเชิงความคิด ในขั้นต้นจะทำการออกแบบเครื่องผสมยางมะตอยชนิดอิมัลชันกับน้ำยางพาราขนาดเล็กในเชิงความคิด โดยมีข้อกำหนดเบื้องต้นดังนี้ 1) ส่วนประกอบของเครื่องผสมจะต้องหาซื้อได้ง่ายและมีราคาไม่แพง เพื่อให้สามารถซ่อมแซมหรือซื้อส่วนประกอบทดแทนได้ง่าย 2) งบประมาณในการสร้างเครื่องผสมต้องไม่เกิน 35,000 บาท 3) เครื่องผสมจะต้องทำงานแบบอัตโนมัติ โดยผู้ใช้งานสามารถเปิดและปิดเครื่องผสมด้วยสวิตช์คอนโทรล และ 4) เครื่องผสมควรผลิตวัสดุผสมได้ไม่ต่ำกว่า 1-3 ลิตรต่อการผสมหนึ่งครั้ง เพื่อให้มีปริมาณวัสดุผสมที่เพียงพอต่อการทดสอบที่กำหนดไว้

จากข้อกำหนดเบื้องต้นคณะนักวิจัยได้กำหนดแนวคิดการออกแบบเครื่องผสมที่แตกต่างกันจำนวน 3 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 1-3 แล้วนำมาเปรียบเทียบและประเมินความเหมาะสมในการจัดสร้าง โดยใช้เกณฑ์การประเมิน 5 ด้าน ประกอบไปด้วย 1) ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย 2) ความคงทนและความมั่นคงของอุปกรณ์ 3) การทำความสะอาด 4) ความสามารถในการผลิตต่อการครั้งของการผสม และ 5) งบประมาณในการประดิษฐ์ แล้วนำคะแนนรวมมาใช้คัดเลือกรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด

3.2 การสร้างเครื่องผสมและพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมเครื่องผสม จัดหาอุปกรณ์และสร้างเครื่องผสมต้นแบบ และพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมเครื่องผสมโดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ซึ่งใช้ภาษาซีในการเขียนโค้ดคำสั่งผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์หรือโน้ตบุ๊ก

3.3 การหารูปแบบการผสมที่เหมาะสมที่สุด โดยปรับเปลี่ยนรูปแบบการผสมรวม 8 รูปแบบ ซึ่งมีข้อแตกต่างกันใน 3 ส่วนหลักๆ คือ 1) ความเร็วรอบในการผสม 2) ลักษณะของใบกวนส่วนผสม และ 3) เวลา

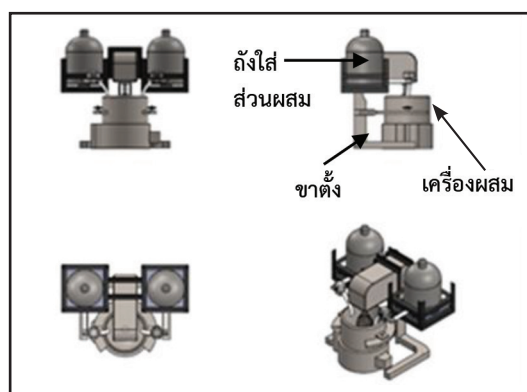
ที่ใช้ในการกวนส่วนผสม โดยผสมรูปแบบละ 10 ตัวอย่าง แล้วนำวัสดุผสมที่ได้ไปทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้น ได้แก่ ค่าความหนืด ค่าระยะจมตัวของเข็มมาตรฐาน และค่าความยืดดึง โดยรูปแบบการผสมที่เหมาะสมที่สุด ก็คือรูปแบบที่ทำให้วัสดุผสมมีคุณสมบัติดีที่สุด นอกจากนี้ยังทดลองผสมวัสดุแบบปกติซึ่งไม่ใช่เครื่องผสม (ทำได้โดยการนำยางมะตอยชนิดอิมัลชัน ผสมกับน้ำยางพารา และกวนส่วนผสมให้เข้ากัน) จำนวน 10 ตัวอย่าง แล้วนำไปทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้น เหมือนกับวัสดุผสมที่ใช้เครื่องผสม และนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกัน เพื่อยืนยันว่าการผสมโดยใช้เครื่องผสมให้วัสดุผสมที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าการผสมแบบปกติที่ไม่ใช้เครื่องผสม

3.4 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องผสมยางมะตอยชนิดอิมัลชันกับน้ำยางพารา โดยใช้เกณฑ์การประเมิน 3 ด้าน คือ 1) เวลาที่ใช้ในการผสม 2) ปริมาณการใช้ส่วนผสม และ 3) ความสะดวกสบายและความปลอดภัย

4. ผลการวิจัย

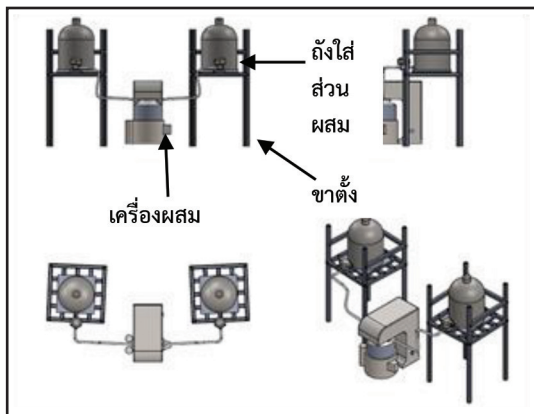
4.1 ผลการคัดเลือกรูปแบบของเครื่องผสม ส่วนประกอบหลักของเครื่องผสมคือ โถผสมสแตนเลส ซึ่งมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดและมีขนาดเหมาะสมแก่การใช้งานคือ ขนาดความจุ 4.2 และ 5 ลิตร โดยใบพัดกวนส่วนผสมที่มาพร้อมเครื่องผสมมี 3 แบบคือ แบบตะกร้อ แบบตะขอ และแบบใบไม้ ส่วนถังบรรจุยางพาราเลือกใช้ถังพลาสติกขนาด 5 ลิตร และ 6.5 ลิตร ส่วนเครื่องให้ความร้อนที่คัดเลือกมามี 2 แบบคือ แบบขดลวดยาแก๊นยุง และแบบขดลวดทองแดงรัดท่อ ซึ่งทั้งสองแบบสามารถให้ความร้อนสูงถึง 120°C จากนั้นจึงนำมาพิจารณาออกแบบเครื่องผสมในเชิงความคิดเป็น 3 รูปแบบประกอบไปด้วย

รูปแบบที่ 1 (รูปที่ 1) เป็นเครื่องผสมที่มีความกว้าง 60 ซม. ความยาว 80 ซม. ความสูง 100 ซม. และมีน้ำหนัก 87 กิโลกรัม สามารถให้ผลิตภัณฑ์ได้ 2-3 ลิตร ต่อการผสม 1 ครั้ง ประกอบด้วยเครื่องผสมที่ทำด้วยเหล็ก พร้อมกับใบพัดกวน 3 แบบ ได้แก่ แบบตะกร้อ แบบตะขอ และแบบใบไม้ โถผสมสแตนเลสมีความจุ 5 ลิตร ถังพลาสติกที่บรรจุน้ำยางพาราขนาด 5 ลิตร และถังบรรจุยางมะตอยชนิดอิมัลชันขนาด 5 ลิตร เครื่องให้ความร้อนแบบขดลวดยาแก๊นยุง โซลีนอยต์วาล์วสำหรับเปิดปิดอัตโนมัติ ท่อประปาพีวีซีที่ใช้ส่งส่วนผสม และโครงเหล็กฉากสำหรับวางถังบรรจุส่วนผสมขนาด 40 x 40 x 4 มม.



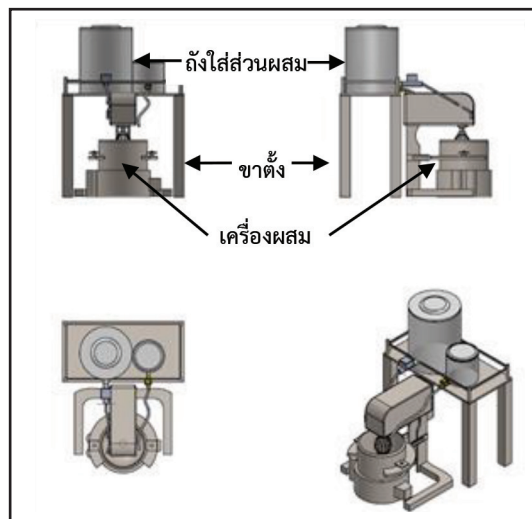
รูปที่ 1 เครื่องผสมรูปแบบที่ 1

รูปแบบที่ 2 (รูปที่ 2) เป็นเครื่องผสมที่มีความกว้าง 40 ซม. ความยาว 120 ซม. ความสูง 90 ซม. และมีน้ำหนัก 22 กิโลกรัม สามารถให้ผลิตภัณฑ์ได้ 1-2 ลิตร โดยประกอบไปด้วยเครื่องผสมที่เป็นพลาสติก พร้อมใบพัดกวน 2 แบบได้แก่ แบบตะกร้อ และแบบตะขอ โถผสมสแตนเลสขนาดความจุ 4.2 ลิตร ถังพลาสติกบรรจุน้ำยางพาราขนาด 5 ลิตร และถังบรรจุยางมะตอยชนิดอิมัลชันขนาด 5 ลิตร เครื่องให้ความร้อนแบบขดลวดทองแดงรัดท่อ โซลีนอยต์วาล์วเปิดปิดอัตโนมัติ และท่อประปาพีวีซีส่งส่วนผสม



รูปที่ 2 เครื่องผสมรูปแบบที่ 2

รูปแบบที่ 3 (รูปที่ 3) เครื่องผสมมีความกว้าง 50 ซม. ความยาว 70 ซม. ความสูง 80 ซม. และมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม สามารถให้ผลิตภัณฑ์ได้ถึง 2-3 ลิตร ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องผสมที่มีวัสดุเป็นเหล็กพร้อมกับใบพัดกวน 2 แบบ ได้แก่ แบบตะกร้อ และแบบตะขอ โถผสมสแตนเลสขนาดความจุ 5 ลิตร ถังพลาสติกที่บรรจุน้ำยาพาราขนาด 6.5 ลิตร และยางมะตอยชนิดอิมัลชันขนาด 9.5 ลิตร เครื่องให้ความร้อนแบบขดลวดยากันยุงรัดถัง โซลีนอยด์วาล์วเปิดปิดอัตโนมัติ และท่อสายน้ำดีที่ใช้ส่งผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3 เครื่องผสมรูปแบบที่ 3

คณะนักวิจัยจำนวน 5 คน ได้ประเมินรูปแบบเครื่องผสมทั้ง 3 รูปแบบ โดยใช้เกณฑ์ประเมินดังแสดงในตารางที่ 1 และพบว่า รูปแบบที่ 3 ได้คะแนนรวมมากที่สุดคือ 23 คะแนน แสดงว่ามีความเหมาะสมต่อการสร้างมากที่สุด เพราะมีจุดเด่นด้านความสะดวกในการเคลื่อนย้ายโดยเครื่องผสมมีองค์ประกอบ 2 ส่วนหลักคือ เครื่องผสมและถังใส่ส่วนผสมที่เป็นอะคริลิกทำให้เคลื่อนย้ายง่าย และอุปกรณ์มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ และมีกำลังการผลิตต่อครั้งประมาณ 2-3 ลิตร

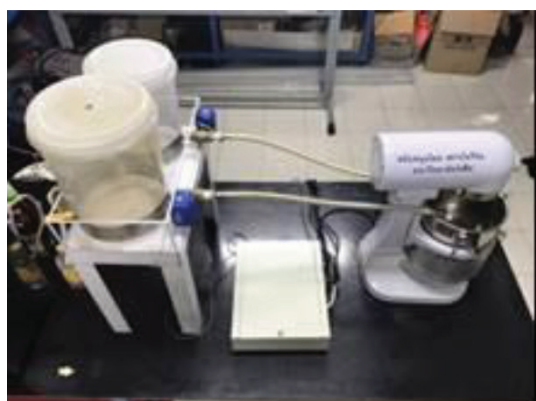
ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนประเมินเครื่องผสม

ด้าน	คะแนนและเกณฑ์การให้คะแนน
1. ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	4 คะแนน : เครื่องต้นแบบมีองค์ประกอบของอุปกรณ์น้อย และมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 0-50 kg 3 คะแนน : เครื่องต้นแบบมีองค์ประกอบของอุปกรณ์น้อย และมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 50-100 kg 2 คะแนน : เครื่องต้นแบบมีองค์ประกอบของอุปกรณ์มาก และมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 0-50 kg 1 คะแนน : เครื่องต้นแบบมีองค์ประกอบของอุปกรณ์มาก และมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 50-100 kg

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนประเมินเครื่องผสม (ต่อ)

ด้าน	คะแนนและเกณฑ์การให้คะแนน
2. ความคงทนและความมั่นคงของอุปกรณ์	4 คะแนน : เป็นวัสดุที่มีความคงทน ฐานมีเสถียรภาพสูง 3 คะแนน : เป็นวัสดุที่มีความคงทน ฐานไม่มีเสถียรภาพ 2 คะแนน : เป็นวัสดุที่ไม่มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อม ฐานมีเสถียรภาพ 1 คะแนน : เป็นวัสดุที่ไม่มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อม ฐานไม่มีเสถียรภาพ
3. การทำความสะอาด	4 คะแนน : สามารถถอดทุกชิ้นส่วนออกมาทำความสะอาดได้ 3 คะแนน : สามารถถอดบางชิ้นส่วนออกมาทำความสะอาดได้ 2 คะแนน : ไม่สามารถถอดชิ้นส่วนออกมาทำความสะอาดได้ แต่สามารถทำความสะอาดในเครื่องได้เล็กน้อย 1 คะแนน : ไม่สามารถถอดชิ้นส่วนออกมาทำความสะอาด และไม่สามารถทำความสะอาดในเครื่อง
4. ความสามารถในการผลิตต่อครั้งการผสม	4 คะแนน : 3 ลิตรขึ้นไป 3 คะแนน : 2-3 ลิตร 2 คะแนน : 1-2 ลิตร 1 คะแนน : ต่ำกว่า 1 ลิตร
5. งบประมาณในการประดิษฐ์	4 คะแนน : ต่ำกว่า 15,000 บาท 3 คะแนน : 15,000-25,000 บาท 2 คะแนน : 25,000-35,000 บาท 1 คะแนน : 35,000 บาทขึ้นไป

4.2 การสร้างเครื่องผสมและการพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมเครื่องผสม ดำเนินการสร้างเครื่องผสมอย่างละเอียดจนติดมัลชันกับน้ำยาฟาราตามรูปแบบที่ 3 โดยมีลักษณะและส่วนประกอบดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5



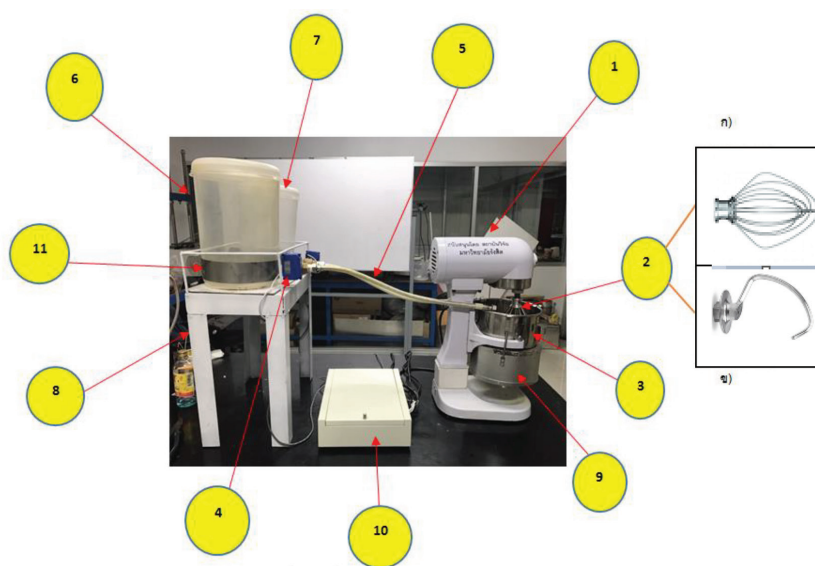
รูปที่ 4 ต้นแบบเครื่องผสมอย่างละเอียดกับน้ำยาฟารา

ในส่วนของการพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมเครื่องผสม เพื่อให้การทำงานของเครื่องผสมเป็นไปด้วยความสะดวกรวดเร็ว ถูกต้องและทำงานโดยอัตโนมัติ จึงใช้โปรแกรม Arduino IDE ซึ่งใช้ภาษาซีในการเขียนโค้ดคำสั่ง ผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์หรือโน้ตบุ๊กที่เป็นระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์ (Microsoft) แล้วนำโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาป้อนลงไปในแผงควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านสายยูเอสบี (USB) ส่วนการแก้ไขซอฟต์แวร์ควบคุมนั้นสามารถแก้ไขในโปรแกรม Arduino IDE แล้วป้อนคำสั่งใหม่ลงไปในแผงควบคุม ในการเขียนโปรแกรมนั้นได้กำหนดหลักการทำงานของเครื่องผสมไว้ดังนี้คือ เมื่อทำการเปิดสวิตช์ของระบบและทำการป้อนข้อมูลที่เป็นเวลาการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว 2 ตัว (ซึ่งได้จากหลักการวิเคราะห์อัตราการใช้) และเวลาในการทำงานของเครื่องปั่นกับตัวให้ความร้อนตามที่ต้องการ แล้วทำการกดปุ่มเริ่มการทำงานของเครื่องผสม วงจรควบคุมจะทำการสั่งเปิดโซลินอยด์วาล์ว 2 ตัวพร้อมกัน ซึ่งจะทำงานตามเวลาที่ได้ตั้งไว้ เมื่อโซลินอยด์วาล์วตัวสุดท้ายปิดลง ระบบจะเริ่มทำการสั่งงานในส่วนอื่น

ต่อไป ซึ่งจะเป็นส่วนการทำงานของเครื่องปั่นกับตัวให้ความร้อน ซึ่งจะเปิดการทำงานพร้อมกันและจะทำงานจนครบเวลาที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นระบบก็จะหยุดการทำงาน ทั้งนี้ในขณะที่ระบบทำงานอยู่นั้นจะมีการวัดอุณหภูมิอยู่ตลอดเวลาโดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และจะแสดงค่าบนจอแสดงผล

หลังจากประกอบเครื่องผสมแล้ว ได้ทำการทดสอบความถูกต้องของการใส่ส่วนผสมของเครื่องผสม

ซึ่งใช้หลักการวิเคราะห์อัตราการใช้ส่วนผสมของน้ำยางพาราและน้ำยางมะตอย (นำมาใช้แทนการใช้เครื่องซึ่งน้ำหนักอัตโนมัติซึ่งมีราคาแพงเกินงบประมาณที่ตั้งไว้) โดยการทดสอบซึ่งน้ำหนักของวัสดุทั้งสองอย่างที่ใช้ไหลผ่านท่อลำเลียงในเวลาที่กำหนดจำนวนหลายครั้ง จนมั่นใจว่าเครื่องผสมสามารถใส่ส่วนผสมได้ในปริมาณที่แม่นยำตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้จึงเริ่มใช้งานเครื่องผสม



- | | |
|-----------------------|---|
| 1. เครื่องผสม | 2. ใบกวน ซึ่งมีสองแบบ คือ ก) แบบตะกร้อ และ ข) แบบตะขอ |
| 3. ถังผสม | 4. โซลินอยด์วาล์ว |
| 5. ท่อลำเลียงส่วนผสม | 6. ถังเก็บยางมะตอย |
| 7. ถังเก็บน้ำยางพารา | 8. ฐานรองถังบรรจุส่วนผสม |
| 9. เครื่องให้ความร้อน | 10. วงจรควบคุม |
| 11. สแตนเลสสตีลถังผสม | |

รูปที่ 5 รายละเอียดอุปกรณ์ในเครื่องผสมยางมะตอยกับยางพารา [4]

4.3 การหารูปแบบการผสมที่เหมาะสม และการทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้เครื่องผสม เมื่อจัดสร้างเครื่องผสมต้นแบบสำเร็จแล้ว ได้ทดลองผสมยางมะตอยอิมัลชันแบบ CSS-1h กับน้ำยางพาราชนิดดัดแปลงโมโนเมอสูง [5, 6] ใช้อัตราส่วนของน้ำยางพาราร้อยละ 5.5 โดยน้ำหนักของส่วนผสมเพื่อหารูปแบบของการผสมซึ่งเหมาะสมที่สุด โดยเปลี่ยนความเร็วรอบของการผสม (รอบต่อนาที) ตามความสามารถของเครื่องผสมคือ 218 และ 418 รอบต่อนาที และเปลี่ยนรูปแบบของใบพัดที่ใช้กวนส่วนผสม และ

เวลาในการกวนส่วนผสมในหลายรูปแบบ จนได้รูปแบบซึ่งสามารถผสมวัสดุให้เข้ากันได้ดี และใช้เวลาในการผสมส่วนผสมไม่เกิน 7 นาที (เพื่อให้สามารถทำการผสมได้หลายครั้งอย่างรวดเร็ว) ซึ่งมีทั้งหมด 8 รูปแบบการผสม จากนั้นจึงนำวัสดุผสมที่ได้จากการผสมในแต่ละรูปแบบ จำนวน 10 ตัวอย่างต่อหนึ่งรูปแบบการผสม ไปทดสอบหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ค่าการยึดติด ค่าการจมน้ำของซีเมนต์มาตรฐานและค่าความหนืดเชย์โบลต์ โดยใช้เครื่องทดสอบและวิธีทดสอบตามมาตรฐานของกรมทางหลวงโดยค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รูปแบบการผสมและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้เครื่องผสม

รูปแบบการผสม	ความเร็วรอบในการผสม (รอบ/นาที)	ลักษณะใบกวน	เวลาในการกวนส่วนผสม (นาที)	ค่าความหนืดเฉลี่ย (วินาที)	ค่าระยะจมน้ำของเข็มมาตรฐาน (หน่วย)	ค่าความยืดดึงเฉลี่ย (ช.ม.)
1	218	ตะกร้อ	5	22.16	56.11	150
2	218	ตะกร้อ	7	24.32	65.28	150
3	218	ตะขอ	5	20.48	71.06	150
4	218	ตะขอ	7	20.40	55.92	150
5	418	ตะกร้อ	5	50.42	56.25	150
6	418	ตะกร้อ	7	49.52	58.22	150
7	418	ตะขอ	5	24.52	58.25	150
8	418	ตะขอ	7	23.94	57.50	150

หมายเหตุ : * ค่าตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

- 1) ค่าความหนืดเฉลี่ย 20-100 วินาที
- 2) ค่าระยะจมน้ำของเข็มมาตรฐาน 40-100 หน่วย
- 3) ค่าความยืดดึงต่ำสุด 40 ช.ม.

5. การอภิปรายผล

5.1 เมื่อนำผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผสมจากทุกรูปแบบในตารางที่ 2 ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง พบว่า ค่าความหนืดเฉลี่ย ค่าระยะการจมน้ำของเข็มมาตรฐาน และค่าความยืดดึงเฉลี่ยของวัสดุผสมในทุกรูปแบบนั้นเป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง (ทล.-ก. 405/2538 สำหรับ Elastomeric Modified Asphalt Emulsion แบบ CSS-1h ซึ่งกำหนดค่าความหนืดต่ำที่สุดไว้เท่ากับ 20 วินาที ค่าความยืดดึงเท่ากับ 40 ช.ม. และค่าการจมน้ำของเข็มมาตรฐานเท่ากับ 40 หน่วย [7] แต่ทั้งนี้รูปแบบการผสมที่ 1 และ 4 มีผลการทดสอบที่ให้ค่าความหนืดเฉลี่ย และค่าระยะการจมน้ำของเข็มมาตรฐานที่ดีที่สุดและใกล้เคียงกัน โดยค่าความหนืดเฉลี่ยของรูปแบบที่ 1 เท่ากับ 22.16 วินาที ส่วนรูปแบบที่ 4 มีค่าความหนืดเฉลี่ยเท่ากับ 20.40 วินาที จึงทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความหนืดเฉลี่ยระหว่างรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 4

และพบว่า ค่าความหนืดเฉลี่ยของทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกัน โดยที่ค่าความหนืดในรูปแบบที่ 4 มีความหนืดน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นรูปแบบที่ 4 จึงเป็นรูปแบบการผสมที่ดีที่สุด คือใช้ความเร็วรอบ 218 รอบต่อนาที ใบกวนแบบตะขอ และเวลาในการกวนส่วนผสม 7 นาที และวัสดุผสมที่ได้มีค่าความหนืดเฉลี่ย 20.40 วินาที ซึ่งเป็นค่าความหนืดที่น้อยที่สุดของตัวอย่างทั้งหมด ส่วนค่าความยืดดึงมีค่าเท่ากับ 150 ช.ม. และค่าการจมน้ำของเข็มมาตรฐานเท่ากับ 55.92 หน่วย ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุดเช่นกัน ซึ่งแสดงว่าวัสดุผสมนี้มีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่นๆ

ทั้งนี้ยังมีการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผสมที่ได้รับการผสมแบบปกติที่ไม่ใช้เครื่องผสม โดยใช้อัตราส่วนผสมเนื้อยางพาราร้อยละ 5.5 โดยน้ำหนักของส่วนผสมจำนวน 10 ตัวอย่าง เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบวัสดุผสมที่ใช้เครื่องผสมตามรูปแบบที่ 4 ซึ่งถือว่าเป็นรูปแบบการผสมที่ดีที่สุด พบว่าค่าความหนืดของวัสดุที่ได้จากการผสมแบบปกติเท่ากับ 21.68 วินาที ซึ่งมากกว่าค่าที่ได้จากการใช้เครื่องผสม (20.40 วินาที) ส่วนค่าการจมน้ำของเข็มมาตรฐานที่ได้จากการผสมแบบปกติเท่ากับ 67.48 หน่วย ซึ่งมากกว่าค่าที่ได้จากการใช้เครื่องผสม (55.92 หน่วย) แสดงให้เห็นว่า

การผสมโดยใช้เครื่องผสมให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรง และทนต่อแรงกระทำได้ดีกว่า ส่วนค่าการยึดติดระหว่าง การผสมทั้งสองแบบนี้ไม่มีความแตกต่างกัน คือได้ค่า เท่ากับ 150 ซม.ทั้งคู่

5.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องผสม ยางมะตอยชนิดอิมัลชันกับน้ำยางพารา

1) ด้านเวลาที่ใช้ในการผสม : ในการผสม โดยใช้เครื่องผสมจะเริ่มจากการใส่ส่วนผสมโดยใช้ อัตราส่วนของน้ำยางพาราร้อยละ 5.5 โดยน้ำหนักของ ส่วนผสม ซึ่งเครื่องผสมจะใช้เวลาในการใส่ส่วนผสม ทั้งหมด 2 นาที หลังจากนั้นเครื่องจะทำการกวนส่วนผสม ให้เข้ากันอีกนาน 7 นาที รวมเวลาที่เครื่องใช้ในการผสม ทั้งหมด 9 นาที คิดเป็น 100 % ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การผสมแบบปกติที่ไม่ใช้เครื่องผสมในอัตราส่วนผสม เดียวกัน ที่ขั้นตอนแรกจะต้องคำนวณปริมาณส่วนผสม ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 5 นาที จากนั้นจึงทำการชั่งตวง ส่วนผสมให้ได้น้ำหนักตามที่คำนวณไว้อีกประมาณ 10 นาที แล้วจึงกวนส่วนผสมคือ ยางมะตอยกับ น้ำยางพาราให้เป็นเนื้อเดียวกันอีก 7 นาที รวมเวลาที่ใช้ ในการผสมทั้งหมด 22 นาที ดังนั้นการผสมโดยใช้ เครื่องผสมสามารถลดเวลาในการผสมได้ถึง 41 %

2) ด้านปริมาณการใช้ส่วนผสม : การผสม โดยใช้เครื่องผสมจะใช้ส่วนผสมในปริมาณที่น้อยกว่าการ ผสมแบบปกติที่ไม่ใช้เครื่องผสม เพราะการใส่ส่วนผสม โดยเครื่องจะทำการส่งวัสดุผ่านท่อลำเลียงที่มีพื้นที่ผิว สัมผัสน้อยกว่า จึงทำให้มีส่วนผสมเกาะติดค้างอยู่น้อยกว่า การใช้ภาชนะชั่งตวงส่วนผสมในการผสมแบบปกติ ซึ่ง ทำให้เกิดการสูญเสียส่วนผสมและไม่ได้ปริมาณตาม ที่ต้องการ รวมทั้งทำให้ต้องเทส่วนผสมหลายๆ ครั้ง

3) ด้านความสะดวกสบายและความ ปลอดภัย : การใช้เครื่องผสมนั้นไม่จำเป็นต้องชั่งตวง ส่วนผสม หรือกวนส่วนผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ ไม่ต้องเสียเวลาในการเตรียมส่วนผสมเพื่อใส่ในถังผสม นอกจากนี้ในแง่ของความปลอดภัยในการทำงาน เมื่อ ตั้งเวลาในการทำงานและกดปุ่มเริ่มการทำงาน สามารถ ปล่อยให้เครื่องผสมทำงานเองโดยอัตโนมัติในห้อง ปฏิบัติการ ซึ่งจะลดความเสี่ยงจากการกระเด็นของวัสดุ ระหว่างการกวนส่วนผสม และลดความเสี่ยงจากการ สูดดมมลพิษทางอากาศอันก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ

6. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องผสมขนาดเล็กต้นแบบ ที่ใช้ในการผสมยางมะตอยชนิดอิมัลชันและน้ำยางพารา ซึ่งเหมาะสมต่อการใช้งานในห้องปฏิบัติการ โดยส่วน ผสมที่ได้นั้นมีคุณสมบัติตามมาตรฐานของกรมทางหลวง และเครื่องผสมต้นแบบก็มีประสิทธิภาพที่ดีทั้งในด้าน ความปลอดภัยและความสะดวกสบายในการใช้งาน การประหยัดวัสดุ และสามารถลดเวลาในการผสมได้ ถึง 41 % ทั้งนี้ในอนาคตควรมีการวิจัยเพิ่มเติม ทั้งใน ส่วนของคุณสมบัติของวัสดุผสมต่างๆ ที่ผสมโดยใช้เครื่อง ผสมต้นแบบ และวิจัยต่อยอดในแง่ของการเพิ่มขนาด และประสิทธิภาพของเครื่องผสม เพื่อให้สามารถนำไป ประยุกต์และจัดสร้างเป็นเครื่องขนาดใหญ่ที่สามารถนำ ใช้ในงานก่อสร้างหรือซ่อมแซมถนนต่อไปในอนาคต

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สถาบันวิจัยมหาวิทยาลัยรังสิต ปีงบประมาณ 2559 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ นอกจากนี้อขอขอบคุณ ผู้ช่วยวิจัย และอาจารย์ประจำห้องปฏิบัติการภาค วิชาวิศวกรรมโยธา ที่ช่วยดำเนินงานต่างๆ จนประสบ ผลสำเร็จ ปัจจุบันเครื่องผสมที่จัดสร้างขึ้นมานี้ได้ถูกนำมา ใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมการทาง ภาควิชา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิต ซึ่งเกิดประโยชน์ต่อ การเรียนรู้ของนักศึกษา คณาจารย์ และผู้วิจัย รวมทั้ง สามารถสร้างองค์ความรู้เพิ่มเติมในด้านวัสดุวิศวกรรม การทาง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Azahar M. et al. An Overview on natural rubber application for asphalt modification. International Journal of Agriculture Forestry and Plantation. 2016; 2:212-17.
- [2] Opanukul V. Research and development of asphalt and rubber mixer. Department of Agriculture. 2005. (in Thai)

- [3] Vichitcholchai N. Prototype mobile asphalt and concentrated rubber mixer. Para Rubber Electronic Bulletin. 2008; 31: 45-29. (in Thai)
- [4] Ankana Punlor and Somsak Aueatchasai. A Study for Properties of Mixture of Rapid Setting Asphalt Emulsion (CRS-2) and Concentrated Latex sphalt emulsion technology (Research report). The RSU research conference. 251-258 ; 2019. (in Thai)
- [5] Salomon D. Asphalt emulsion technology (Research report). Washinton: Transportation research board; 2006.
- [6] Suaryana et al. Performance evaluation of hot mixture asphalt using concentrated rubber latex. Rubber Compound and Synthetic Polymer as Modifier. 2019; 21:36-42.
- [7] Bureau of Standards and Evaluation. Department of Highway. DH-SP.405/1995; 1995. (in Thai)

ความสามารถเก็บกักคลอไรด์และการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอย ผงหินปูนและสารขยายตัว

ลีน่า ปริก¹ และทวีชัย สำราญวานิช^{2*}
lyna_plnce@hotmail.com¹, twc@buu.ac.th^{2*}

^{1, 2*} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี

Received	: 08-Sep-2020
Revised	: 19-Oct-2020
Accepted	: 30-Oct-2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความสามารถกักเก็บคลอไรด์และการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอย ผงหินปูน และสารขยายตัว โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 และ 0.50 แทนที่วัสดุประสานบางส่วนด้วยเถ้าลอยที่ร้อยละ 30 แทนที่วัสดุประสานบางส่วนด้วยผงหินปูนที่ร้อยละ 5 15 และ 25 ตามลำดับ และแทนที่วัสดุประสานบางส่วนด้วยสารขยายตัวที่ร้อยละ 10 ทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์แบบแพร่ทั้งหมดที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน และทดสอบการดูดซึมน้ำที่ 28 วัน จากผลการศึกษาพบว่าความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและมอร์ตาร์ผสมสารขยายตัวสูงกว่าของมอร์ตาร์ซีเมนต์ล้วน ในขณะที่ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ผสมผงหินปูนต่ำกว่าของมอร์ตาร์ซีเมนต์ล้วนและเมื่อใช้ผงหินปูนมากขึ้นความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ลดลง โดยมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยให้ความสามารถเก็บกักคลอไรด์สูงที่สุด นอกจากนี้ การดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย ผงหินปูน และสารขยายตัวสูงกว่าของมอร์ตาร์ซีเมนต์ล้วน

คำสำคัญ: ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ มอร์ตาร์ เถ้าลอย ผงหินปูน สารขยายตัว

Chloride Binding Capacity and Water Absorption of Mortar Containing Fly Ash, Limestone Powder, and Expansive Additive

Lyna Prak¹ and Taweechai Sumranwanich^{2*}
lyna_plnce@hotmail.com¹, twc@buu.ac.th^{2*}

^{1, 2*} Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

Received	: 08-Sep-2020
Revised	: 19-Oct-2020
Accepted	: 30-Oct-2020

Abstract

This paper aims to study the chloride binding capacity and water absorption of mortar containing fly ash (FA), limestone powder (LP), and expansive additive (EA). Portland cement Type I was used as the main cementitious material. The water to binder ratio was kept at the ratio of 0.40 and 0.50. FA and LP partially replaced the cement at percentages of 30% and 5%, 15% and 25% respectively EA replaced the binder at 10%. The chloride penetration test of mortars was conducted at the chloride exposure period of 91 days. The water absorption of mortars was done at the age of 28 days after curing. From the results, it was found that chloride binding capacity of FA mortars and EA mortars was higher than that of cement-only mortars, while chloride binding capacity of LP mortars was lower than that of cement-only mortars. Increasing the LP to binder ratio resulted in the reduction of chloride binding capacity of mortars. The chloride binding capacity of FA mortars was highest. Moreover, the water absorption of Mortar with FA, LP, and EA was higher than that of the cement-only mortars.

Keywords: chloride binding capacity, mortar, fly ash, limestone powder, expansive additive

1. บทนำ

หนึ่งในปัจจัยหลักที่มีผลต่อความคงทนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมากที่สุดคือความสามารถต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ โดยเกลือคลอไรด์เป็นสาเหตุสำคัญต่อการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีต [1-3] โดยทั่วไปคอนกรีตเมื่อต้องเผชิญกับสิ่งแวดล้อมคลอไรด์ อีออนของคลอไรด์จะสามารถแพร่เข้าไปในคอนกรีตผ่านตามเครือข่ายโพรงช่องว่างในซีเมนต์เพสต์ ซึ่งการแพร่ของอีออนคลอไรด์นั้นเกิดขึ้นเนื่องด้วยผลของความแตกต่างของความเข้มข้นคลอไรด์ หากคลอไรด์สามารถแพร่เข้าไปในเนื้อคอนกรีตได้เร็ว ก็จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตมีโอกาสเกิดสนิมได้เร็ว ด้วยเหตุนี้สมบัติของคอนกรีตในแง่ความสามารถในการกักเก็บคลอไรด์และความต้านทานการแพร่คลอไรด์จึงเป็นดัชนีที่สำคัญค่าหนึ่งในการพิจารณาถึงความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตนั้น ๆ คลอไรด์เมื่อแทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ คลอไรด์บางส่วนจะถูกยึดจับด้วยกลไกการยึดเหนี่ยวทางกายภาพ และทางเคมีของระบบวัสดุประสาน เรียกว่า คลอไรด์ที่ถูกยึดจับ (Fixed chloride) ส่วนเกลือคลอไรด์ที่ไม่ถูกยึดจับจะสามารถแทรกซึมเข้าไปในโพรงช่องว่างในเนื้อคอนกรีตต่อไปได้ โดยคลอไรด์นี้ถูกเรียกว่า คลอไรด์อิสระ (Free chloride) ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต

ความสามารถในการกักเก็บคลอไรด์ (Chloride binding capacity) ของคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ หมายถึงความสามารถในการยึดจับคลอไรด์อิสระ (Free chloride) ที่แทรกซึมเข้าไปในคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ให้กลายเป็นคลอไรด์ที่ถูกจับยึด (Fixed chloride) ด้วยกลไกการยึดเหนี่ยวทางกายภาพ (Physical binding) และทางเคมี (Chemical binding) [1, 4] ของคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ โดยคลอไรด์ที่ถูกจับยึดนี้จะไม่สามารถทำอันตรายต่อเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตได้ ดังนั้นหากคอนกรีตหรือมอร์ตาร์มีความสามารถในการกักเก็บคลอไรด์สูง จะช่วยป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมให้ช้าลงได้ การยึดจับคลอไรด์ด้วยกระบวนการทางเคมีเกิดจากสารประกอบโบรอนแคลเซียมอลูมินา (C3A) และเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C4AF) ที่มีอยู่ใน

ปูนซีเมนต์เป็นหลัก [5, 6] ในขณะที่การยึดจับคลอไรด์ด้วยกระบวนการทางกายภาพนั้นคลอไรด์ถูกยึดจับไว้ที่ผิวของผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอซโซลานิก เช่น C-S-H, C-A-H, C-A-F-H, ettringite และ monosulfate รวมทั้งมวลรวมละเอียด เป็นต้น [1, 7-9] โดยความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ชนิดวัสดุประสาน และปริมาณคลอไรด์ทั้งหมด

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำวัสดุปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย ซิลิกาฟูม ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด เป็นต้น และวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอื่น เช่น ผงหินปูน มาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติคอนกรีตให้มีความคงทนมากขึ้น [10] โดยเถ้าลอย (Fly ash) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้เพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนอย่างแพร่หลาย ซึ่งการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนช่วยลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ซึ่งทำให้อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่ชั้นบรรยากาศอีกด้วย [11] เถ้าลอยถูกนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างหลากหลายรูปแบบทั้งนี้เนื่องจากการใช้เถ้าลอยทำให้สมบัติด้านความคงทนของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์และความต้านทานการเกิดสนิม เป็นต้น [12-16] ศิริ อาทมาท และ ทวีชัย สำราญวานิช (2562) [17] พบว่า การใช้เถ้าลอยในคอนกรีตผสมเถ้ากันเตาร้อยละ 10 ทำให้ความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้เถ้าลอยในคอนกรีตยังมีข้อด้อยบางประการ เช่น ต้องการระยะเวลาบ่มน้ำที่นานขึ้น การพัฒนากำลังอัดต่ำ ต้องการเวลาพัฒนากำลังอัดมากกว่า 28 วัน จากงานวิจัยของ Hussain et al. (2013) [18] พบว่าการใช้เถ้าลอยทำให้ระยะเวลาบ่มน้ำคอนกรีตนานขึ้นเนื่องจากเถ้าลอยจะเกิดปฏิกิริยาช้ารวมถึงความต้องการน้ำสำหรับการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกในระยะยาว Deilami et al. (2017) [19] พบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอยส่งผลดีต่อความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์และการดูดซึมน้ำ อย่างมีนัยสำคัญ แต่กำลังอัดที่อายุต้นลดลง Sadrmomtazi et al. (2017)

[20] พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่อายุ 7 และ 28 วัน ต่ำกว่าคอนกรีตซีเมนต์ล้วน แต่กำลังอัดของคอนกรีตพัฒนาสูงกว่าคอนกรีตซีเมนต์ล้วนที่อายุ 90 วัน

สำหรับผงหินปูน (Limestone powder) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการย่อยหินเพื่อเป็นวัตถุดิบใช้ในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์และคอนกรีต จากความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ที่สูงขึ้นส่งผลกระทบก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ [21, 22] เพื่อลดปัญหามลพิษและการกำจัดผลพลอยได้ที่เกิดจากอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องมีการนำผลพลอยได้เหล่านี้มาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง [23] จากงานวิจัยในปัจจุบันแสดงให้เห็นถึงจุดเด่นของการใช้วัสดุที่เป็นผลพลอยได้เหล่านี้มากขึ้น [24] การใช้ผงหินปูนแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนทำให้คุณสมบัติคอนกรีตดีขึ้น โดยผงหินปูนจะช่วยเข้าไปเติมเต็มโพรงช่องว่าง (Filler effect) ภายในเนื้อคอนกรีต นอกจากนี้ ยังช่วยประหยัดต้นทุนอีกด้วยทั้งส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมโดยช่วยลดการปล่อยก๊าซ CO_2 จากกระบวนการปูนซีเมนต์ (ลดปริมาณความต้องการใช้ปูนซีเมนต์) การใช้ผงหินปูนแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนทำให้กำลังอัดของคอนกรีตในช่วงอายุต้นสูงขึ้น [25] ในขณะที่ทำให้หลังความต้องการระยะเวลาบ่มให้น้อยลง [18]

ปัญหาที่เกิดจากการหดตัวและกำลังรับแรงดึงต่ำเป็นสมบัติที่ไม่พึงปรารถนาสองประการที่พบเห็นได้บ่อยกับงานคอนกรีตในประเทศไทย ภายใต้สภาพที่ถูกยึดรั้ง โครงสร้างคอนกรีตอาจแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวได้ แต่การหดตัวของคอนกรีตสามารถควบคุมได้ด้วยการใช้สารเคมีผสมเพิ่ม เช่น สารขยายตัว (Expansive additives) โดยเมื่อคอนกรีตขยายตัวสารขยายตัวจะสร้างหน่วยแรงอัดในเนื้อคอนกรีตที่อยู่ภายใต้สภาพที่ถูกยึดรั้ง ซึ่งจะช่วยลดหรือขจัดหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นจากการหดตัวของคอนกรีตที่อยู่ภายใต้สภาพที่ถูกยึดรั้งนั้นได้ [26] จากการศึกษาของ Liu et al. (2019) [27] พบว่า การใช้สารขยายตัวในคอนกรีตไหลตัวได้เอง (Self-compacting concrete) ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงเล็กน้อย ในขณะที่การหดตัวแบบออโตจีนัส (Autogenous shrinkage) และการหดตัวแบบแห้ง (Drying shrinkage) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์อีกด้วย

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความสามารถในการเก็บกักคลอไรด์และการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยผงหินปูนและสารขยายตัว โดยศึกษามอร์ตาร์ที่ใช้ระบบวัสดุประสาน 2 ชนิด (Binary cementitious system) และระบบวัสดุประสาน 3 ชนิด (Ternary cementitious system) เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว

2. รายละเอียดการทดลอง

2.1. วัสดุและส่วนผสมคอนกรีต

การศึกษานี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland cement type I, OPC1) เป็นวัสดุประสานหลัก และแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอย (Fly ash, FA) ผงหินปูน (Limestone powder, LP) และสารขยายตัว (Expansive additive, EA) โดยองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ดังแสดงในตารางที่ 1 เถ้าลอยที่ใช้เป็นเถ้าลอยที่ได้จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในขณะที่ผงหินปูนที่ใช้เป็นผงหินปูนที่ได้มาจากโรงงานย่อยหินปูนจังหวัดลพบุรี โดยขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงหินปูนอยู่ที่ $8\text{ }\mu\text{m}$ ส่วนสารขยายตัวที่ใช้เป็นวัสดุเชิงพาณิชย์ที่มีขายตามท้องตลาดในประเทศไทยซึ่งเป็นวัสดุที่มีสารประกอบแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นหลักโดยการขยายตัวของสารขยายตัวนี้เกิดจากผลึกของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมออกไซด์ สำหรับมวลรวมละเอียด (Sand) ใช้ทรายแม่น้ำที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.60 และโมดูลัสความละเอียดที่ 3.10

ในการศึกษาผลกระทบของเถ้าลอยผงหินปูน และสารขยายตัวต่อความสามารถเก็บกักคลอไรด์และการดูดซึมน้ำนั้น ใช้มอร์ตาร์ทั้งหมด 20 ส่วนผสมแตกต่างกัน โดยมีมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์อย่างเดียวเป็นวัสดุประสานรวมทั้งมอร์ตาร์ที่ใช้ระบบวัสดุประสานแบบ 2 ชนิด และแบบ 3 ชนิด ซึ่งรายละเอียดส่วนผสมของมอร์ตาร์ดังแสดงในตารางที่ 2 สำหรับมอร์ตาร์ที่ใช้วัสดุประสานแบบ 2 ชนิดประกอบไปด้วยมอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอยร้อยละ 30

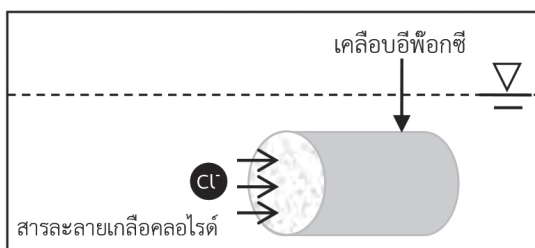
(F30) มอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยผงหินปูนร้อยละ 5, 15 และ 25 (L5, L15 และ L25) และมอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยสารขยายตัวร้อยละ 10 (E10) ส่วนมอร์ตาร์ที่ใช้วัสดุประสานแบบ 3 ชนิดประกอบด้วยมอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอยร้อยละ 5 รวมกับผงหินปูนร้อยละ 25 (F5L25) มอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอยร้อยละ 15 รวมกับผงหินปูนร้อยละ 15 (F15L15) มอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอยร้อยละ 25 รวมกับผงหินปูนร้อยละ 5 (F25L5) และมอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอยร้อยละ 30 รวมกับสารขยายตัวร้อยละ 10 (F30E10) โดยในการออกแบบส่วนผสมมอร์ตาร์ใช้อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน 2.75 ทุกส่วนผสม และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) ที่ 0.40 และ 0.50

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ (OPC1) เถ้าลอย (FA) ผงหินปูน (LP) และสารขยายตัว (EA)

Chemical compositions (%)	OPC1	FA	LP	EA
SiO ₂	20.20	36.10	0.06	9.60
Al ₂ O ₃	4.70	19.40	0.09	2.50
Fe ₂ O ₃	3.73	15.10	0.04	1.30
CaO	63.40	17.40	54.80	67.30
MgO	1.37	2.97	0.57	0.40
SO ₃	1.22	0.77	0.01	18.00
Na ₂ O	0.02	0.55	0.01	-
K ₂ O	0.28	2.17	0.01	-
LOI	2.72	2.81	43.80	0.40
Physical properties				
Fineness (cm ² /g)	3,430	2,460	9,260	3,500
Specific gravity	3.15	2.27	2.70	3.04

2.2. ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์

ในการทดสอบหาความสามารถเก็บกักคลอไรด์ (Chloride binding capacity) สามารถหาได้ทั้งโดยตรงและการประมาณโดยทางอ้อม อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการหาความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ด้วยวิธีทางอ้อมเท่านั้น ซึ่งวิเคราะห์จากผลการทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์แบบแพร่ทั้งหมด (Bulk chloride diffusion) ของมอร์ตาร์ ในการทดสอบหาปริมาณการแทรกซึมคลอไรด์แบบแพร่ทั้งหมดในมอร์ตาร์ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C1556 [28] โดยหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตรตามส่วนผสมที่ออกแบบไว้ จำนวนส่วนผสม 1 ตัวอย่างทำการถอดแบบภายหลังหล่อตัวอย่างเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวอย่างอยู่ในสภาวะการขยายตัวได้แบบอิสระ (Free expansion) อย่างไรก็ตาม ในโครงสร้างจริงคอนกรีตจะอยู่ในสภาวะขยายตัวแบบยึดรั้ง (Restrained expansion) ซึ่งอาจส่งผลทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ และส่งผลเสียต่อความคงทนของคอนกรีต จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปบ่มในน้ำเป็นระยะเวลา 27 วัน ก่อนนำไปเผชิญกับสิ่งแวดล้อมคลอไรด์เมื่อตัวอย่างมอร์ตาร์ครบอายุบ่มตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วจึงนำตัวอย่างขึ้นจากน้ำและทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการทาพื้นผิวตัวอย่างด้วยอีพ็อกซีเพื่อป้องกันไม่ให้คลอไรด์แทรกซึมเข้าไปในตัวอย่าง โดยยกเว้นไว้หนึ่งด้าน (ด้านบนที่หล่อ) ดังรูปที่ 1 เพื่อให้คลอไรด์สามารถแทรกซึมเข้าไปในตัวอย่างตลอดช่วงทำการทดลอง หลังจากทาสีอีพ็อกซีแข็งตัวแล้วจึงนำตัวอย่างไปแช่ในสารละลายเกลือคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 5.0 เป็นระยะเวลา 91 วัน โดยอุณหภูมิตลอดช่วงการทดสอบอยู่ที่ประมาณ 30°C ± 5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 1 การทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ตาร์

เมื่อตัวอย่างครบระยะเวลาเผชิญคลอไรด์แล้วจึงนำตัวอย่างออกจากสารละลายเกลือคลอไรด์ทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศ แล้วนำตัวอย่างไปตัดเป็นแผ่นหนาที่ละ 1 เซนติเมตร ตามความยาวจากผิวหน้าด้านที่เผชิญคลอไรด์ จากนั้นนำแผ่นตัวอย่างที่ตัดแล้วไปบดเป็นผงผ่านตะแกรงเบอร์ 20 เพื่อนำไปทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในมอร์ตาร์ โดยในการบดตัวอย่างจะเลือกเฉพาะบริเวณตรงกลางของแผ่นตัวอย่างทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงคลอไรด์ที่อาจปนเปื้อนจากด้านข้างได้ในการหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมด (Total chloride content) และปริมาณคลอไรด์อิสระ (Free chloride content) ในมอร์ตาร์ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1152 [29] และ ASTM C1218 [30] โดยปริมาณคลอไรด์ที่ถูกยึดจับ (Fixed chloride content) สามารถคำนวณได้จากสมการ

ที่ 1 ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดและปริมาณคลอไรด์อิสระของมอร์ตาร์

$$C_{tot}(t_s, t_e) = C_{fix}(t_s, t_e) + C_{free}(t_s, t_e) \quad (1)$$

โดย $C_{tot}(t_s, t_e)$ คือปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ตาร์ (ร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุประสาน) ; $C_{fix}(t_s, t_e)$ คือปริมาณคลอไรด์ที่ถูกยึดจับในมอร์ตาร์ (ร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุประสาน) ; $C_{free}(t_s, t_e)$ คือปริมาณคลอไรด์อิสระในมอร์ตาร์ (ร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุประสาน); t_s คืออายุตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ระยะเวลาเริ่มเผชิญคลอไรด์ ซึ่งในการทดลองนี้เท่ากับระยะเวลาบ่มน้ำ (วัน) ; และ t_e คือระยะเวลาเริ่มเผชิญคลอไรด์ของมอร์ตาร์ (วัน)



รูปที่ 2 การทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการศึกษา

เลขที่	รหัสตัวอย่าง	วัสดุประสาน (kg)				ทราย (SSD) (kg)	น้ำ (kg)
		ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย*	สารขยายตัว*	ผงหินปูน*		
1	C1W40	1.00	-	-	-	2.75	0.40
2	C1F30W40	0.70	0.30	-	-	2.75	0.40
3	C1L5W40	0.95	-	-	0.05	2.75	0.40
4	C1L15W40	0.85	-	-	0.15	2.75	0.40
5	C1L25W40	0.75	-	-	0.25	2.75	0.40
6	C1E10W40	0.90	-	0.10	-	2.75	0.40
7	C1F5L25W40	0.70	0.05	-	0.25	2.75	0.40
8	C1F15L15W40	0.70	0.15	-	0.15	2.75	0.40
9	C1F25L5W40	0.70	0.25	-	0.05	2.75	0.40
10	C1F30 E10W40	0.60	0.30	0.10	-	2.75	0.40
11	C1W50	1.00	-	-	-	2.75	0.50

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

เลขที่	รหัสตัวอย่าง	วัสดุประสาน (kg)				ทราย (SSD) (kg)	น้ำ (kg)
		ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย*	สารขยายตัว*	ผงหินปูน*		
12	C1F30W50	0.70	0.30	-	-	2.75	0.50
13	C1E10W50	0.90	-	0.10	-	2.75	0.50
14	C1L5W50	0.95	-	-	0.05	2.75	0.50
15	C1L15W50	0.85	-	-	0.15	2.75	0.50
16	C1L25W50	0.75	-	-	0.25	2.75	0.50
17	C1F5L25W50	0.70	0.05	-	0.25	2.75	0.50
18	C1F15L15W50	0.70	0.15	-	0.15	2.75	0.50
19	C1F25L5W50	0.70	0.25	-	0.05	2.75	0.50
20	C1F30 E10W50	0.60	0.30	0.10	-	2.75	0.50

หมายเหตุ: *แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเป็นร้อยละโดยน้ำหนักวัสดุประสาน

2.3. การดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption test) ถูกดำเนินการเพื่อคำนวณหาอัตราการดูดซับ (Sorpsivity rate) หรืออัตราการดูดซึมน้ำ (Water absorption rate) ผ่านผิวหน้าตัวอย่างมอร์ตาร์ โดยในการทดสอบได้ให้ผิวหน้าตัวอย่างหนึ่งด้านเท่านั้นที่สัมผัสกับน้ำที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่ผิวตัวอย่างที่เหลือถูกปิดผนึกทั้งนี้เพื่อจำลองการดูดซึมน้ำในชิ้นตัวอย่างด้านเดียว (ทิศทางเดียว)

การดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1585 [31] โดยหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตรหนา 5 เซนติเมตร ส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง ทำการถอดแบบภายหลังหล่อตัวอย่างเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปบ่มในน้ำเป็นระยะเวลา 28 วัน หลังจากครบอายุบ่มแล้ว นำตัวอย่างไปอบในตู้อบเป็นระยะเวลา 3 วันที่อุณหภูมิ $50^{\circ}\text{C} \pm 2$ องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างออกจากตู้อบโดยเก็บไว้ในภาชนะปิด แล้วทิ้งไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ $23^{\circ}\text{C} \pm 2$ องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน จากนั้นทำการปิดผนึกด้วยเทปไวนิลและแผ่นพลาสติกด้านข้างตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างไปตั้งในภาชนะที่มีน้ำที่ได้เตรียมไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยวางตัวอย่างให้สัมผัสกับน้ำลึก

3 เซนติเมตร โดยประมาณ การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ถูกทำการวัดด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 1, 5, 10, 20, 30 และ 60 นาที หลังจากนั้นจึงทำการวัดทุก ๆ 6 ชั่วโมง อัตราการดูดซึมน้ำ คือความชันของเส้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมเทียบกับรากที่สองของเวลา

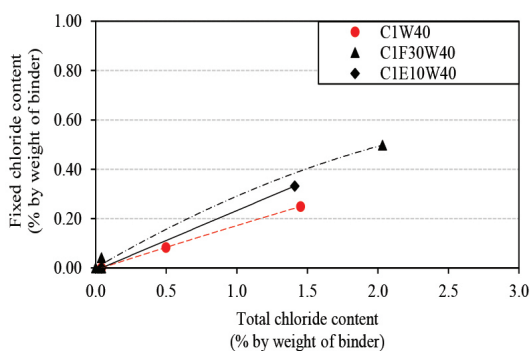
3. ผลการทดลองและอภิปราย

3.1. ความสามารถเก็บกักคลอไรด์

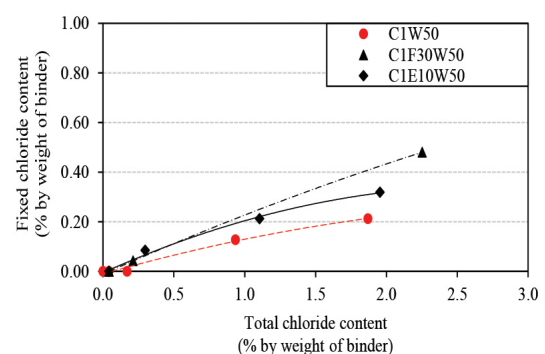
ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ในงานวิจัยนี้ นำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอไรด์ที่ถูกยึดจับกับปริมาณคลอไรด์ทั้งหมด หรือเรียกว่า อัตราส่วนคลอไรด์ที่ถูกยึดจับ (Fixed chloride ratio) พิจารณาความสามารถเก็บกักคลอไรด์ในมอร์ตาร์ที่ใช้วัสดุประสานแบบ 2 ชนิดแสดงดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ จากรูปที่ 3 พบว่า ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและมอร์ตาร์ผสมสารขยายตัว (วัสดุประสานแบบ 2 ชนิด) สูงกว่ามอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว และเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยกับมอร์ตาร์ผสมสารขยายตัว พบว่า ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยสูงกว่ามอร์ตาร์ผสมสารขยายตัว โดยความสามารถเก็บกักคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและ

มอร์ตาร์ผสมสารขยายตัวอาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาของ
 แก๊สและสารขยายตัวในมอร์ตาร์ก่อให้เกิด C-S-H,
 C-A-H และ ettringite มากขึ้นซึ่งสารประกอบเหล่านี้
 มีคุณสมบัติที่สามารถยึดจับคลอไรด์ได้ด้วยกลไกทาง
 กายภาพ [1] อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลกระทบของ
 ผงหินปูนจากรูปที่ 4 พบว่า ความสามารถเก็บกักคลอไรด์
 ของมอร์ตาร์ที่ผสมผงหินปูนต่ำกว่ามอร์ตาร์ซีเมนต์ล้วน
 และเมื่อใช้ผงหินปูนในปริมาณที่มากขึ้น (เพิ่มขึ้นจาก
 ร้อยละ 5 ถึง 25) ส่งผลทำให้ความสามารถเก็บกัก
 คลอไรด์ของมอร์ตาร์ยิ่งลดลง เพราะเนื่องมาจากปริมาณ
 ปูนซีเมนต์ที่ลดลงจากการแทนที่ด้วยผงหินปูน (Dilution
 effect) นอกจากนี้ ผงหินปูนอาจทำหน้าที่เพียงเป็นวัสดุ
 ช่วยเติมเต็มโพรงช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีต (Filler
 effect) เนื่องจากเป็นวัสดุเฉื่อยที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยา
 กับผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันได้

เมื่อพิจารณาผลกระทบของมอร์ตาร์ที่ใช้วัสดุ
 ประสานแบบ 3 ระบบต่อความสามารถเก็บกักคลอไรด์
 จากรูปที่ 5 พบว่า ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของ
 มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยรวมกับสารขยายตัวต่ำกว่าของ
 มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและมอร์ตาร์ผสมสารขยายตัว
 เพียงอย่างเดียว (วัสดุประสาน 2 ชนิด) อย่างไรก็ตาม
 ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอย
 รวมกับสารขยายตัวสูงกว่าเมื่อเทียบกับของมอร์ตาร์
 ซีเมนต์ล้วน จากรูปที่ 6 พิจารณาความสามารถเก็บกัก
 คลอไรด์ของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยรวมกับผงหินปูน
 พบว่า เมื่อใช้เถ้าลอยในปริมาณที่มากขึ้นในขณะที่ใช้
 ผงหินปูนในปริมาณที่น้อยลงส่งผลทำให้ความสามารถ
 เก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้
 ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอย
 รวมกับผงหินปูนต่ำกว่าของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอย
 อย่างเดียว

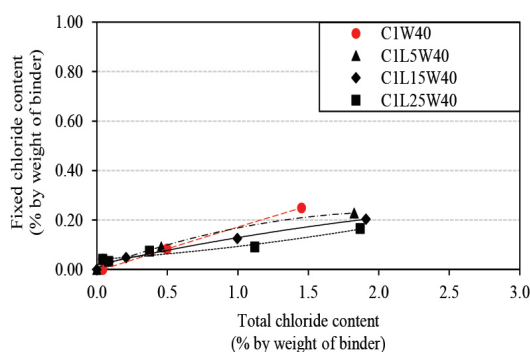


ก) ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) 0.40

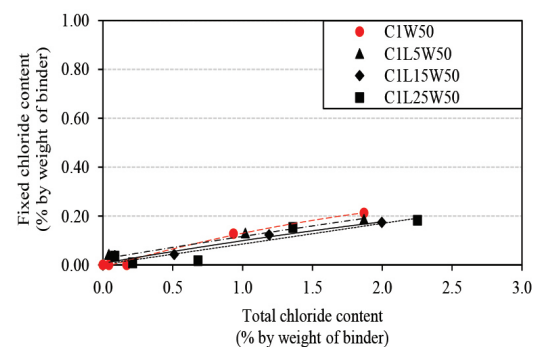


ข) ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) 0.50

รูปที่ 3 ความสามารถยึดจับคลอไรด์ของมอร์ตาร์ที่ใช้วัสดุประสานแบบ 2 ชนิด
 (มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและมอร์ตาร์ผสมสารขยายตัว) ภายหลังเผชิญคลอไรด์เป็นระยะเวลา 91 วัน

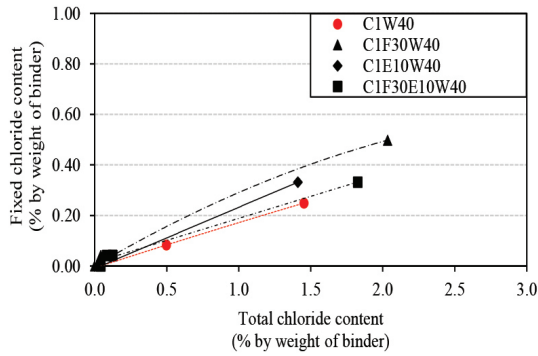


ก) ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) 0.40

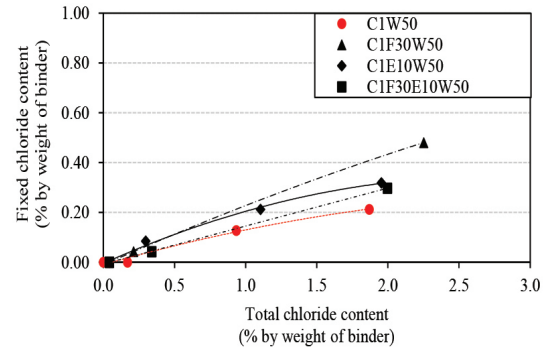


ข) ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) 0.50

รูปที่ 4 ความสามารถยึดจับคลอไรด์ของมอร์ตาร์ที่ใช้วัสดุประสานแบบ 2 ชนิด (มอร์ตาร์ผสมผงหินปูน)
 ภายหลังเผชิญคลอไรด์เป็นระยะเวลา 91 วัน



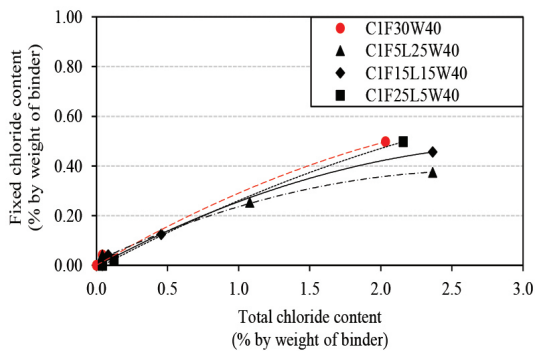
(ก) ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) 0.40



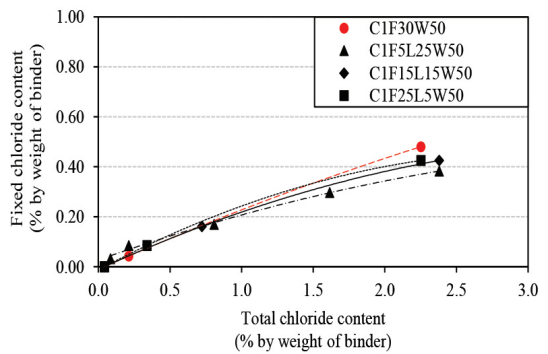
(ข) ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) 0.50

รูปที่ 5 ความสามารถยึดจับคลอไรด์ของมอร์ตาร์ที่ใช้วัสดุประสานแบบ 2 ชนิด และ 3 ชนิด

(มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและสารขยายตัว) ภายหลังเผชิญคลอไรด์เป็นระยะเวลา 91 วัน



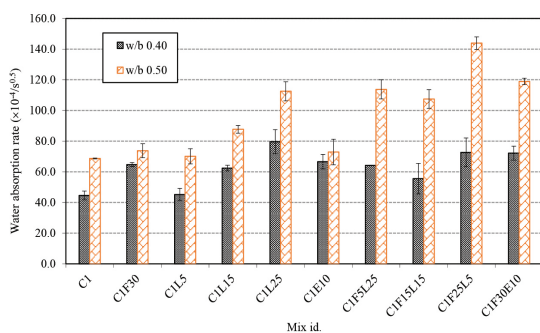
(ก) ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) 0.40



(ข) ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) 0.50

รูปที่ 6 ความสามารถยึดจับคลอไรด์ของมอร์ตาร์ที่ใช้วัสดุประสานแบบ 2 ชนิด และ 3 ชนิด

(มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและผงหินปูน) ภายหลังเผชิญคลอไรด์เป็นระยะเวลา 91 วัน



รูปที่ 7 การดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย (FA) ผงหินปูน (LP) และ สารขยายตัว (EA)

3.2. การดูดซึมน้ำ

รูปที่ 7 แสดงผลการทดลองอัตราการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย (FA) ผงหินปูน (LP) และ สารขยายตัว (EA) ซึ่งพบว่า อัตราการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ลดลงเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b)

ลดลง เมื่อพิจารณาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 2 ชนิด พบว่า อัตราการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย มอร์ตาร์ผสมผงหินปูนและมอร์ตาร์ผสมสารขยายตัวมีแนวโน้มสูงกว่าของมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์อย่างเดียวในขณะเดียวกัน สำหรับมอร์ตาร์ผสมผงหินปูนเมื่อใช้ผงหินปูนในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลทำให้อัตราการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม การดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยต่ำกว่าเมื่อเทียบกับของมอร์ตาร์ที่ผสมผงหินปูน แต่สูงกว่าเมื่อเทียบกับของมอร์ตาร์ที่ผสมสารขยายตัว เมื่อพิจารณาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานแบบ 3 ชนิด จากผลการทดลอง พบว่า มอร์ตาร์ที่ใช้เถ้าลอยรวมกับผงหินปูน เมื่อเพิ่มร้อยละแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยมากขึ้น (เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 ถึง 25) แต่ลดร้อยละแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูน (เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 25 ถึง 5) ส่งผลทำให้

อัตราการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นและสูงกว่าของมอร์ตาร์ที่ใช้ซีเมนต์ล้วน นอกจากนี้ อัตราการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยรวมกับสารขยายตัวสูงกว่าของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยอย่างเดียวเนื่องจากความแข็งของเพสต์ในมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยต่ำที่อายุต้นซึ่งเกิดการขยายตัวได้ง่ายหากใช้ร่วมกับเถ้าลอยส่งผลอาจทำให้เกิดเป็นรอยร้าวภายในโครงสร้างเพสต์ได้ การดูดซึมน้ำจึงสูงขึ้น อัตราการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย ผงหินปูน และ สารขยายตัวที่มีค่าสูงกว่าของมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวนั้นอาจเป็นเพราะเนื่องมาจากวัสดุเหล่านี้ในช่วงอายุต้นที่ 28 วัน เกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่าปูนซีเมนต์ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาต่าง ๆ น้อยลง ทำให้ผิวหน้าตัวอย่างเมื่อต้องสัมผัสกับน้ำอาจถูกชะล้างได้ง่ายขึ้น

4. สรุปผล

จากการศึกษาความสามารถเก็บกักคลอไรด์ และการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอย ผงหินปูน และสารขยายตัว สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและมอร์ตาร์ผสมสารขยายตัวสูงกว่าของมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยสูงกว่าของมอร์ตาร์ผสมสารขยายตัว
2. ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ที่ผสมผงหินปูนต่ำกว่าของมอร์ตาร์ซีเมนต์ล้วน และเมื่อใช้ผงหินปูนในปริมาณที่มากขึ้น (เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 ถึง 25) ส่งผลทำให้ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ยิ่งลดลง
3. ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยรวมกับสารขยายตัวต่ำกว่าของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและมอร์ตาร์ผสมสารขยายตัวเพียงอย่างเดียว แต่สูงกว่าของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ล้วน
4. ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยรวมกับผงหินปูนต่ำกว่าของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยอย่างเดียว แต่ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของมอร์ตาร์ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เถ้าลอยในปริมาณที่มากขึ้นในขณะที่ใช้ผงหินปูนในปริมาณที่น้อยลง

5. อัตราการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ต่ำกว่าของมอร์ตาร์ที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 อัตราการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย ผงหินปูน และ สารขยายตัวต่ำกว่าของมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์อย่างเดียว

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สัญญาเลขที่ 17/2550 และการสนับสนุนจากหน่วยวิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษาบูรพา (BCONTEC) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sumranwanich T, Tangtermsirikul S. A model for predicting time-dependent chloride binding capacity of cement-fly ash cementitious system. *Materials and Structures*. 2004; 37: 387-96.
- [2] Pérez BM, Zibara H, Hooton RD, Thomas MDA. A study of the effect of chloride binding on service life predictions. *Cement and Concrete Research*. 2000; 30: 1215-23.
- [3] Florea MVA, Brouwers HJH. Modelling of chloride binding related to hydration products in slag-blended cements. *Construction and Building Materials*. 2014; 64: 421-30.
- [4] Sumranwanich T, Tangtermsirikul S. Time-dependent chloride binding capacity of various types of cement pastes. *ScienceAsia*. 2004; 30(2):127-34.
- [5] Kim MJ, Kim KB, Ann KY. The influence of C3A content in cement on the chloride transport. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2016; 2016: 1-8.

- [6] Zhu Q, Jiang L, Chen Y, Xu J, Mo L. Effect of chloride salt type on chloride binding behavior of concrete. *Construction and Building Materials*. 2012; 37: 512-7.
- [7] Thomas MDA, Hooton RD, Scott A, Zibara H. The effect of supplementary cementitious materials on chloride binding in hardened cement paste. *Cement and Concrete Research*. 2012; 42: 1-7.
- [8] Muthulingam S, Rao, BN. Chloride binding and time-dependent surface chloride content models for fly ash concrete. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*. 2015; 10(1): 112-20.
- [9] Cheewaket T, Jaturapitakkul C, Chalee W. Long term performance of chloride binding capacity in fly ash concrete in a marine environment. *Construction and Building Materials*. 2010; 24(8): 1352-7.
- [10] Jena T, Panda KC. Mechanical and durability properties of marine concrete using fly ash and silpozz. *Advances in Concrete Construction*. 2018; 6(1): 47-68.
- [11] Zunino F, Boehm–Courjault E, Scrivener K. The impact of calcite impurities in clays containing kaolinite on their reactivity in cement after calcination. *Materials and Structures*. 2020; 53(44): 1-15.
- [12] Mehta PK. Studies on blended Portland cements containing Santorin earth. *Cement and Concrete Research*. 1981; 11(4): 507-18.
- [13] Mehta PK, Monterio P.J.M. *Concrete: Microstructure. Properties and Materials*. (3rd Edition), The McGraw-Hill Companies. 2006.
- [14] Massazza F. Pozzolanic cements. *Cement and Concrete Composites*. 1993; 15(4): 185-214.
- [15] Chindaprasirt P, Jaturapitakkul C, Sinsiri T. Effect of fly ash fineness on micro-structure of blended cement paste. *Construction and Building Materials*. 2007; 21(4): 1534-41.
- [16] Nguyen C.V, Lambert P, Bui V.N. Effect of locally sourced pozzolan on corrosion resistance of steel in reinforced concrete beams. *International Journal of Civil Engineering*. 2020; 18: 619-30.
- [17] Arttamart S, Sumranwanich T. Compressive strength and chloride penetration resistance of concrete with fly ash, limestone powder and partial replacement of fine aggregate by bottom ash. *Journal of Engineering, RMUTT*. 2019; 17(2): 113-25. (in Thai)
- [18] Hussain K, Choktaweekarn P, Saengsoy W, Srichan T, Tangtermsirikul S. Effect of cement types, mineral admixtures, and bottom ash on the curing sensitivity of concrete. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. 2013; 20(1): 94-105.
- [19] Deilami S, Aslani F, Elchalakani M. Durability assessment of self-compacting concrete with fly ash. *Advances in Concrete Construction*. 2017; 19(5): 489-99.
- [20] Sadrmomtazi A, Tahmouresi B, Amooie M. Permeability and mechanical properties of binary and ternary cementitious mixtures. *Advances in Concrete Construction*. 2017; 5(5): 423-36.

- [21] Naik TR, Singh SS, Hossain MM. Properties of high-performance concrete systems incorporating large amounts of high-lime fly ash. *Construction and Building Materials*. 1995; 9(4): 195-204.
- [22] Praveen Kumar VV, Ravi Prasada D. Influence of supplementary cementitious materials on strength and durability characteristics of concrete. *Advances in Concrete Construction*. 2019; 7(2): 75-85.
- [23] Juenger MCG, Siddique R. Recent advances in understanding the role of supplementary cementitious materials in concrete. *Cement and Concrete Research*. 2015; 78(1): 71-80.
- [24] Sunil BM, Manjunatha LS, Lolitha R, Subhash CY. Potential use of mine tailings and fly ash in concrete. *Advances in Concrete Construction*. 2015; 3(1): 55-69.
- [25] Lawrence P, Cyr M, Ringot E. Mineral admixtures in mortars: effect of inert materials on short term hydration. *Cement and Concrete Research*. 2003; 33(12): 1939-47.
- [26] Lam NT, Sumranwanich T, Krammart P, Yodmalai D, Sahamitmongkol R, Tangtermsirikul S. Durability properties of concrete with expansive additive. *Research and Development Journal*. 2008; 19(4): 8-15.
- [27] Liu K, Shui Z, Sun T, Ling G, Li X, Cheng S. Effects of combined expansive agents and supplementary cementitious materials on the mechanical properties, shrinkage and chloride penetration of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. 2019; 211: 120-9.
- [28] American Society for Testing and Materials. ASTM 1556. Standard test method for determining the apparent chloride diffusion coefficient of cementitious mixtures by bulk diffusion. *Annual Book of ASTM Standard*. 2004; Vol. 4.02.
- [29] American Society for Testing and Materials. ASTM C1152. Standard test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete. *Annual Book of ASTM Standards*. 2004; Vol. 4.02.
- [30] American Society for Testing and Materials. ASTM C1218. Standard test method for water-soluble chloride in mortar and concrete. *Annual Book of ASTM Standards*. 2004; Vol. 4.02.
- [31] American society for testing materials. ASTM C1585-04. Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic-cement concrete. *Annual Book of ASTM Standards*. 2004; Vol. 4.02.

ระบบควบคุมการหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันโดยใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

ไพโรจน์ ทองประเสริฐ^{1*} และไพศักดิ์ พูลผกา²
pairote@eng.src.ku.ac.th^{1*}, paisak@eng.src.ku.ac.th²

^{1*, 2} ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

Received : 09-Jul-2020
Revised : 27-Oct-2020
Accepted : 30-Oct-2020

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบควบคุมการหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันสำหรับเครื่องจักรโดยใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์หรือพีแอลซี รุ่นNX1P2 แทนการควบคุมแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โปรแกรมควบคุมพีแอลซีถูกออกแบบตามโครงสร้างมาตรฐาน IEC61131-3 ระบบควบคุมสามารถตั้งค่าและแสดงผลการทำงานผ่านหน้าจอสั่งการรุ่น NB7W-TW01B ตัวรับรู้ถูกใช้ในระบบควบคุมมีทั้งหมด 7 ตัว แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ ตัวรับรู้วัดระดับ ตัวรับรู้วัดอุณหภูมิ และตัวรับรู้วัดความดัน ตัวรับรู้เหล่านี้ส่งสัญญาณให้พีแอลซีเพื่อควบคุมไฟแสดงสถานะ วาล์วเปิดเปิดน้ำมัน เครื่องทำความร้อนของน้ำมันและลมผ่านอุปกรณ์ตัดต่อวงจรแบบไม่ใช้หน้าสัมผัสและแบบใช้หน้าสัมผัส โปรแกรมควบคุมพีแอลซีใช้ฟังก์ชัน Auto-tuning เพื่อช่วยคำนวณค่า Kp Ki และ Kd ที่เหมาะสมกับระบบ การทดสอบโปรแกรม เครื่องทำความร้อนของน้ำมันและลมทำงานเมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งไว้ ป้อนลมทำงานถ้าความดันอากาศอยู่ระหว่างค่าที่ตั้งไว้ และปั้มน้ำมันทำงานเมื่อระดับน้ำมันต่ำกว่าค่าระดับล่างที่ตั้งไว้โดยหยุดทำงานเมื่อระดับน้ำมันสูงกว่าค่าระดับบนที่ตั้งไว้ ผลที่ได้ยืนยันความถูกต้องและน่าเชื่อถือของระบบควบคุมที่นำเสนอ นอกจากนี้ระบบสามารถแจ้งเตือนผ่านไฟแสดงสถานะและเก็บข้อมูลหรือเหตุการณ์ได้ ระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันควบคุมด้วยพีแอลซีถูกนำไปใช้งานที่ PTTGC#4 โดยตั้งค่าการใช้งานตาม Site Acceptance Test ผลที่ได้ระบบทำงานถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน พีแอลซี หน้าจอสั่งการ ระบบควบคุมตามค่าที่กำหนด

Oil Mist Lubrication Control System using Programmable Logic Controller

Pairote Thongprasri^{1*} and Paisak Poolphaka²
pairote@eng.src.ku.ac.th^{1*}, paisak@eng.src.ku.ac.th²

^{1,2} Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

Received	: 09-Jul-2020
Revised	: 27-Oct-2020
Accepted	: 30-Oct-2020

Abstract

This paper presents an oil mist lubrication control system using NX1P2 Programmable Logic Controller (PLC) instead of microcontroller. The PLC control program is designed according to the IEC61131-3 standard structure. The control system can be set and displayed the operation via a human machine interface model NB7W-TW01B. There are 7 sensors used in the control system, which are divided into 3 types; level sensor, temperature sensor, and pressure sensor. These sensors send the signals to PLC to control the status light, oil solenoid valve, oil heater, and air heater through the solid state relay and mechanical relay. The PLC control program uses the Auto-tuning function to calculate the appropriate values of Kp, Ki and Kd for the system. Program testing; the heater operates when the temperature reaches the set value, the air pump operates if the air pressure is between the set value, and the oil pump operates when the oil level is below the set lower value, it stops when the oil level is higher than the set top value. The results confirm the accuracy and reliability of the proposed control system. In addition, the system can alert via status light and store data or events. The oil mist lubrication control system using the PLC is used at PTTGC # 4, which is set up according to the Site Acceptance Test. The result, the system operates correctly and efficiently.

Keywords: oil mist lubrication, PLC, microcontroller, human machine interface, regulated control

1. บทนำ

วัสดุทุกชนิดที่มีผิวเรียบหากขยายภาพจะพบว่าผิวมีลักษณะคล้ายยอดเขา เมื่อผิววัสดุชิ้นหนึ่งถูกดันให้เคลื่อนที่ไปบนผิววัสดุชิ้นอื่น ผิวสัมผัสจะทำให้เกิดแรงเสียดทานและทำให้เกิดความร้อน ส่งผลให้เกิดการสึกหรอของผิวสัมผัส ถึงแม้จะมีแรงกดที่ผิวสัมผัสไม่มากนักแต่ความเค้นบนผิวส่วนที่เป็นยอดเขาอาจจะสูงและถ้าวัสดุที่มีความแข็งต่างกันสองชนิดถูกกดและดันให้เคลื่อนที่ พื้นผิวส่วนที่เป็นยอดเขาของวัสดุที่อ่อนกว่าจะสึกหรอมากกว่ายอดเขาของวัสดุที่แข็งกว่าเสมอ การหล่อลื่นจะช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสที่เคลื่อนที่ และยังช่วยระบายความร้อนออกจากผิวสัมผัสด้วยการหล่อลื่นเป็นส่วนสำคัญของการบำรุงรักษาเครื่องจักรสำหรับโรงงานผลิต ถ้าโครงสร้างของเครื่องจักรอุตสาหกรรมมีความซับซ้อนมาก ระบบอัตโนมัติได้ถูกนำมาใช้เพื่อจ่ายสารหล่อลื่นไปยังจุดเติมหล่อลื่นต่าง ๆ ระบบอัตโนมัติที่ดีส่งผลให้การดูแลและการบำรุงรักษาทำได้ให้ลดต้นทุนการดำเนินงาน การเลือกใช้ระบบหล่อลื่นขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเครื่องจักรอุตสาหกรรม [1] [2] เช่น ระบบหล่อลื่นจากศูนย์กลาง (centralized lubrication system) มีหลักการทำงานคือ ปัมป์จะส่งน้ำมันจากถังเก็บผ่านระบบท่อส่งไปยังจุดที่ต้องการสารหล่อลื่น และชิ้นส่วนเครื่องจักรต่างๆ โดยอัตโนมัติ ทำให้รักษาความหนาของฟิล์มหล่อลื่นได้อย่างเหมาะสม ระบบหล่อลื่นจากศูนย์กลางแบบท่อเดียว (single line lubrication system) ใช้หลักการเติมสารหล่อลื่นจากท่อเพียงเส้นเดียว สามารถจ่ายสารหล่อลื่นไปยังทุกจุดที่สำคัญและซับซ้อนยากต่อการเข้าถึง ระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน (oil mist lubrication system) [3] เป็นระบบหล่อลื่นจากศูนย์กลางที่ใช้หลักการลมควบคุมน้ำมันทำให้เป็นละออง ส่งผลให้ประหยัดน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น ตัวควบคุมที่ถูกนำมาใช้กับระบบอัตโนมัติส่วนใหญ่จะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ [4] [5] เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูงต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน มีปัจจัยที่ต้องพิจารณา เช่น การอินเตอร์เฟซกับอุปกรณ์ภายนอก [6] อาจอยู่ในรูปแบบของ USB, I2C, UART, SPI หรืออินเทอร์เนต และการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่เป็น ADC inputs, digital

inputs/outputs, PWM หรือขาอื่นๆ ที่จำเป็น ความเร็วสัญญาณของหน่วยประมวลผล และซอฟต์แวร์ เป็นต้น

การหล่อลื่นด้วยมือมีความคลาดเคลื่อน 54% เกิดจากใส่สารหล่อลื่นมากหรือน้อยเกินไปพีแอลซีถูกนำมาใช้เป็นตัวควบคุมเพื่อแก้ไขปัญหา เนื่องจากมีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมและต้นทุนต่ำ [7] ระบบการหล่อลื่นควบคุมด้วยพีแอลซีอย่างง่ายสามารถสั่งการและตรวจสอบผ่านระบบออนไลน์ถูกนำเสนอ [8] ระบบการหล่อลื่นควบคุมด้วยพีแอลซีโดยใช้วิธีการแจ้งเตือนผ่านหน้าจอสัมผัส HMI [9] ถูกนำเสนอเพื่อลดความผิดพลาดระหว่างรอบการหล่อลื่นที่มีเส้นทางการจ่ายสารหล่อลื่นระยะยาว

บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) : (PTTGC#4) ใช้ระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันดังแสดงในรูปที่ 1 มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลร่วมกับตัวรับรู้ชนิดตรวจวัดอุณหภูมิ ระดับและความดัน อุปกรณ์ทำความร้อน ค่าตัวแปรต่างๆ จะถูกกำหนดผ่านทางแผงควบคุม การแสดงผลจะแสดงผ่านหน้าจอแอลซีดี



รูปที่ 1 ระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน

ที่ PTTGC#4 ได้มีการติดตั้งระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันจำนวนค่อนข้างมาก ปัญหาการใช้งานที่เกิดขึ้นคือระบบควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลช้ารุดบ่อย ซึ่งค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงค่อนข้างสูง และใช้เวลาค่อนข้างนาน เนื่องจาก ต้องใช้บริษัทภายนอกแบบจ้างเหมาทำการเปลี่ยนแบบยกชุด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชุดควบคุมหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน

เพื่อแก้ปัญหาให้กับ PTTGC#4 ในงานวิจัยนี้ นำเสนอการควบคุมระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน ด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์หรือพีแอลซี (Programmable Logic Controller : PLC) พีแอลซีเป็นอุปกรณ์ชนิดโซลิดสเตต (solid state) ทำงานแบบตรรกะหรือลอจิก เหมาะสำหรับใช้ควบคุมกระบวนการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์โรงงานอุตสาหกรรม มีไมโครโพรเซสเซอร์เป็นหน่วยประมวลผลกลาง พีแอลซีที่ใช้เป็นของบริษัทฮอมนอน ตระกูล NX1P2 เชื่อมต่อกับ HMI (Human Machine Interface) รุ่น NB7W-TW01B สำหรับกำหนดค่าตัวแปรและแสดงผล ภาษาแลดเดอร์ที่ใช้เขียนโปรแกรมควบคุมพีแอลซีเป็นไปตามมาตรฐาน IEC61131-3 [10]-[11] เมื่อปัญหาเกิดขึ้นที่ตัวควบคุมพีแอลซี สามารถหาซื้อเปลี่ยนได้ง่าย ราคาไม่สูงและทำการโปรแกรมลงพีแอลซี ผลที่ได้คือสามารถทำได้เอง ค่าใช้จ่ายไม่สูง และใช้เวลาไม่นานในการซ่อมบำรุง

2. หลักการทำงานของระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน

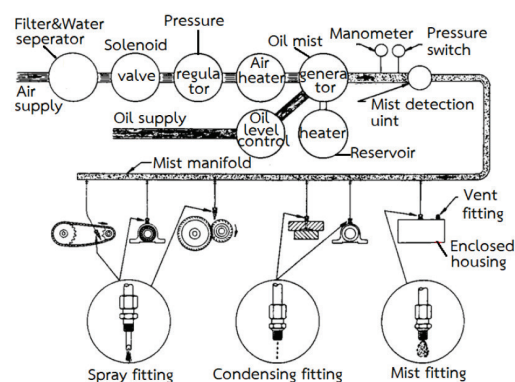
วิธีการหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน [12]-[14] เริ่มใช้งานตั้งแต่ปี 1930 โดยโรงงานผลิตตลับลูกปืน ในยุโรปที่ร่วมกันพัฒนา แก้ปัญหาการหล่อลื่นตลับลูกปืน ความเร็วรอบสูงที่โรงงานได้ผลิตขึ้น การหล่อลื่นจะมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง ๆ และเป็นละอองน้ำมัน ซึ่งจะช่วยให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันกว่า 80% ทั่วโลกเลือกใช้งานระบบนี้ เนื่องจากมีจุดเด่นกว่าวิธีการหล่อลื่นอื่นๆ คือปกป้องอุปกรณ์ไม่ให้มีสิ่งปนเปื้อนเข้าสู่ลูกปืนและลดอุณหภูมิการทำงานลง 15% และลดความเสียหายลงได้ถึง 90% ทำให้อุปกรณ์ทำงานได้นานขึ้นหลายเท่า สารหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันนั้นเกิดจากการผสมของน้ำมัน 1 ส่วน ลม 200,000

ส่วน ส่งจ่ายได้ในรัศมี 150 เมตร ขนาดของละอองน้ำมันที่มีขนาดเล็กกว่า 3 ไมครอน มีขนาดเล็กเกินไปที่จะทำให้พื้นผิวอุปกรณ์เปียกแต่สามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย ละอองน้ำมันที่มีขนาดมากกว่า 3 ไมครอน มีขนาดใหญ่และหนักพอที่จะทำให้พื้นผิวอุปกรณ์เปียกสามารถหล่อลื่นแบร้งได้ อุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนขนาดของละอองน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 อุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนขนาดของละอองน้ำมัน

หลักการทำงานของระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 4 เริ่มจากลมที่ถูกจ่ายจากแหล่งจ่ายลมถูกทำให้กลายเป็นลมแห้ง ควบคุมการปิด-เปิดด้วยระบบวาล์วที่ใช้พลังงานไฟฟ้า (solenoid valve) ลมแห้งจะถูกรักษาคความดันใช้งานให้คงที่ (pressure regulator) หลังจากนั้นจะเพิ่มอุณหภูมิให้ลมแห้งเพื่อไปผสมกับน้ำมันที่ถูกควบคุมระดับ (oil level control) ซึ่งถูกดูดขึ้นมาจากอ่างเก็บน้ำมัน กลายเป็นแหล่งกำเนิดละอองน้ำมัน โดยจะถูกเพิ่มอุณหภูมิจากแหล่งให้ความร้อน (reservoir heater) ละอองน้ำมันที่ใช้ในระบบจะถูกวัดและควบคุมความดันด้วยมาโนมิเตอร์และสวิตช์ควบคุมความดันตามลำดับ

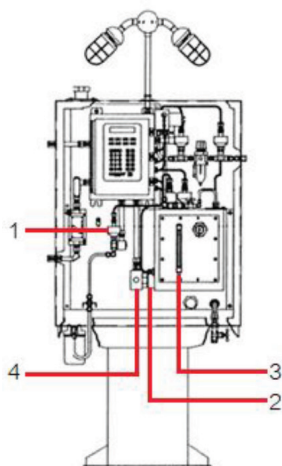


รูปที่ 4 การทำงานของระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน [15]

หน่วยตรวจจับละอองน้ำมัน (mist detection unit) ที่ผ่านสวิทช์ควบคุมความดัน จะถูกส่งผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนขนาดละอองน้ำมัน เพื่อทำให้ละอองน้ำมันกลายเป็นหมอกละอองน้ำมัน (mist fitting) สำหรับโซลิดบนที่อยู่ของอุปกรณ์ หดน้ำมันด้วยอุปกรณ์ควบแน่น (condensing fitting) สำหรับหล่อลื่นแบบรี้ง ทำให้เป็นแบบพ่น (spray fitting) สำหรับใช้หล่อลื่นโซ่เฟือง

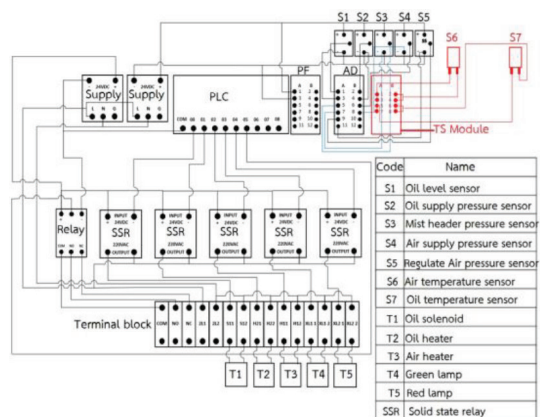
3. ระบบควบคุมในระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน

การควบคุมอัตโนมัติของระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันต้องใช้ตัวรับรู้ (sensor) ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับปริมาณทางฟิสิกส์ โดยอาศัยหลักการทำงานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของตัวรับรู้ เพื่อส่งค่าที่ได้ให้ตัวควบคุมชนิดพีแอลซีประมวลผลตามคำสั่งของโปรแกรม ตัวรับรู้และอุปกรณ์เพิ่มอุณหภูมิพื้นฐานของระบบหล่อลื่นละอองน้ำมันประกอบด้วย หมายเลขที่ 1 เป็นตัวรับรู้ความดันแหล่งจ่ายน้ำมัน (oil supply pressure sensor) หมายเลขที่ 2 เป็นตัวรับรู้อุณหภูมิของน้ำมัน (oil temperature sensor) และหมายเลขที่ 3 เป็นตัวรับรู้ระดับน้ำมัน (oil level sensor) ส่วนหมายเลขที่ 4 เป็นอุปกรณ์เพิ่มอุณหภูมิน้ำมัน (oil heater) ดังแสดงในรูปที่ 5

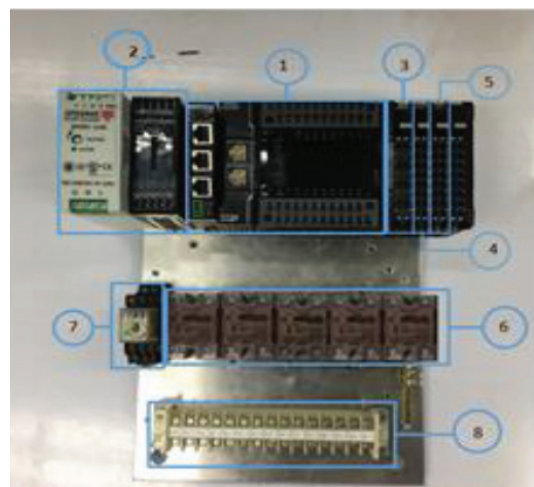


รูปที่ 5 ตัวรับรู้พื้นฐานของระบบละอองน้ำมัน

พีแอลซี รุ่นNX1P2 ใช้เป็นตัวควบคุมระบบอัตโนมัติ โดยมีแผนภาพการต่ออุปกรณ์ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การต่ออินพุตเอาต์พุตเข้ากับพีแอลซี



รูปที่ 7 พีแอลซีและอุปกรณ์ภาคอินพุต/เอาต์พุต

การต่ออุปกรณ์เข้ากับพีแอลซีส่วนของอินพุต มีตัวรับรู้ทั้งหมด 7 ตัว ประกอบด้วย S1 : ตัวรับรู้ระดับน้ำมัน (oil level sensor), S2 : ตัวรับรู้ความดันของแหล่งจ่ายน้ำมัน (oil supply pressure sensor), S3 : ตัวรับรู้ความดันของละออง (mist pressure sensor), S4 : ตัวรับรู้ความดันของแหล่งจากลม (air supply pressure sensor), S5:ตัวรับรู้ความดันของลมที่ถูกควบคุม (regulated air pressure sensor), S6 : ตัวรับรู้อุณหภูมิของลม (air temperature sensor), และ S7 : ตัวรับรู้อุณหภูมิของน้ำมัน (oil temperature sensor) โดยจะถูกแบ่งตามสัญญาณด้านนอกของตัวรับรู้ได้ 2 ประเภท คือ

1) ประเภทสัญญาณแอนะล็อกแบบไฟกระแสดตรงสเกล 0-5 โวลต์ ได้แก่ ตัวรับรู้ตรวจวัดระดับและตัวรับรู้ตรวจวัดความดัน สัญญาณที่ได้จากตัวรับรู้

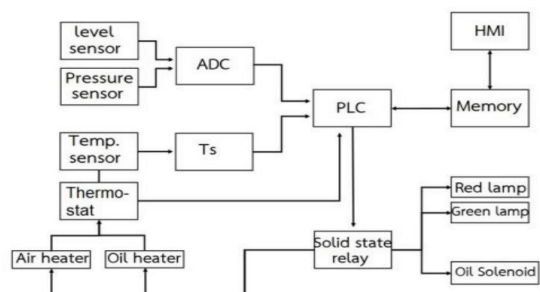
S1-S5 ถูกเปลี่ยนให้เป็นค่าดิจิทัลโดยต่อผ่านโมดูล ADC (Analog to Digital Converter)

2) ประเภทสัญญาณแอนะล็อกแบบค่าความต้านทานปรับเปลี่ยนตามอุณหภูมิ ได้แก่ ตัวรับรู้อุณหภูมิ S6 และ S7 ค่าความต้านทานที่ได้จากตัวรับรู้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นดิจิทัลในรูปแบบของหน่วยองศาเซลเซียสโดยต่อผ่านโมดูล TS (Temperature Signal)

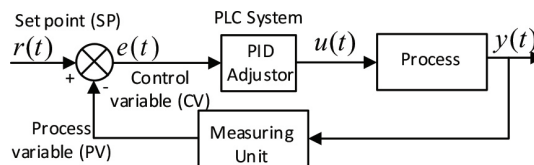
ส่วนของเอาต์พุตมีอุปกรณ์ทั้งหมด 7 ตัว ถูกต่อผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างสายไฟ (terminal block) ประกอบด้วย T1: วาล์วเปิดปิดน้ำมัน (oil solenoid valve), T2 : เครื่องทำความร้อนน้ำมัน (oil heater), T3 : เครื่องทำความร้อนลม (air heater), T4 : ไฟสีเขียวแสดงว่าระบบทำงานปกติ (green lamp), T5 : ไฟสีแดงแสดงว่าระบบทำงานมีการแจ้งเตือน (red lamp), SSR : อุปกรณ์ตัดต่อวงจรแบบไม่ใช้หน้าสัมผัส (solid state relay) และอุปกรณ์ตัดต่อวงจรแบบใช้หน้าสัมผัส (relay)

รูปที่ 7 แสดงการต่ออุปกรณ์เข้ากับพีแอลซี ประกอบด้วยหมายเลขดังนี้ 1 : พีแอลซี รุ่น NX1P2, 2 : แหล่งจ่ายไฟให้พีแอลซี, 3 : PF คือ แหล่งจ่ายไฟให้กับโมดูล ADC และ TS, 4 : โมดูล ADC, 5: โมดูล TS, 6: SSR, 7: Relay, และ 8 : อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างสายไฟ

อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตที่ต่อเข้ากับพีแอลซี เพื่อควบคุมระบบหล่อลื่นแบบลอยน้ำมัน สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 8 โดยจะถูกนำไปใช้สำหรับออกแบบโปรแกรมในลำดับถัดไป



รูปที่ 8 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมด้วยพีแอลซี



รูปที่ 9 หลักการควบคุม PID

การควบคุมแบบ PID เป็นกระบวนการที่นิยมนำมาใช้ในการควบคุม [16]-[17] มีหลักการทำงานดังรูปที่ 9 โดยสามารถลดค่าการเกิดผิดพลาดที่สถานะคงตัวของระบบได้ ค่าตัวแปรของ PID สามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$u(t) = P + I + D$$

$$= K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

เมื่อ

P (proportional) คือ การปรับสัดส่วนสัญญาณ

I (integral) คือ การอินทิเกรตสัญญาณ

D (derivative) คือ การอนุพันธ์สัญญาณ

K_p คือ อัตราการขยายแบบสัดส่วน

K_i คือ อัตราการขยายอินทิเกรต

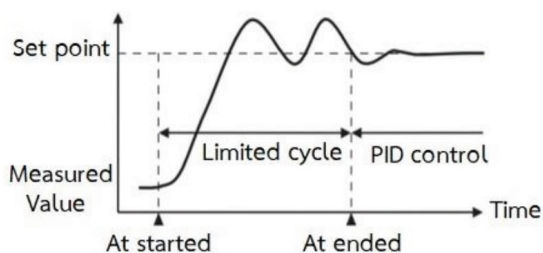
K_d คือ อัตราการขยายอนุพันธ์

$u(t)$ คือ สัญญาณควบคุม

$e(t)$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของสัญญาณ SV กับ PV

โดยที่ Set point (SV) คือค่าที่ต้องการควบคุม และ

Process variable (PV) เป็นค่าที่วัดได้มาจากกระบวนการ



รูปที่ 10 ฟังก์ชัน Auto-tuning

ช่วยคำนวณค่า K_p , K_i และ K_d

พีแอลซีมีฟังก์ชัน Auto-tuning ช่วยในการคำนวณค่า K_p , K_i และ K_d โดยใช้หลักการคำนวณค่าการตอบสนองของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงของ Control variable ค่า K_p , K_i และ K_d ที่ได้จากการทำ Auto-tuning จะเป็นค่าที่เหมาะสมกับระบบดังแสดงในรูปที่ 10

โดยระบบการควบคุมแบบ PID ถูกนำไปใช้สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องทำความร้อนของลมและน้ำมันให้มีค่าคงที่ตามที่ต้องการแทนระบบเดิมที่เป็นการควบคุมแบบวงจรมหัพ (open loop control) โดยระบบจะทำการรับค่าอุณหภูมิจากตัวตรวจจับอุณหภูมิ ชนิด RTD PT1000 โดยค่าความต้านทานของตัวตรวจจับอุณหภูมิ จะถูกแปลงเป็นค่าอุณหภูมิโดยผ่านโมดูล TS

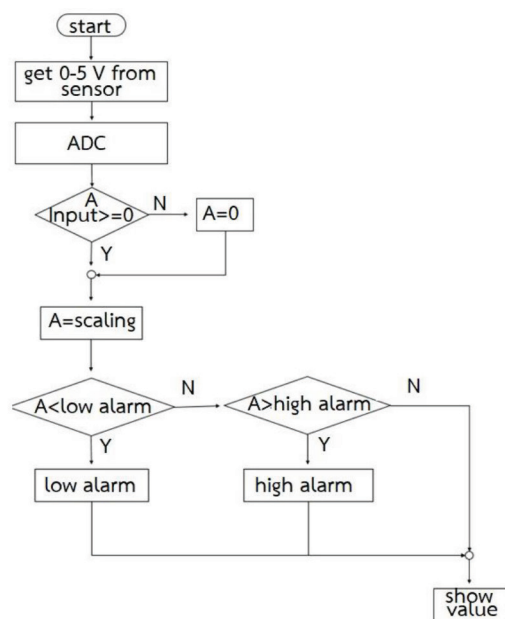
4. การออกแบบโปรแกรมพีแอลซีและผลการทดลอง

การควบคุมพีแอลซีดังรูปที่ 8 ถูกออกแบบโปรแกรมโดยใช้เงื่อนไข Site Acceptance Test (SAT) ตามตารางที่ 1 ซึ่งถูกกำหนดโดย PTTGC#4

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดจากโรงงาน

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด	High Alarm	Low Alarm
air heater temperature	60 °C	82 °C	38 °C
oil heater temperature	43 °C	60 °C	27 °C
reservoir oil level	60%	95%	30%
mist pressure	N/A	770 mmH ₂ O	247 mmH ₂ O
supply air pressure	N/A	10.3 bar	1.7 bar
regulated air pressure	N/A	4.5 bar	0.7 bar

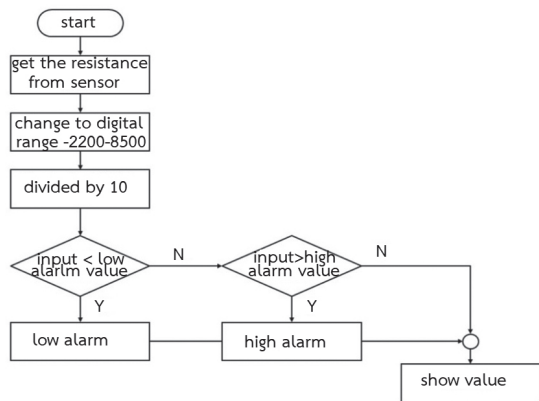
การออกแบบโปรแกรมของตัวรับรู้ S1-S5 มีผังการทำงานดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 แผนภาพการเขียนโปรแกรมตัวรับรู้ผ่านโมดูล ADC

เมื่อตัวรับรู้ทำงาน สัญญาณที่ถูกส่งออกมาจะเป็นสัญญาณแอนะล็อก 0-5 โวลต์ จากนั้นได้ทำการเปลี่ยนเป็นค่าดิจิทัลอยู่ในช่วง 0-2,000 และทำการสเกลค่าตามหน่วยที่ต้องการวัด ข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำ โดยข้อมูลนี้สามารถนำค่ามาแสดงผลผ่านหน้าจอสั่งการหรือหน้าจอสัมผัสแบบ HMI ได้โดยตัวรับรู้ตรวจวัดระดับจะแสดงผลมีหน่วยเป็น “%” และตัวรับรู้ตรวจวัดความดันจะแสดงผลมีหน่วยเป็น “Bar”

การออกแบบโปรแกรมตัวรับรู้ S6 และ S7 มีผังการทำงานดังรูปที่ 12 เมื่อตัวรับรู้ทำงานจะส่งออกมาเป็นค่าความต้านทานจากนั้นได้ทำการเปลี่ยนเป็นค่าดิจิทัลอยู่ในช่วง -2,200 – 8,500 และทำการสเกลค่าตามหน่วยของค่าที่ต้องการวัดอยู่ระหว่าง -220 – 850 องศา ข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำ โดยข้อมูลนี้สามารถนำค่ามาแสดงผลผ่านหน้าจอสัมผัสแบบ HMI ได้โดยตัวรับรู้อุณหภูมิของลมและตัวรับรู้อุณหภูมิของน้ำมันจะแสดงผลมีหน่วยเป็น “Celsius” และพีแอลซีจะทำการประมวลผลเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มอุณหภูมิให้อยู่ในจุดที่ตั้งค่าไว้ (set point) ผ่านสวิตช์ตัดต่อวงจรแบบไม่มีหน้าสัมผัส



รูปที่ 12 แผนภาพการเขียนโปรแกรมตัวรับรู้ผ่านโมดูล TS

สำหรับการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม การตรวจวัดอุณหภูมิ ตรวจวัดความดัน และตรวจวัดระดับน้ำมัน ทดสอบในห้องปฏิบัติการและที่ PTTGC#4 ดังรูปที่ 13-15 ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของโปรแกรมพีแอลซีที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องมือวัด ดังแสดงในตารางที่ 2-4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบการตรวจวัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ได้จากเครื่องมือวัด (°C)	อุณหภูมิที่ได้จากโปรแกรม (°C)
40	39.74
50	49.83
60	59.98

ตารางที่ 3 ผลเปรียบเทียบการตรวจวัดความดันลม

ความดันลมที่ได้จากเครื่องมือวัด (bar)	ความดันลมที่ได้จากโปรแกรม (bar)
1.0	1.04
2.0	2.06
3.0	3.04

ตารางที่ 4 ผลเปรียบเทียบการตรวจวัดระดับน้ำมัน

ระดับน้ำมันที่ได้จากเครื่องมือวัด (%)	ระดับน้ำมันที่ได้จากโปรแกรม (%)
0	0
50	50.1
100	100

ผลในตารางที่ 2-4 แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของโปรแกรมพีแอลซีที่ใช้ควบคุมระบบ โดยผลการประมวลค่าที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องมือวัด เมื่อทำการทดสอบทั้งหมด 20 ครั้ง โดยผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนดังนี้ การตรวจวัดอุณหภูมิมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 1^{\circ}\text{C}$ การตรวจวัดความดันลมมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 0.1\text{ bar}$ และการตรวจวัดระดับน้ำมันความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 0.5\%$



รูปที่ 13 การทดสอบโปรแกรมการตรวจวัดอุณหภูมิ

โดยเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้เครื่องทำความร้อนทำงานดังรูปที่ 13 เมื่อความดันลมสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ปั๊มลมหยุดทำงาน และเมื่อระดับน้ำมันต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ปั๊มน้ำมันทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 14 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) ตรวจวัดความดัน



(ข) ตรวจวัดระดับน้ำมัน

รูปที่ 14 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม



รูปที่ 15 ระบบทำการงานปกติ (ซ้าย)
แจ้งเตือน (ขวา)

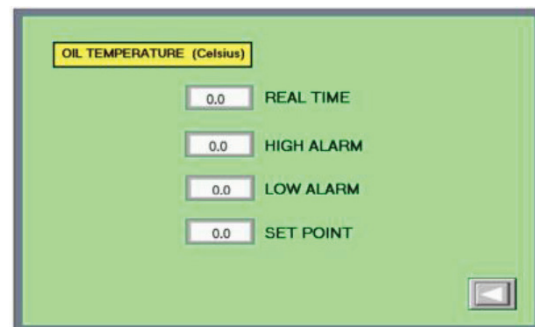
ไฟแสดงสถานะการทำงานของระบบในสภาวะปกติและเมื่อระบบมีการแจ้งเตือนดังแสดงในรูปที่ 15

การออกแบบจอสัมผัสแบบ HMI ประกอบด้วย หน้าจอหลักดังรูปที่ 16 หน้าจอสำหรับตั้งค่า (set point) กำหนดค่าการแจ้งเตือนระดับสูง (high alarm) และการแจ้งเตือนระดับต่ำ (low alarm) จำนวน 7 หน้าจอ ดังแสดงในรูปที่ 17-20 และหน้าจอแสดงการแจ้งเตือน 2 หน้าจอ ดังรูปที่ 21 โดยหน้าจอหลักทำหน้าที่แสดง ค่าอุณหภูมิ น้ำมัน อุณหภูมิลม ระดับน้ำมัน ความดัน แหล่งจ่ายน้ำมัน ความดันละอองน้ำมัน ความดันแหล่งจ่ายลม และความดันลมที่ถูกควบคุมให้คงที่ เป็นตัวเลขแบบทันที (real time) นอกจากนี้สำหรับเครื่องทำความร้อนของลม น้ำมัน และวาล์วที่ใช้พลังงานไฟฟ้า สำหรับเติมน้ำมัน มีไฟแสดงสถานะการทำงานและมีสวิตช์ปิดเปิดพร้อมไฟแสดงสถานะการทำงานหรือแจ้งเตือนของเครื่องจักร



รูปที่ 16 หน้าหลักของจอสัมผัสแบบ HMI

หน้าจอแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำมันดังแสดงในรูปที่ 17 ใช้สำหรับกำหนดค่าอุณหภูมิของน้ำมันตามที่ต้องการ การแจ้งเตือนระดับสูงและระดับต่ำ โดยสามารถแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำมันเป็นตัวเลขแบบทันที สำหรับหน้าจอแสดงค่าอุณหภูมิของลมอีก 1 หน้าจอจะมีลักษณะการออกแบบคล้ายกับหน้าจอแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำมัน



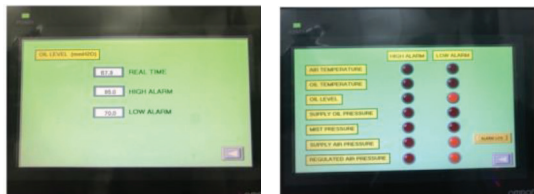
รูปที่ 17 หน้าจอแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำมัน

หน้าจอแสดงค่าระดับน้ำมันดังรูปที่ 18 เมื่อ กดปุ่มของ oil level ที่หน้าจอสัมผัสแบบ HMI จะเข้าสู่หน้าจอแสดงผลระดับน้ำมันดังรูปที่ 18 (ก) โดยในหน้าจอนี้จะแสดงค่าทันทีของระดับน้ำมัน การแจ้งเตือนระดับสูง และแจ้งเตือนระดับต่ำน้ำมัน ค่าของการแจ้งเตือนสามารถเปลี่ยนผ่านแป้นพิมพ์ของหน้าจอสัมผัส HMI ได้ดังแสดงในรูปที่ 18 (ข)

สำหรับการกำหนดค่าต่างๆ สามารถเข้ารายการได้โดยตรงที่หน้าจอหลัก เช่น ระดับน้ำมัน เป็นต้น

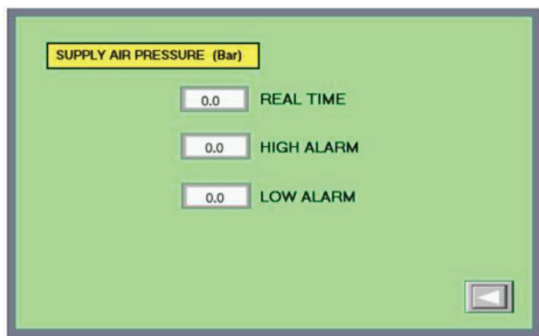


(ก) ระดับน้ำมัน (ข) เปลี่ยนค่าผ่านหน้าจอ HMI
รูปที่ 18 หน้าจอแสดงผลระดับน้ำมัน



(ก) กำหนดค่าการแจ้งเตือน (ข) การแจ้งเตือนระดับต่ำ
รูปที่ 19 ผลทดสอบการแจ้งเตือนระดับน้ำมัน

ตัวอย่าง ตั้งค่าแจ้งเตือนของน้ำมันที่ระดับสูง 95 และระดับต่ำ 70 ดังรูปที่ 19 (ก) เมื่อค่าทันเวลา 67.3 ไฟแสดงสถานะแจ้งเตือนจะทำงานดังรูปที่ 15 (ข) ผู้ใช้สามารถดูผลการแจ้งเตือนได้ที่หน้าจอแจ้งเตือน ผลที่แสดงคือมีการแจ้งเตือนระดับน้ำมันต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 19 (ข)



รูปที่ 20 หน้าจอแสดงค่าความดันแหล่งจ่ายลม

หน้าจอแสดงค่าความดันแหล่งจ่ายลม ดังรูปที่ 20 ใช้กำหนดค่าการแจ้งเตือนระดับสูง และค่าแจ้งเตือนระดับต่ำ โดยแสดงค่าความดันเป็นตัวเลขแบบทศนิยม สำหรับหน้าจอแสดงค่าความดันน้ำมัน ความดันละอองน้ำมัน และความดันลมที่ถูกควบคุมให้คงที่ รวม 3 หน้าจอ มีลักษณะการออกแบบคล้ายกับหน้าจอแสดงค่าความดันแหล่งจ่ายลม สำหรับหน้าจอแสดงสถานะและเหตุการณ์ของการเกิดการแจ้งเตือนของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 21



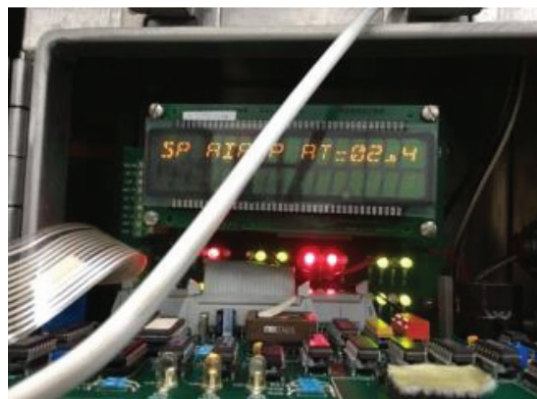
(ก) สถานะ (ข) เหตุการณ์
รูปที่ 21 หน้าจอแสดงการแจ้งเตือน

พิจารณาที่หน้าจอหลักเมื่อระดับน้ำมันในระบบต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ วาล์วที่ใช้พลังงานไฟฟ้าทำงาน (solenoid ไฟแสดงสถานะทำงาน) ดังแสดงในรูปที่ 22 (ก) ระบบจะดำเนินการเพิ่มน้ำมันเข้าสู่ถังเก็บน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 22 (ข) เมื่อระดับน้ำมันเพิ่มถึงค่า 80% ของค่าแจ้งเตือนของน้ำมันที่ระดับสูง (ขึ้นอยู่กับค่าที่กำหนด) วาล์วที่ใช้พลังงานไฟฟ้าหยุดทำงาน ส่งผลให้ระบบหยุดการเพิ่มน้ำมัน



(ก) โซลินอยด์วาล์วทำงาน (ข) บัมน้ำมันเข้าสู่ถังเก็บน้ำมัน

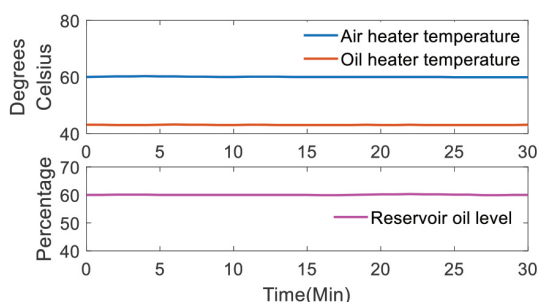
รูปที่ 22 ทดสอบการบัมน้ำมัน



รูปที่ 23 ตัวควบคุมพร้อมจอแสดงผลแบบเดิม

ส่วนเครื่องทำความร้อนของลมและน้ำมัน จะถูกควบคุมให้ทำงานหรือหยุดทำงานในหลักการเดียวกัน

ระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันควบคุมด้วยพีแอลซีที่นำเสนอ ถูกนำไปใช้งานร่วมกับระบบควบคุมแบบเดิม (รูปที่ 23) ซึ่งการใช้งานกำหนดเงื่อนไข SAT ตามตารางที่ 1 ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 24 ซึ่งเป็นการทดสอบระบบควบคุมสำหรับการใช้งานจริงช่วงเวลา 30 นาที ของค่า air heater temperature, oil heater temperature และ reservoir oil level โดยการตอบสนองของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงมีค่า $K_p=12.57$, $K_i=4.816$ และ $K_d=4.923$ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของระบบ 0.06%



รูปที่ 24 ทดสอบระบบควบคุมกำหนดเงื่อนไขตาม SAT

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์หรือพีแอลซีเป็นตัวควบคุมระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันของเครื่องจักรแทนไมโครคอนโทรลเลอร์ (แบบเดิม) เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนชุดควบคุมเนื่องจากยกเลิกการผลิตให้กับ PTTGC#4 ณ ปัจจุบันได้ถูกนำไปใช้งานที่บริษัทได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมใช้ภาษาแลตเตอร์ซึ่งเป็นภาษาตามมาตรฐาน IEC61131-3 การควบคุมเป็นแบบ PID ซึ่งพีแอลซีจะมีฟังก์ชัน Auto-tuning ช่วยในการคำนวณค่า K_p , K_i และ K_d ที่เหมาะสมกับระบบ การควบคุมแบบ PID ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิของลมและน้ำมันให้คงที่ตามที่ต้องการได้ โดยมีการแกว่งของอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 1^\circ\text{C}$ ผลการทดสอบระบบควบคุมการใช้งานจริงในช่วงเวลา 30 นาที ของค่า air heater temperature, oil heater

temperature และ reservoir oil level กำหนดเงื่อนไขตาม SAT การตอบสนองของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงมีค่า $K_p=12.57$, $K_i=4.816$ และ $K_d=4.923$ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของระบบ 0.06% ส่งผลให้ความดันของละอองน้ำมันมีความสม่ำเสมอ นอกจากนี้การสั่งงานอุปกรณ์ของพีแอลซีมีความแม่นยำ สำหรับการสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกับเครื่องจักรใช้หน้าจอสัมผัสแบบ HMI ทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการใช้งาน มีการบันทึกเหตุการณ์ต่างๆ เพื่อดูประวัติย้อนหลังได้ สามารถกำหนดค่าต่างๆ ได้ง่ายเมื่อเทียบกับการควบคุมแบบเดิมที่การตั้งค่าต้องตั้งทำผ่านแป้นพิมพ์ซึ่งเป็นอุปกรณ์แยกจากหน้าจอแสดงผล ถ้าระบบควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดชำรุด สามารถเปลี่ยนเป็นตัวควบคุมแบบพีแอลซีได้โดยมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเล็กน้อยเท่านั้น ที่สำคัญค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการเปลี่ยนชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ใหม่

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนภายใต้โครงการวิจัยระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน PTTGC#4 บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์กำลังและการจัดการพลังงาน (PEAEM) คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ที่สนับสนุนเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Crump W.J.J. Centralized lubrication for high temperature applications. Tribology. 1972 April; 5(12):78-80.
- [2] Shufa Y, Biao M, Changsong Z, Jianhua C. An optimal lubrication oil replacement method based on selected oil field data. IEEE Access. July 2019; 7:92110 - 8.
- [3] Szydlo, Zbigniew A. Effective oil/air ratio in industrial oil mist lubricating systems. Industrial Lubrication and Tribology. 2007; 59(1):4-11.

- [4] Dimosthenis E.B. A Survey of research in microcontroller education. IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje. June 2019; 14(2):50-7.
- [5] Wei F, Siang T.T, Madhan R, Russell B, Ayman A.F. A DCM-only buck regulator with hysteretic-assisted adaptive minimum-on-time control for low-power microcontrollers. IEEE Transactions on Power Electronics. Jan 2016; 13(1):418-29.
- [6] Anthony P.L, Crawley H.B, Fischer P.A, McKay R.L, Meyer W.T. CANbus and microcontroller use in the BaBar detector at SLAC. IEEE Transactions on Nuclear Science. April 2000; 47(2): 166-9.
- [7] Elakkiya T, Anitta A. Comparative study of manual lubrication and automatic lubrication. Journal of Engineering Research and Applications. Feb 2015; 5(2):16-20.
- [8] Mrinmoy D, Nazmul H, Saiful Ha Maitry D, Das N.K, Ullah M.A. Design and implementation of automatic lubricating system using PLC. International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy. 2017; 1-5.
- [9] Sharath S., Patilkulkarni S. Automatic dual line lubrication system using programmable logic controller. International Journal of Engineering Research in Computer Science and Engineering. April 2018; 5(4):696-700.
- [10] Ceglia G, Guzman V, Gimenez M.I, Walter J. Application of IEC61131-3 standard in the Brazilian Navy mine-sweeper modernization. IEEE Latin America Transactions. Oct 2005; 3(4):42-7.
- [11] Luo J, Zhang Q, Chen X, Zhou M. Modeling and race detection of ladder diagrams via ordinary petri nets. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, July 2018; 48(7):1166-76.
- [12] Carson C.C, Barton S.C, Gill R.S. The occurrence and control of interference from oil mist in the detection of overheating in a generator. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Sept 1978; 5:1509-14.
- [13] Towne C.A, Sheppard D.J. Oil mist lubrication for electric motors - where it stands today. IEEE Transactions on Industry Applications. Nov 1986; 6:1174-81.
- [14] Hodowanec M.M. Evaluation of antifriction bearing lubrication methods on motor life-cycle cost. IEEE Transactions on Industry Applications. Nov 1999; 35(6):1247-51.
- [15] Alemite. Oil mist application manual. www.alemite.com.
- [16] Omron. Machine Automation Controller : NX-series Temperature Control Units. OMRON Corporation 2018.
- [17] Samin R.E, Jie L.M, Zawawi M.A. PID implementation of heating tank in mini automation plant using Programmable Logic Controller (PLC). International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering. 2011; 525-19.

ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีในการปรับส่วนผสมของเครื่องดื่มข้าวมอลต์ จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

สุนัน ปานสาคร^{1*} และจตุรงค์ ลังกาพินธุ์²
sunan.p@en.rmutt.ac.th^{1*}, jaturong.l@en.rmutt.ac.th²

¹⁻² ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received : 02-Oct-2019
Revised : 11-Feb-2020
Accepted : 17-Feb-2020

บทคัดย่อ

ข้าวมอลต์ได้ถูกจัดเตรียมเพื่อการผลิตเครื่องดื่มและผสมกับส่วนผสมอื่นๆ จำนวน 3 สูตร ประกอบด้วย น้ำแป้ง ข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ นมสด และน้ำตาลหญ้าหวาน ในอัตราส่วนร้อยละ 50.0:48.5:1.5 (1), 50.0:49.0:1.0 (2) และ 50.0:49.5:0.5 (3) ตามลำดับ แต่ละสูตรเติม เจลาติน 0.1% โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการโฮมोजิไนส์แล้วทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมี ด้านสี ความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี แอนโทไซยานิน ความหนืด ความเป็นกรดเป็นด่าง และทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าการผลิตข้าวมอลต์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน การแช่ การบ่ม และการคั่ว ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินจาก 1.94 เป็น 1.17 mg/g dry weight เมื่อนำมาผลิตเครื่องดื่มโดยการผสมกับองค์ประกอบอื่นพบว่าแอนโทไซยานินมีค่าระหว่าง 0.17-0.24 mg/ml ในขณะที่ยอดการเพิ่มอัตราส่วนของนมสดในเครื่องดื่มเป็นการเพิ่มความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*) เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้งสามสูตรให้ค่าความหนืดใกล้เคียงกันในช่วง 15.83-17.17 cP และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในระดับ 5-6 จัดอยู่ในกลุ่มเครื่องดื่มที่มีสภาพเป็นกรดต่ำ การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส (สี ความเป็นเนื้อเดียวกัน กลิ่น ความหวาน รสชาติ ความหนืด และความชอบโดยรวม) พบว่าเครื่องดื่มสูตรที่ 3 ผู้บริโภคให้คะแนนเฉลี่ยด้านความชอบโดยรวมสูงสุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ซึ่งไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) หรือเป็นสูตรที่มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่ำสุด (7°Brix) ในขณะที่สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 9°Brix และ 8°Brix ตามลำดับ

คำสำคัญ: ข้าวมอลต์ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เครื่องดื่ม แอนโทไซยานิน สมบัติทางกายภาพและเคมี

Analysis of Characterization of Physicochemical Properties of Different Formulations of Riceberry Malted Beverage

Sunan Parnsakhorn^{1*} and Jaturong Langkapin²
sunan.p@en.rmutt.ac.th^{1*}, jaturong.l@en.rmutt.ac.th²

^{1,2} Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received	: 02-Oct-2019
Revised	: 11-Feb-2020
Accepted	: 17-Feb-2020

Abstract

Rice malt was prepared for beverage production of different three formulations. In three formulations were consisted of malt flour from riceberry, fresh milk and stevia sugar in the ratio 50.0 : 48.5 : 1.5 (Formula 1), 50.0 : 49.0 : 1.0 (Formula 2) and 50.0 : 49.5 : 0.5 (Formula 3) respectively. Each formula was added with 0.1% of gelatin. Then the ingredients were homogenized to mix together. The resulting beverages were analyzed to determine their physicochemical properties include color value, moisture content water activity, anthocyanin content, viscosity, pH value and sensory tests. The results found that the malting process can be divided into three steps, soaking, germination and kilning was effected to decrease of anthocyanin content from 1.94 to 1.17 mg/g dry weight. After that in the production of beverages by mixing with other components, it was found that anthocyanin was presented between 0.17-0.24 mg/ml. While increasing the ratio of fresh milk in beverages was showed increases in overall color difference value (ΔE^*). The viscosity values of three different formulations of riceberry malted beverage were similar ranged between 15.83-17.17 cP. Including their acidity levels 5.5 to 6.0 or classified as a low acidic beverage. Sensory evaluation of the quality attributes of the beverages (color, homogeneity, order, sweetness, flavor, viscosity, and the overall sensory) were revealed that consumers give the highest overall satisfaction in malted beverages made from formula 3. Including the formula 3 was a statistically significant difference ($P \leq 0.05$) compared to formula 1 and formula 2, which is not significantly different ($P > 0.05$). This formula that has the lowest the total soluble solids content (TSS) (7°Brix). Moreover, formula 1 and formula 2 were presented the total soluble solids content 9°Brix and 8°Brix, respectively.

Keywords: Rice malt, Riceberry, Beverage, Anthocyanin, Physicochemical properties

1. บทนำ

ด้วยความเจริญทางด้านเทคโนโลยี ยังผลให้เกิดความสะดวกสบายในการดำเนินชีวิตมากขึ้น ทำให้ร่างกายของคนเรามีการใช้พลังงานน้อยลงส่งผลให้มีลักษณะง่ายต่อการเกิดโรคอ้วน หรือภาวะน้ำหนักเกินมากขึ้น นำมาซึ่งปัญหาโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ มากมาย ดังนั้นปัจจุบันคนส่วนใหญ่จึงได้หันมาให้ความสำคัญกับเรื่องสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง สังเกตได้จากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้นในท้องตลาด เช่น น้ำสมุนไพร เครื่องดื่มธัญพืช ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแปรรูปจากผักผลไม้ เป็นต้น ทั้งนี้มีธัญพืชชนิดหนึ่งที่นับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยนั้น คือ “ข้าว” และข้าวเป็นพืชที่มีประโยชน์ค่อนข้างสูงโดยเฉพาะข้าวสี (Color rice) หมายถึงข้าวที่เยื่อหุ้มเมล็ดมีสีตามพันธุ์กรรม มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตเครื่องดื่มจากธัญพืชหลายชนิด เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวจากรวงข้าวอ่อนผสมธัญพืช [1] เครื่องดื่มหมักฟังก์ชันจากข้าวธัญสินและข้าวหอมล้านนา [2] การผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวหอมนิล [3] การผลิตผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าว [4] การผลิตเครื่องดื่มซูเปอร์เบอร์รี่ที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินจากข้าวหอมนิล [5] เป็นต้น

ปัจจุบันมีพันธุ์ข้าวชนิดหนึ่งที่เรียกว่า “ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Riceberry)” ได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลักษณะเป็นข้าวเจ้า สีม่วงเข้ม รูปร่างเมล็ดเรียวยาวข้าวกล้องเมื่อนำมาหุงสุกมีความนุ่มนวลมาก คุณสมบัติเด่นทางด้านโภชนาการ คือ มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ โอเมก้า 3 เบต้าแคโรทีน แกมมาโอไรซานอล วิตามินอี แทนนิน สังกะสี และโฟเลต มีดัชนีน้ำตาลในระดับปานกลางถึงต่ำ [6] รวมถึงรำข้าวและน้ำมันรำข้าวยังมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดี ดังนั้นข้าวไรซ์เบอร์รี่นอกจากจะใช้รับประทานเพื่อเสริมสร้างสุขภาพที่ดีแล้ว ทางทางการแพทย์ยังนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารโภชนาบำบัด ช่วยลดระดับไขมันและคอเลสเตอรอล ป้องกันโรคหัวใจ ช่วยควบคุมน้ำหนัก ช่วยระบบขับถ่าย [7, 8, 9] และที่สำคัญอย่างยิ่งข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังมีสารชนิดหนึ่งที่เรียกว่า “แอนโทไซยานิน, Anthocyanin” เป็นรงควัตถุหรือสารสี (Pigment) ที่พบในผัก ผลไม้ที่มีสีแดงหรือม่วง สารสกัดแอนโทไซยานินมีสมบัติเป็นโภชนเภสัช (Nutraceutical) เป็นสารต้าน

อนุมูลอิสระ ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและเส้นเลือดอุดตันในสมอง ด้วยการยับยั้งไม่ให้เลือดจับตัวเป็นก้อน ชะลอความเสื่อมของดวงตา ช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคท้องร่วงและอาหารเป็นพิษ [10, 11, 12] จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงเป็นข้าวสายพันธุ์ที่น่าส่งเสริมในเชิงการค้าเป็นอย่างยิ่ง

ดังนั้นการนำมาเพิ่มมูลค่าโดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ข้าวมอลต์ ซึ่งโดยปกติแล้วข้าวมอลต์จะผลิตจากข้าวบาร์เลย์ที่มีราคาสูง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยนำข้าวเปลือกแช่น้ำจากนั้นบ่มเพื่อให้เกิดการงอก แล้วจึงนำข้าวเปลือกที่งอกนั้นมาคั่วหลังการคั่วนำไปอบให้แห้งแล้วสีเอาเปลือกออก วิธีการนี้ทำให้วิตามินและสารอาหารต่างๆ ที่ละลายน้ำได้ยังคงอยู่ในเมล็ดข้าว นอกจากนี้ข้าวมอลต์ยังให้ วิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญมากมาย ได้แก่ โปรตีนที่เสริมสร้างการเติบโต แคลเซียมที่ช่วยเสริมสร้างกระดูก วิตามินเอ บำรุงสายตา วิตามินซีอาหารผิวและเซลล์ต่างๆ ของร่างกาย และมีวิตามินบีหลายชนิด ไนอะซิน โปแตสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม ซึ่งล้วนแล้วแต่มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโต และหนึ่งในสารอาหารที่มีประโยชน์เหล่านั้นคือสาร GABA [13] จากที่กล่าวมาจึงเห็นว่าข้าวมอลต์จะมีแปดลงเพราะว่ามีการเปลี่ยนเป็นน้ำตาลบางส่วน รสชาติจึงเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น และยังเมื่อนำไปให้ความร้อนหรือทำแห้ง จึงมีรสชาติดี และกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ เป็นที่นิยมของผู้บริโภค และมีคุณค่าทางโภชนาการสูงซึ่งเกิดจากสารอาหารชนิดต่างๆ ที่สร้างสะสมอยู่ในเมล็ดข้าวระหว่างการงอก [14, 15] ทั้งหมดนี้จึงทำให้นักวิจัยมีแนวคิดในการยกระดับข้าวไทยนั้นคือข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสะดวกต่อการบริโภคประกอบกับจากการศึกษาข้อมูลพบว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังไม่มีมีการรายงานไว้อย่างชัดเจนในเรื่องส่วนผสมที่เหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีในการปรับส่วนผสมเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ รวมถึงผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้จะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของผู้ประกอบการในการนำไปขยายต่อเชิงพาณิชย์ต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

จัดซื้อข้าวเปลือกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่คุณภาพดี เมล็ดสมบูรณ์ สะอาด มีค่าความชื้นประมาณ 1213%wb. จากเกษตรกรในจังหวัดปทุมธานี มาทำความสะอาด โดยการเป่าแยกฝุ่นละออง ก่อนที่จะนำไปทดสอบ ในขั้นตอนการทำข้าวมอลต์ต่อไป

2.2 การผลิตข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

- นำข้าวเปลือกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วแช่น้ำในอ่างน้ำ (Wise bath WB-22, Korea) ควบคุมอุณหภูมิ $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 hr พร้อมทั้งทำการเปลี่ยนน้ำทุก 4 hr เพื่อป้องกันการหมักของข้าว เมื่อครบเวลาตามกำหนด กรองเอาเมล็ดข้าวเปลือกออก นำไปสู่ขั้นตอนการบ่มโดยห่อด้วยผ้าขาวบางสะอาดชุ่มน้ำ นำเข้าตู้ควบคุมความชื้น (Binder KBF, Germany) ที่อุณหภูมิ $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 48 hr จะได้ข้าวเปลือก ไรซ์เบอร์รี่ที่ออกความยาวของรากประมาณ 3-4 mm.

- นำตัวอย่างข้าวเปลือกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่เพาะงอกเข้าสู่กระบวนการคั่วด้วยเครื่องคั่วระบบฮีตเตอร์ให้ความร้อนอุณหภูมิ 120°C ที่เวลา 20 min จากนั้นลดความชื้นด้วยการอบในตู้อบร้อน (Binder FD115, Germany) ที่อุณหภูมิ 50°C จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ประมาณ 13%wb และนำไปกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะ (Model P-1, Thailand) ให้เป็นข้าวกล้องมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

2.3 การเตรียมส่วนผสมของเครื่องต้มข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

จากขั้นตอนการผลิตข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ จากนั้นนำมาผลิตน้ำแป้งด้วยเทคนิคการไม่เปียกด้วยเครื่องโม่ไฟฟ้า (Promix OP-001, Japan) โดยแช่ตัวอย่างข้าวมอลต์ในน้ำอัตราส่วนข้าว 1 ส่วน ต่อ น้ำ 2 ส่วน อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 hr และนำมาโม่ด้วยเครื่องโม่ไฟฟ้า เมื่อได้น้ำแป้งนำมากรองด้วยผ้าขาวบางสองชั้นจนได้น้ำแป้งข้าวมอลต์ จากนั้นปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยน้ำสะอาดและตรวจวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ $\sim 70\text{Brix}$ ด้วยเครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์ (Hand refractometer) จากนั้นวิเคราะห์สมบัติด้าน ปริมาณแอนโทไซยานิน ค่าสี ความหนืด และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

- จัดเตรียมส่วนผสมของเครื่องต้มในอัตราส่วนต่างๆ จำนวน 3 สูตร ได้แก่ น้ำแป้งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ นมสด และน้ำตาลหญ้าหวาน ในอัตราส่วน ร้อยละ 50.0 : 48.5 : 1.5 (สูตรที่ 1), 50.0 : 49.0 : 1.0 (สูตรที่ 2) และ 50.0 : 49.5 : 0.5 (สูตรที่ 3) ตามลำดับ ในแต่ละสูตรเติมเจลาติน 0.1% โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ อัตราส่วน 50% ของน้ำแป้งข้าวมอลต์ได้จากการศึกษาเบื้องต้นถึงความเหมาะสมในอัตราส่วนนี้แล้ว จากนั้นนำไปโม่โม่ในสัด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Ystral 3 X10/25, Germany) หัว โฮโมจีไนเซอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24.9 mm. ความเร็วรอบ 16,000 rpm เป็นเวลา 5 min และทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีต่อไป

2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

2.4.1 ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w)

ทดสอบปริมาณความชื้นโดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างจำนวน 2 g อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Binder FD115, Germany) ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 16 hr อ้างอิงวิธีการทดสอบจากมาตรฐาน [16] และหาค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Aqualab 3 TE, USA)

2.4.2 ค่าสี

วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (JC801, Japan) รายงานผลในรูปของ L^* , a^* , b^* ซึ่งค่าทั้ง 3 ค่าเป็นการแสดงการวัดค่าสีโดยที่ค่า L^* คือ ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าความสว่างมากเมื่อเข้าใกล้ 100 และมีความมืดเมื่อเข้าใกล้ 0 ค่า a^* คือค่าความเป็นสีเขียว (Greenness) เมื่อมีค่าเป็นลบและมีค่าความเป็นสีแดง (Redness) เมื่อมีค่าเป็นบวก และค่า b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) เมื่อมีค่าเป็นบวก และค่าความเป็นสีน้ำเงิน (Blueness) เมื่อมีค่าเป็นลบ และวัดค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^* , Total color difference) แสดงดังสมการที่(1)[17] เปรียบเทียบระหว่างก่อนกระบวนการและหลังกระบวนการ ซึ่งก่อนทำการวัดค่าสี เครื่องวัดสีถูกปรับเทียบความเที่ยงตรงของค่าสีด้วย Standard Calibration Plate ค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 98.11, -0.11 and -0.08 ตามลำดับ

$$\Delta E^* = ((L^* - L_o^*)^2 + (a^* - a_o^*)^2 + (b^* - b_o^*)^2)^{1/2} \quad (1)$$

โดยที่

ΔE^* = ความแตกต่างของสี (Total color difference)

L^*, L^* = ค่าความสว่างของตัวอย่างก่อนกระบวนการและหลังกระบวนการ

a^*, a^* = ค่าความเป็นสีเขียวหรือสีแดงของตัวอย่างก่อนกระบวนการและหลังกระบวนการ

b^*, b^* = ค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินของตัวอย่างก่อนกระบวนการและหลังกระบวนการ

2.4.3 ปริมาณแอนโทไซยานิน

วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน (Total Anthocyanin Content) [18, 19] โดยเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่ม 1 ml ใส่ลงในสารละลาย เอทานอลไฮโดรคลอริก (เอทานอล 95% 85 ml ต่อ กรดไฮโดรคลอริก 1.5 นอร์มอล 15 ml) ปริมาตร 25 ml เขย่าให้เข้ากัน ปิดฝาด้วยแผ่น อลูมินัมฟอยล์แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4°C นาน 24 hr จากนั้นนำออกมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 ปรับปริมาตรด้วยสารละลายเอทานอลไฮโดรคลอริกให้มีปริมาตร 25 ml แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Thermo spectronic Genesys, USA) ที่ความยาวคลื่น 535 nm โดยใช้สารละลายเอทานอลไฮโดรคลอริก เป็นตัวปรับศูนย์ (blank) คำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจากสมการที่ (2) และ (3) ดังนี้

$$Total\ Absorbance = (OD_{535} \times V \times 100) / W \quad (2)$$

$$Total\ anthocyanin\ content\ (mg/g) = Total\ absorbance / 98.2 \quad (3)$$

โดยที่

V = ปริมาณของสารละลายที่นำมาหาปริมาณแอนโทไซยานิน (ml)

W = ปริมาณของตัวอย่างเครื่องดื่มที่นำมาหาปริมาณแอนโทไซยานิน (ml)

OD_{535} = ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสง

2.4.4 ค่าความหนืดและค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่าความหนืดของตัวอย่างวัดด้วยเครื่องวัดความข้นหนืด Brookfield viscometer (Brookfield RVDV-II+PRO, USA) โดยใช้หัวเข็มขนาด No. 1 ปริมาณ

ตัวอย่าง 250 มิลลิลิตรต่อการวัดแต่ละครั้ง อ่านค่าที่ระดับความเร็วรอบ 150 rpm บันทึกค่าความหนืดในหน่วยเซนติพอยต์ (cP) ทำการวัดซ้ำ 3 ซ้ำ วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ด้วยเครื่อง pH meter (Jenco VisionPlus630, USA) ทำการวัดซ้ำ 3 ซ้ำ

2.4.5 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

ทำการประเมินตัวอย่างเครื่องดื่มด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี 5-Point hedonic scale (5 คะแนน) โดยมีระดับคะแนน 5 ระดับ คือ 5 = ชอบมาก 4 = ชอบ 3 = บอกรับไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 2 = ไม่ชอบ 1 = ไม่ชอบมาก ในด้านคุณลักษณะทาง สี ความเป็นเนื้อเดียวกัน กลิ่น ความหวาน รสชาติ ความหนืด และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบชิมซึ่งเป็นกลุ่มผู้บริโภคจำนวน 30 คน วิเคราะห์การเปรียบเทียบทางสถิติแบบ Duncan's new multiple-rang test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมทางสถิติ

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95% (One-way analysis of variance (ANOVA)) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan New's Multiple Range Test (DMRT)

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้องพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีต่อการปรับส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปผลิตเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ต่อไปโดยมีส่วนผสมหลัก 3 ชนิด ได้แก่ น้ำแบ่งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ นมสด และน้ำตาลหญ้าหวาน พร้อมทั้งเติมเจลาตินเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากัน ทั้งนี้กระบวนการเริ่มตั้งแต่การผลิตข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้องและข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

ตัวอย่าง	แอนโทไซยานิน	ค่าสี			ความชื้น	วอเตอร์แอกติวิตี
	(mg/g dry weight)	L*	a*	b*	(%wb)	(a _w)
BR	1.94±0.16 ^a	24.25±0.01 ^a	7.29±0.02 ^a	7.58±0.05 ^a	7.89±0.53 ^b	0.29±0.01 ^b
GBR	1.17±0.08 ^b	23.39±0.02 ^b	4.78±0.08 ^b	5.17±0.13 ^b	10.19±0.53 ^a	0.30±0.01 ^a

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (ค่าเฉลี่ย±SD.) โดยกำหนดให้ BR คือ ข้าวกล้องพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่; GBR คือ ข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

^{ab} อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากตารางที่ 1 พบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ (BR) เมื่อนำมาผ่านการกะเทาะเปลือกจะมีลักษณะสีม่วงเข้ม เมื่อนำไปทดสอบหาปริมาณสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ให้ค่าเท่ากับ 1.94 mg/g dry weight ซึ่งสีม่วงของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นสีที่มีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) หรือที่เรียกว่าสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) ทำหน้าที่จับกับอนุมูลอิสระ และช่วยทำให้กลไกการทำงานของร่างกายมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าปกติ [20] ดังนั้นการที่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ทดสอบนี้มีสารแอนโทไซยานินที่มีประโยชน์จึงจัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ (Functional Foods) ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจอุดตันและมะเร็ง [21, 22] และเมื่อนำข้าวเปลือกไรซ์เบอร์รี่มาผ่านขั้นตอนการผลิตข้าวมอลต์โดยการแช่น้ำอุณหภูมิ 35±1°C เป็นเวลา 24 hr การบ่มที่อุณหภูมิเดิมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 48 hr จนได้ข้าวเปลือกไรซ์เบอร์รี่ที่งอก ก่อนนำไปคั่วที่อุณหภูมิ 120°C ที่เวลา 20 min และลดความชื้นลงที่ประมาณ 13%wb ก่อนนำไปทดสอบหาปริมาณสารแอนโทไซยานิน พบว่าให้ค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ที่ 1.17 mg/g dry weight ซึ่งการลดลงอาจจะเป็นเนื่องจากกระบวนการผลิตข้าวมอลต์ตัวอย่างข้าวต้องผ่านขั้นตอนทั้งการแช่ การล้าง การให้ความร้อน จึงส่งผลต่อการลดลงของสารแอนโทไซยานิน เนื่องจากสมบัติของแอนโทไซยานินที่ละลายได้ดีในน้ำ ไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน แสง เมื่อโครงสร้างเปลี่ยนแปลงสีจะเปลี่ยนไปด้วย [23] อย่างไรก็ตาม ข้าวมอลต์ที่ผลิตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังคงมีปริมาณสารแอนโทไซยานินเหลืออยู่ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค และกระบวนการผลิตข้าวมอลต์เป็นการปรับปรุงคุณภาพข้าวช่วยให้มีรสชาติ สี และกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ และยังมีงานวิจัยรายงานถึงคุณค่าทางโภชนาการที่สูง

ซึ่งเกิดจากสารอาหารชนิดต่างๆ ที่สร้างสะสมอยู่ในเมล็ดข้าวระหว่างการงอก [14, 15]

นอกจากนี้กระบวนการผลิตข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่นี้ได้ทำการเปรียบเทียบสมบัติของตัวอย่างก่อนและหลังการผลิตข้าวมอลต์ประกอบด้วย ค่าสี ค่าความชื้น และปริมาณน้ำอิสระซึ่งให้ผลดังตารางที่ 1 พบว่าค่าสีของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ก่อนการผลิตข้าวมอลต์มีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 24±0.01, 7.29±0.02 และ 7.58±0.05 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสีของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่หลังการผลิตข้าวมอลต์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) และให้ค่าเท่ากับ 23.39±0.02, 4.78±0.08 และ 5.71±0.13 ตามลำดับ ทั้งนี้สังเกตได้ว่าระหว่างกระบวนการล้าง การแช่ และการบ่มเป็นเวลานานทำให้เกิดการชะล้างของเม็ดสี ส่งผลให้ค่าสีทั้งสามของข้าวไรซ์เบอร์รี่หลังการผลิตข้าวมอลต์มีแนวโน้มลดลง ข้อมูลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับการลดลงจากการวัดปริมาณสารแอนโทไซยานินดังที่ได้กล่าวไปแล้ว และการวิเคราะห์ค่าความชื้นพบว่า ก่อนการผลิตข้าวมอลต์เท่ากับ 7.89±0.02%wb และค่าความชื้นหลังการผลิตข้าวมอลต์เท่ากับ 10.19±0.01%wb ซึ่งค่าความชื้นดังกล่าวอยู่ในช่วง 7-11%wb ทั้งนี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่หลังการผลิตข้าวมอลต์มีค่าความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการผลิตข้าวมอลต์มีการแช่และบ่มซึ่งใช้น้ำเป็นองค์ประกอบหลัก ส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ในข้าวไรซ์เบอร์รี่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 0.29±0.01 เป็น 0.30±0.01 และแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (P≤0.05) แต่ยังคงอยู่ในกลุ่มอาหารแห้ง ค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 โดยที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตีบอกถึงปริมาณน้ำในอาหาร ส่งผลให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย ทั้งนี้ น้ำที่มีอยู่ในอาหารแต่ละชนิดมีการยึดติดอยู่ในโครงสร้าง หรือโมเลกุลของสารอื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารในรูปแบบและความแข็งแรง

ต่างกัน รวมถึงปริมาณน้ำในอาหารมีผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดีในอาหารที่ความชื้นสูง [24]

3.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีต่อการปรับส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

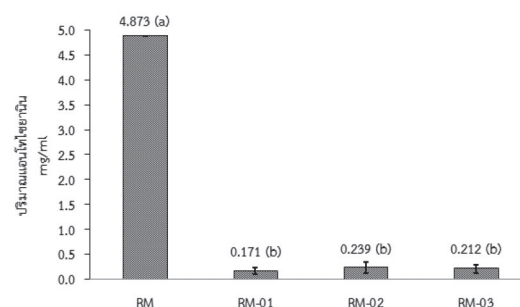
จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าการผลิตเครื่องดื่มสิ่งที่สำคัญ คือ สี ความหนืด รสชาติ และรวมไปถึงคุณค่าทางโภชนาการ [3] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบเบื้องต้นและพบว่าอัตราส่วนการใช้น้ำแบ่งข้าวมอลต์ที่เหมาะสมคือ 50% จากสัดส่วนในองค์ประกอบอื่นๆ เนื่องจากได้ทำการทดสอบสมบัติทั้งทางกายภาพและความพึงพอใจของผู้บริโภคเบื้องต้น ดังนั้นเพื่อให้ได้เครื่องดื่มรสชาติที่ดี มีความเนียนของเนื้อสัมผัส และดีต่อสุขภาพผู้บริโภค นักวิจัยจึงได้กำหนดส่วนผสมของเครื่องดื่มประกอบด้วย น้ำแบ่งจากข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ นมสด น้ำตาลหญ้าหวาน และเจลาติน โดยกำหนดอัตราส่วนเทียบในหน่วยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักในการผลิตเครื่องดื่มเป็น 3 สูตร คือ น้ำแบ่งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ นมสด และน้ำตาลหญ้าหวาน ในอัตราส่วนร้อยละ 50.0 : 48.5 : 1.5 (RM-01) , 50.0 : 49.0 : 1.0 (RM-02) และ 50.0 : 49.5 : 0.5 (RM-03) ตามลำดับ และแต่ละสูตรเติมเจลาติน 0.1% จากนั้นผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ เพื่อให้เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เกิดการแยกชั้น เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตรแล้ว จึงทำการศึกษสมบัติทางกายภาพและเคมีพร้อมทั้งเปรียบเทียบกับน้ำแบ่งจากข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (RM) ที่ไม่ได้ผสมกับองค์ประกอบอื่นๆ ให้ผลการทดสอบแสดงดังหัวข้อ 3.2.1-3.2.4

3.2.1 ผลการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินต่อการปรับส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

จากการทดสอบค่าสารแอนโทไซยานินดังรูปที่ 1 พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินจากน้ำแบ่งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (RM) มีค่า 4.873 mg/ml และเมื่อนำน้ำแบ่งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มาทำการ

จากการทดสอบค่าสารแอนโทไซยานินดังรูปที่ 1 พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินจากน้ำแบ่งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (RM) มีค่า 4.873 mg/ml และเมื่อนำน้ำแบ่งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มาทำการผสมกับ

นมสด น้ำตาลหญ้าหวาน และเจลาติน เพื่อการปรับปรุงรสชาติและทำให้เครื่องดื่มมีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น จำนวน 3 สูตร คือ 50.0 : 48.5 : 1.5 (RM-01), 50 : 49.0 : 1.0 (RM-02) และ 50 : 49.5 : 0.5 (RM-03) พบว่ามีแนวโน้มการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการผสมกับส่วนผสมอื่นๆ หรือมีค่าปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 0.171 mg/ml, 0.239 mg/ml และ 0.212 mg/ml ตามลำดับ และด้วยอัตราส่วนที่เท่ากันของปริมาณน้ำแบ่งข้าวมอลต์คือ 50% ดังนั้นทั้งสามสูตรจึงไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ของปริมาณแอนโทไซยานิน ทั้งนี้ก็ยังคงพบว่ามีปริมาณสารแอนโทไซยานิน (ระหว่าง 0.171-0.239 mg/ml) ซึ่งส่งผลกับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่จะทำการผลิตเนื่องจากสารสกัดแอนโทไซยานินมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูง มีฤทธิ์เป็นสารปฏิชีวนะ ต้านภูมิแพ้ ต้านไวรัสพิษ ช่วยการขยายตัวของหลอดเลือด รวมทั้งด้านการหินของไขมัน [10, 11, 12, 25]



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าแอนโทไซยานินในการเตรียมผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่สูตรต่างๆ

ab อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะทดสอบแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

3.2.2 ผลการศึกษาสมบัติด้านสีต่อการปรับส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

ค่าสีนับเป็นปัจจัยหนึ่งของการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่จึงคำนึงถึงปัจจัยนี้เป็นอันดับแรกๆ โดยงานวิจัยทำการวัดค่าสีจากตัวอย่างเครื่องดื่มทั้ง 3 สูตรเปรียบเทียบกับน้ำแบ่งข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าสีในการเตรียมผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่สูตรต่างๆ

ค่าสี		สูตรการทำเครื่องดื่ม			
		RM	RM-01	RM-02	RM-03
เครื่องดื่มข้าว มอลต์จากข้าว ไรซ์เบอร์รี่	L*	51.82±0.01 ^d	64.24±0.04 ^c	65.28±0.03 ^b	69.05±0.04 ^a
	a*	7.95±0.02 ^a	5.30±0.02 ^b	5.30±0.05 ^b	4.30±0.02 ^c
	b*	5.27±0.01 ^a	4.33±0.02 ^b	4.17±0.05 ^c	3.56±0.03 ^d
	ΔE*		12.73±0.04 ^c	13.95±0.04 ^b	17.69±0.03 ^a

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (ค่าเฉลี่ย±SD.)

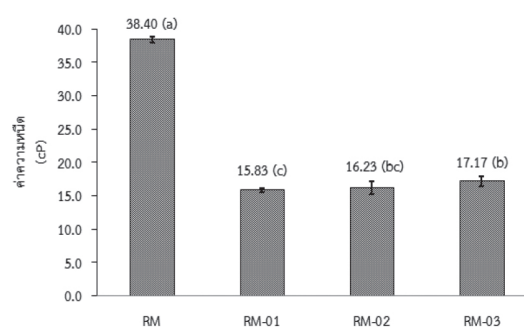
^{ab} อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำแป้งข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (RM) มีค่าเท่ากับ 51.82 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยให้ค่า L* ของสูตร RM-01, RM-02, RM-03 เท่ากับ 64.24, 65.28 และ 69.05 ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามพบแนวโน้มการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ของค่า a* และ b* ของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่เมื่อเทียบกับน้ำแป้งข้าวมอลต์ ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละสูตรของเครื่องดื่มพบว่าให้ค่าสีใกล้เคียงกันจากการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE*) ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ พบว่าการเพิ่มสัดส่วนของนมสดส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ (ΔE*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) เมื่อเทียบกับน้ำแป้งข้าวมอลต์ที่ไม่ได้ผ่านการผสมกับองค์ประกอบใดๆ นั้นหมายความว่า การปรับอัตราส่วนของส่วนผสมส่งผลต่อค่าความแตกต่างสีโดยรวมมากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น

3.2.3 ผลการศึกษาสมบัติด้านความหนืดต่อการปรับส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

ความหนืดเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงความต้านทานการไหล เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของอาหาร และการยอมรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์กลุ่มอาหารเหลว ซึ่งในกระบวนการทดสอบความหนืดของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่นี้แสดงดังรูปที่ 2 พบว่าค่าความหนืดของน้ำแป้งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (RM) มีค่าเท่ากับ 38.4 cP เมื่อนำน้ำแป้ง

ไปผสมกับองค์ประกอบอื่นๆ เป็นเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 3 สูตร ให้ค่าความหนืดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) เมื่อเทียบกับน้ำแป้งเริ่มต้น โดยให้ค่าใกล้เคียงกันระหว่าง 15.83-17.17 cP ซึ่งน้ำข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการผสมแล้วทั้ง 3 สูตร มีค่าความหนืดลดลงอย่างเห็นได้ชัด เป็นเพราะมีการนำนมสดมาเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนประมาณ 50% ทำให้น้ำข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีการเจือจางลง และส่งผลให้ความหนืดมีค่าลดลงและมีลักษณะความเป็นเครื่องดื่มมากขึ้น ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับรายงานวิจัยที่แสดงค่าความหนืดที่เหมาะสมของเครื่องดื่มกลุ่มธัญพืชอยู่ประมาณ 14-17 cP [3]



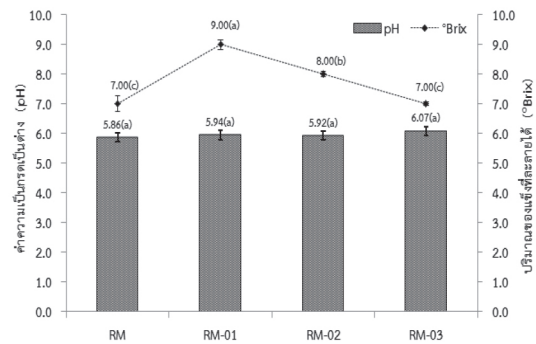
รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดในการเตรียมผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่สูตรต่างๆ

^{ab} อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะทดสอบแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

3.2.4 ผลการศึกษาสมบัติด้านค่าความเป็นกรดเป็นด่างและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำต่อการปรับส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

ในการผลิตอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีสภาพเป็นกรดต่ำควรมีค่า pH สูงกว่า 4.6 [26] ดังนั้นจากการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำแป้งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (RM) และเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 3 สูตรให้ผลแสดงดังรูปที่ 3

ก่อนการผสมด้วยองค์ประกอบอื่นๆ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) น้ำแป้งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (RM) มีค่า 5.86 นับว่าเป็นค่าที่มีความเป็นกรดอ่อน เมื่อนำไปผสมตามอัตราส่วนต่างๆ ทั้ง 3 สูตร มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 5.94, 5.92 และ 6.07 ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) หรือจัดอยู่ในกลุ่มเครื่องดื่มที่มีสภาพเป็นกรดต่ำ ผลการวิจัยสอดคล้องกับ จุฑามาศ และ เฉลิมพล [3] รายงานค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเครื่องดื่มจากข้าวหอมนิลที่เหมาะสมอยู่ที่ 6.71 นอกจากการปรับค่าความเป็นกรดให้เหมาะสมกับเครื่องดื่มแล้วอีกปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง คือ ค่าความหวานหรือปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เนื่องจากเป็นปัจจัยในการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจากการปรับอัตราส่วนค่าความหวานในเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ 3 สูตร จะเห็นว่าสูตรที่ 1 (RM-01) มีการใส่น้ำตาลหญ้าหวานในสัดส่วน 1.5% สูตรที่ 2 (RM-02) สัดส่วน 1.0% และสูตรที่ 3 (RM-03) จำนวน 0.5% เมื่อทำการตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเครื่องดื่มพบว่าให้ค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq 0.05$) เท่ากับ 9.00°Brix, 8.00°Brix และ 7.00°Brix ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณในการเติมสารให้ความหวานดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามค่าความหวานที่ปรากฏนี้จะเป็ปัจจัยที่สำคัญในการสนับสนุนการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจะได้นำเสนอในหัวข้อที่ 3.2 ต่อไป



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำในการเตรียมผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่สูตรต่างๆ

ab อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะทดสอบแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

อีกหนึ่งส่วนผสมที่สำคัญของเครื่องดื่ม ได้แก่ เจลาติน งานวิจัยได้ทำการศึกษาเบื้องต้นพบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้เจลาตินในปริมาณที่สูงส่งผลให้เกิดตะกอนแยกชั้นลดน้อยลง แต่จะทำให้เครื่องดื่มมีลักษณะของความข้นหนืดเป็นเจลเพิ่มขึ้น เนื่องจากเจลาตินมีลักษณะที่ละลายได้ในน้ำร้อน ไม่ละลายน้ำเย็น มีลักษณะอ่อน นุ่ม พองตัว และสร้างโครงร่างตาข่าย (Network) ขึ้นมาจึงสามารถยึดจับกับอนุภาคที่มีขนาดเล็กเอาไว้ภายใน ดังนั้นการใช้เจลาตินในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายถูกจับ จึงไม่เกิดการแยกชั้นผลิตภัณฑ์เกิดความคงตัวไม่เกิดการแยกชั้น [3,27] และสัดส่วนที่เหมาะสมของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่คือ 0.1% โดยน้ำหนัก

3.3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่สูตรต่างๆ

การประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัสมีบทบาทสำคัญในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ การบริโภคอาหารความรู้สึที่ซับซ้อนที่เกิดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้ จะส่งผลให้เกิดการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภค โดยทำการประเมินการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของอาหารใช้ประสาทสัมผัสของผู้ชิม คือ สี ความเป็นเนื้อเดียวกัน กลิ่น ความหวาน รสชาติ ความหนืด และความชอบโดยรวม ให้ผลแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยของเครื่องต้มข้าวมอลต์จากพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 3 สูตร

ปัจจัยการทดสอบ	สูตร		
	RM-01	RM-02	RM-03
สี	4.20±0.77 ^a	4.10±0.80 ^a	4.40±0.83 ^a
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	3.90±0.88 ^a	3.40±0.91 ^a	3.70±0.98 ^a
กลิ่น	3.40±1.06 ^a	3.00±0.93 ^a	3.10±0.99 ^a
ความหวาน	3.20±1.26 ^a	3.00±1.13 ^a	2.50±1.06 ^a
รสชาติ	3.10±1.28 ^a	3.50±1.19 ^{ab}	4.00±1.07 ^a
ความหนืด	3.40±1.12 ^a	3.30±0.96 ^a	3.30±1.29 ^a
ความชอบโดยรวม	3.50±0.99 ^b	3.60±0.99 ^b	4.20±0.94 ^a

^{ab} อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

จากตารางที่ 3 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบคะแนนความชอบเฉลี่ยของเครื่องต้มข้าวมอลต์จากพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 3 สูตร ในทุกด้านไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นด้านความชอบโดยรวมพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุดกับสูตรที่ 3 (RM-03) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรที่ 1 (RM-01) และสูตรที่ 2 (RM-02) ความนอกจากนี้ผู้บริโภคมีความพอใจต่อเครื่องต้มข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่สูตรที่ 3 (RM-03) ด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวม มากกว่าเครื่องต้มข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่สูตรที่ 1 (RM-01) และสูตรที่ 2 (RM-02) นอกจากนี้ผู้บริโภคให้ความพึงพอใจด้านสี และรสชาติ กับสูตรที่ 3 (RM-03) สูงกว่า สูตรที่ 1 (RM-01) และสูตรที่ 2 (RM-02) แต่เมื่อพิจารณาด้านความหวาน กลิ่น และความเป็นเนื้อเดียวกันของเครื่องต้มข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่พบว่าสูตรที่ 1 (RM-01) มีค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ อย่างไรก็ตาม

หากเปรียบเทียบในภาพรวมโดยพิจารณาจากความชอบโดยรวมทั้งหมด พบว่าเครื่องต้มข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่สูตรที่ 3 (RM-03) ให้ค่าความชอบโดยรวมสูงสุด หรือสัดส่วนขององค์ประกอบเครื่องต้มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ที่ผู้บริโภคพึงพอใจในสูงสุด ประกอบด้วยน้ำแป้งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ นมสด และน้ำตาลหญ้าหวาน ในอัตราส่วน 50.0 : 49.5 : 0.5 หรือหวานน้อยเมื่อเทียบกับทั้งสามสูตร

4. สรุปผลการวิจัย

จากศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีต่อการปรับส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องต้มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ด้วยการผลิตข้าวมอลต์โดยการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เวลา 24 hr และบ่มที่อุณหภูมิเดิมความชื้นสัมพัทธ์ 90% เป็นเวลา 48 hr ตามด้วยการคั่วเพื่อให้เกิดกลิ่นหอมที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 20 min และลดความชื้นได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 13%wb. จากนั้นนำข้าวมอลต์แปรรูปเป็นน้ำแป้งด้วยเทคนิคการไม่เปียก และผสมกับองค์ประกอบอื่นๆ จำนวน 3 สูตร ได้แก่ น้ำแป้งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ นมสด และน้ำตาลหญ้าหวาน ในอัตราส่วนร้อยละ 50.0 : 48.5 : 1.5 (สูตรที่ 1), 50.0 : 49.0 : 1.0 (สูตรที่ 2) และ 50.0 : 49.5 : 0.5 (สูตรที่ 3) ตามลำดับ ในแต่ละสูตรเติมเจลาติน 0.1% โดยน้ำหนัก ซึ่งพบว่าให้การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีดังนี้ ปริมาณแอนโทไซยานินของเครื่องต้มหลังการผสมทั้ง 3 สูตร มีปริมาณลดลง เช่นเดียวกับค่า a^* และ b^* ที่มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน ในขณะที่ค่า L^* มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนขององค์ประกอบนมสด และจากการทดสอบพบว่าการผสมส่วนผสมต่างๆ ทั้ง 3 สูตร ให้ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 15-17 cP ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 7-9°Brix และค่าความเป็นกรด เป็นด่าง 5-6 ซึ่งเหมาะสมในการผลิตเป็นเครื่องต้ม ในขณะเดียวกันพบว่าเครื่องต้มจากข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ที่ทำการผสมที่อัตราส่วน 50.0 : 49.5 : 0.5 หรือสูตรที่ 3 ให้ค่าความพึงพอใจสูงสุดจากผู้บริโภค

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่อุดหนุนทุนวิจัยประเภทงบประมาณกองทุนส่งเสริมงานวิจัยฯ ประจำปีงบประมาณ 2562

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rawdsiri S, Thongrak P. Product development of young rice and cereal beverage. Full research reports. Food Science and Technology. Faculty of Agriculture and Industrial Technology. Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi; 2012. p. 80. (in Thai)
- [2] Chomsri N, Panomwan R.N.A, Functional fermented beverage from Tunyasirin and Lanna rices. Full research reports. Rajamangala University of Technology Lanna; 2014. p. 59. (in Thai)
- [3] Thirasaroj J, Thanomwong C. Production of healthy beverage from “Homnil” Rice. KKU Science journal. 2015; 43(3): 395-402. (in Thai)
- [4] Sorsa-ard N, Rupakchee S, Nakngam A. The effects of stabilizer and thermal conditions on quality of milky rice product. National Academic Conference “Innovation and technology academic; 2017. p. 389-95. (in Thai)
- [5] Pinitglang S, Saiprajong R. Formulation of super berry beverage containing anthocyanin extract from Thai black jasmine rice based on sensory analysis. Agricultural Science Journal. 2018; 49(2) (Suppl.): 25-8. (in Thai)
- [6] Sirichokworakita S, Phetkhuta J, Khommoona A. Effect of partial substitution of wheat flour With riceberry flour on quality of noodles. Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2015; 197: 1006–12.
- [7] Singhasurasak H, Riceberry. 2019 [cited 2019 May 25]. Available from: <http://riceberryrice.blogspot.com/2013/12/blog-post.html>. (in Thai)
- [8] Boontun C, Lomeniem T, Saimo Chu J, Thumthanaruk B. Comparison of riceberry flour and sweeteners affecting quality of custard cream stuffed rice berry chinese bun. Agricultural Science Journal. 2015; 46(3) (Suppl.): 525-8. (in Thai)
- [9] Khamklin N, Yossombat N, Phumchuen S, Sungsub S, Chattong U. Effect of riceberry flour on physico-chemical and sensory properties of brownie. National meeting “Innovation and Technology 2017” “Research from knowledge to sustainable development”; 2017. p. 757-64. (in Thai)
- [10] Tsuda T, Horio F, Uchida K, Aoki H, Osawa T. Dietary cyanidin 3-O-β-D-glucoside-rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in mice. J. Nutr. 2003; 133(7): 2125-30.
- [11] Jones K. The potential health benefits of purple corn. Herbal Gram. 2005; 65: 46-9.
- [12] He J, Giusti M.M. Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. Ann. Rev. Food Sci. Tech. 2010; 1(1): 163-87.
- [13] Nestle. Know malt more benefits than you think. 2019 [cited 2019 May 25]. Available from: <https://www.Nestle.co.th/th/nhw/news/รู้จั๊กมอลต์.คุณประโยชน์มากกว่าที่คิด>. (in Thai)

- [14] Puangwerakul Y, Klaharn W. Changes in GABA and vitamin B1 intake during the processing of parboiled rice products in camera germinated rice and germinated brown rice, jasmine rice 105. Complete research report, commercial and private joint government research and development project; 2007. (in Thai)
- [15] Puangwerakul Y, Puangwerakul C. Commercial production of steamed high vitamin B malt. Full research reports. Agricultural research development agency (public organization); 2010. (in Thai)
- [16] AOAC. Official Methods of Analyses of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. 1990.
- [17] Rhim J.W., Nunes R.V., Jones V.A., Swartzel K. R. Kinetics of color change of grape juice generated using linearly increasing temperature. *Journal of Food Science*. 1889; 54(3): 776–7.
- [18] Suwan N. Effect of coating materials on controlling of browning and weight loss in lychee fruit. Master thesis. Department of Biology Chiang Mai University; 2005. p. 176. (in Thai)
- [19] Ranganna S. Plant pigment. In S. Ragana (ed.). *Manual of analysis of fruit and vegetable produce*. Tata McGraw-Hill Publishing Co., Ltd, New Delhi; 1977. p. 72-93.
- [20] Sompong R, Siebenhandl-Ehn S, Linsberger-Martin G, Berthofer E. Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Srilanka. *Food Chemistry*. 2011; 124(1): 132-40.
- [21] Laze M.C, Savio M, Pizzala R, Cazzalini O, Perucca P, Scovassi A.I, Stivala L.A, Bianchi L. Anthocyanins induce cell cycle perturbations and apoptosis in different human cell lines. *Carcinogenesis*. 2004; 25(8): 1427-33.
- [22] Lee J.C, Kim J.D, Hsieh F.H. Eun J.B. Production of black rice cake using ground black rice and medium-grain brown rice. *International Journal of Food Science and Technology*; 2008; 43(6):1078 – 82.
- [23] Markakis P. Anthocyanins as food colors. 1st ed. New York : Academic Press; 1982. p. 280.
- [24] Rangsadthong W. Food processing technology. Tex and Journal Public Company Limited. 5th ed. Bangkok Thailand; 2014. p. 500. (in Thai)
- [25] Skrovankova S, Sumczynski D, Mlcek J, Jurikova T, Sochor J. Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. *International Journal of Molecular Sciences*. 2015; 16(10): 24673-706.
- [26] Food and Drug Administration – FDA. Inspection guide according to the rules, good methods of food production in sealed containers low acidity and acid adjustment type (Low-acid Canned Foods and Acidified Foods). The War Veterans Organization of Thailand Under Royal Patronage of His majesty the King Publisher. 1st ed. Bangkok Thailand. 2013; p. 263. (in Thai)
- [27] Chaloeiphong P, Rattanapanon N. Beverage. 2019 [cited 2019 May 25]. Available from: <http://www.Foodnetworksolution.com/wiki/word/0792/beverage>. (in Thai)

อิทธิพลของความเร็วลมและอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้ง ของเมล็ดข้าวโพดหวานด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

เจษฎา วิเศษมณี¹ และสำรวม โกศลนันท์^{2*}

anh_tong2525@hotmail.com¹, sumroumja@gmail.com^{2*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

^{2*} สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received : 22-May-2020
Revised : 17-Jun-2020
Accepted : 14-Jul-2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาอิทธิพลของความเร็วม และอุณหภูมิที่ใช้ออบแห้งเมล็ดข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ในการทดลอง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบด 20 cm สูง 100 cm ใช้ฮีตเตอร์ขนาด 5 kW เป็นตัวให้ความร้อนแก่อากาศและใช้เครื่องเป่าลมขนาด 1.25 kW ที่ความดัน 1,300 Pa โดยมีไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 cm สูง 122 cm และใช้ท่อส่งลมขนาด 10.16 cm (4 นิ้ว) เป็นท่อกลบ่วนไนท์ เมล็ดข้าวโพดที่ใช้ทดสอบมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 500 % (ความชื้นฐานแห้ง) ทำการทดลองอบแห้งเมล็ดข้าวโพดครั้งละ 300 g ด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิอากาศ 70°C 80°C และ 90°C ความเร็วของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 5.5 m/s 6.5 m/s และ 7.5 m/s จนเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 14-16 % (ความชื้นฐานแห้ง)

จากการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งและอัตราการระเหยของไอน้ำต่อพลังงานที่ใช้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น โดยอัตราการอบแห้งสูงสุดมีค่า 0.294 kg/hr ที่สภาวะความเร็วลม 7.5 m/s อุณหภูมิ 90°C และอัตราการระเหยของไอน้ำต่อพลังงานที่ใช้สูงสุดมีค่า 0.06 kg/kWhr ที่สภาวะความเร็วลม 7.5 m/s อุณหภูมิ 70°C

คำสำคัญ: ความเร็วลม อุณหภูมิ เมล็ดข้าวโพด ฟลูอิดไดซ์เบด

Effect of Velocity and Temperature on the Drying Rate of Sweet Corn Kernels by Using Fluidized Bed Technique

Jedsada Visedmanee¹ and Sumroum Kosalanun^{2*}
anh_tong2525@hotmail.com¹, sumroumja@gmail.com^{2*}

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

^{2*} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received	: 22-May-2020
Revised	: 17-Jun-2020
Accepted	: 14-Jul-2020

Abstract

The purposes of this research were to investigate the factors consisted of a temperature and velocity of air flow affected corn grain (In-see 2) drying by using fluidized bed technique. The fluidized bed dryer size of 20 cm diameter and 100 cm height was designed and constructed for this experiment. The heater and blower size of 5 kW, 1.25 kW was used for heating air at the static pressure of 1,300 Pa. A cyclone size of 24 cm diameter and 122 cm height was used to separate the product from air. The galvanized steel pipe size of 10.16 cm (4 inch) diameter was used as air circulating pipe. The corn grain size of 300 g was used for each experiment. The initial moisture in this experiment was 500 % d.b.. The drying temperature conditions were controlled at 70°C, 80°C and 90°C The air velocity conditions in bed were controlled at 5.5 m/s, 6.5 m/s and 7.5 m/s. The final moisture of corn was 14-16 % d.b..

From the result, it was found that the drying temperature was increased the also drying rate and specific moisture extraction rate trend to increase. The highest drying rate was 0.294 kg-water/hr that was occurred at the 7.5 m/s air velocity and 90°C drying temperature. The highest specific moisture extraction rate was 0.06 kg-water/kW-hr that was occurred at the 7.5 m/s air velocity and 70°C drying temperature.

Keywords: temperature, velocity, corn kernels, fluidized

1. บทนำ

ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งนอกจากจะใช้เพื่อการบริโภคภายในประเทศแล้ว ยังถือเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ ในปี พ.ศ. 2552 ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 4,616,119 ตัน มีปริมาณการส่งออกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 841,719 ตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 5,326,494,679 บาท [1] ปัจจุบันวิวัฒนาการด้านการเก็บเกี่ยวข้าวโพดมีการใช้เครื่องเกี่ยวข้าวโพดแทนการใช้แรงงานคนเพราะมีความสะดวกและรวดเร็ว ข้าวโพดที่ถูกเก็บเกี่ยวใหม่จะมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดให้มีความชื้นที่เหมาะสม ปลอดภัยจากการเข้าทำลายของเชื้อรา โดยเฉพาะเชื้ออะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) ซึ่งมีพิษต่อผู้บริโภค เมล็ดข้าวโพดควรจะต้องลดความชื้นต่ำกว่า 17 % ความชื้นฐานแห้ง ภายใน 1-2 วัน ก็จะช่วยให้ปลอดภัยต่อการปนเปื้อนของเชื้ออะฟลาทอกซินได้ [2] การใช้เครื่องอบแห้งจึงมีบทบาทสำคัญ เพื่อสนองความต้องการของเกษตรกร เนื่องจากอำนวยความสะดวกรวดเร็ว และทำให้ได้เมล็ดพืชอบแห้งที่มีคุณภาพดีกว่าการตากแดด ซึ่งไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศได้

เทคโนโลยีการอบแห้งเมล็ดพืชด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดกำลังได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากข้อดีในด้านการอบแห้งที่รวดเร็ว และได้เมล็ดพืชอบแห้งที่มีความชื้นสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงมีการนำเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดมาประยุกต์ใช้กับเมล็ดพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด และถั่วลิสง เป็นต้น [3] นอกจากนี้เมล็ดข้าวโพดหวานอบแห้ง เพื่อใช้สำหรับปรุงแต่งอาหารกึ่งสำเร็จรูปกำลังได้รับความนิยมเพราะเมล็ดข้าวโพดจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาหารกึ่งสำเร็จรูป และยังช่วยทำให้อาหารกึ่งสำเร็จรูปมีสีสันทนรับประทานที่ผ่านมาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งเมล็ดพืชด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดอาทิเช่น Poomsa-ad และคณะ [4] ได้ศึกษาแนวทางการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด การเก็บในที่อบ

อากาศ (Tempering) และการเป่าด้วยอากาศแวดล้อม โดยพิจารณาจากระยะเวลาที่ใช้งานทั้งหมดและคุณภาพการสีของข้าวเปลือกภายหลังผ่านทั้งสามกระบวนการผลการทดลองพบว่า สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกจาก 30 % มาตรฐานแห้ง เหลือประมาณ 16.5 % มาตรฐานแห้ง โดยมีเวลาที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมดประมาณ 53 ชั่วโมง ทดทอง [5] ได้อบแห้งเมล็ดกาแฟสดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด โดยชุดทดลองฟลูอิดไดซ์เบดได้ทำจากท่ออะคริลิกใส ตัวแปรต่างๆ ทั้งหมดได้ถูกนำมาศึกษาผลกระทบต่อการลดความชื้นของเมล็ดกาแฟสดจาก 66 % ความชื้นฐานเปียก เหลือเพียง 14 % ความชื้นฐานเปียก จะใช้เวลาการอบแห้งประมาณ 5-7 ชั่วโมง โดยในช่วง 1-2 ชั่วโมงแรกนี้ ความชื้นของเมล็ดกาแฟสดจะลดลงอย่างรวดเร็ว วัชรินทร์ ดงบัง และคณะ [6] ได้อบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด โดยตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งที่ 70°C 80°C และ 90°C เมล็ดข้าวโพดถูกอบแห้งที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 65 % ความชื้นฐานเปียก จนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 15 % ความชื้นฐานเปียก ผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิอากาศร้อนที่สูง ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงเร็วกว่าอุณหภูมิในการอบแห้งที่ต่ำ

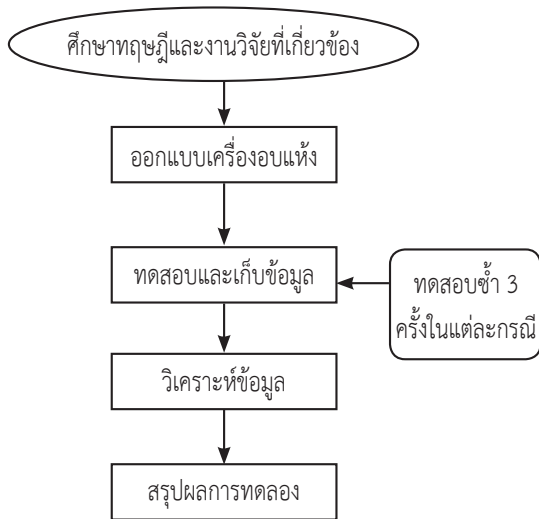
อย่างไรก็ตาม เมล็ดข้าวโพดหวานจะมีความชื้นเริ่มต้นมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ และปัจจุบันนี้ยังไม่มีงานวิจัยที่ชัดเจนเกี่ยวข้องกับการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดหวานสายพันธุ์อินทรี 2 ด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อใช้สำหรับเป็นวัตถุดิบปรุงแต่งอาหารกึ่งสำเร็จรูป ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดหวานด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อใช้สำหรับเป็นวัตถุดิบปรุงแต่งอาหารกึ่งสำเร็จรูปต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสม ใช้ในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดหวานด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

2.2 เพื่อศึกษาความเร็วลมที่เหมาะสม ใช้ในการอบแห้งข้าวโพดหวานด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

3. วิธีการวิจัย (Research Methodology)



รูปที่ 1 วิธีการศึกษาและขั้นตอนการศึกษาทดลอง

3.1 รายละเอียดระบบที่ใช้ในการทดลอง

ในการศึกษาอิทธิพลของความเร็วลมและอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด ได้ทำการออกแบบชุดเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดโดย อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ อุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องอบแห้ง และส่วนที่เป็นอุปกรณ์ที่เป็นเครื่องมือวัด รายละเอียดดังนี้

3.1.1 ห้องอบแห้งที่มีลักษณะซึ่งเป็นทรงกระบอกทำด้วยสแตนเลส (Stainless Steel) หนา 1.5 mm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm และสูง 100 cm

3.1.2 อุปกรณ์ให้ความร้อนแก่อากาศแบบคิปรูปตัวเอ็มขนาดกำลังไฟฟ้า 2.5 kW จำนวน 3 ตัว

3.1.3 พัดลม (Blower) แบบแรงเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งหน้า (Forward Curve centrifugal) โดยใช้มอเตอร์ขนาด 1.25 kW (220 V, 50 Hz) แรงดันสถิตสูงสุดที่พัดลมสร้างได้ 1,300 Pa และมีอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศสูงสุดที่ 1,000 m³/hr

3.1.4 เครื่องดักฝุ่น (Cyclone) แบบ Reverse Flow ทำด้วยเหล็กชุบสังกะสี

3.1.5 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control)

3.1.6 อุปกรณ์วัดความเร็วลมแบบขดลวดร้อน (Hot Wire)

3.1.7 เครื่องวัดความดันลดคร่อมเบด (Manometer)

3.1.8 เครื่องชั่งดิจิตอล ความละเอียด 0.001 g

3.2 เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองอบแห้งเมล็ดข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ด้วยเครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อทดสอบหาอุณหภูมิและความเร็วที่เหมาะสม การศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่มีต่ออัตราการอบแห้งเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

3.2.1 การทดลองใช้เมล็ดข้าวโพดที่ต้มเสร็จแล้วในการอบแห้ง 300 g ความชื้นเริ่มต้น 500 % d.b. ทำการอบแห้งให้เหลือความชื้นประมาณ 14-17 % d.b.

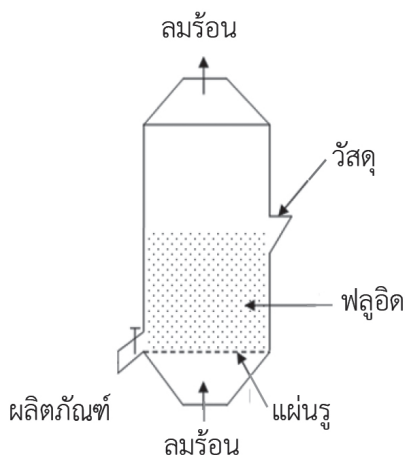
3.2.2 ความเร็วลมในการศึกษาทดลองจะควบคุมโดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับความเร็ว คือ 5.5 m/s 6.5 m/s และ 7.5 m/s

3.2.3 อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่ 70°C 80°C และ 90°C

ทั้งนี้การทดสอบหาความชื้นทั้งก่อนอบและหลังอบจะนำตัวอย่างของเมล็ด เพื่อหาความชื้นของข้าวโพดที่เป็นความชื้นเริ่มต้น และความชื้นสุดท้าย (ความชื้นเริ่มต้นเป็นความชื้นของข้าวโพดปกติที่ยังไม่ได้ผ่านการอบ ส่วนความชื้นสุดท้ายเป็นค่าความชื้นของข้าวโพดที่ผ่านการอบ) จะนำตัวอย่างข้าวโพดมาบรรจุลงในภาชนะปิดแล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ซึ่งตัวเครื่องสามารถรับรองน้ำหนักสูงสุดได้และมีค่าความละเอียด 0.001 g หลังจากชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้วก็นำเมล็ดข้าวโพดไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 72 hr จนน้ำหนักคงที่ เมื่ออบตัวอย่างได้ครบตามระยะเวลาที่กำหนดก็นำตัวอย่างออกจากเครื่องอบมาใส่ไว้ในภาชนะปิดทิ้งไว้ให้ตัวอย่างเย็นตัวลงจนมีอุณหภูมิเท่ากับสภาวะแวดล้อมแล้วนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความชื้น

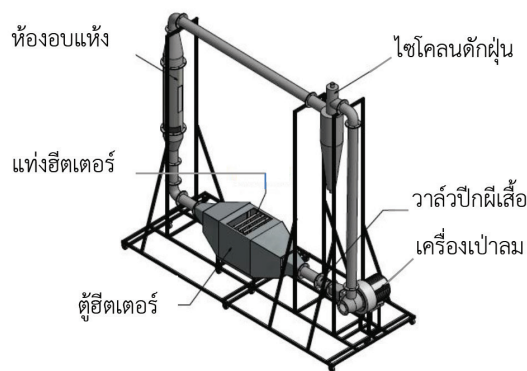
4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ฟลูอิดไอเซชัน (Fluidization) เป็นกระบวนการที่ของแข็งที่มีลักษณะเป็นเม็ด หรือเป็นชิ้นสัมผัสกับของไหล แล้วเม็ดของแข็งนั้นจะมีคุณสมบัติคล้ายของไหลเริ่มต้นจากการวางเม็ดของแข็งไว้บนตะแกรงหรือตัวกระจายในหอทดลอง แล้วให้ของไหลที่เป็นก๊าซหรือของเหลวไหลผ่านขึ้นไปทางด้านล่างของตะแกรงหรือตัวกระจายที่รองรับ และไหลผ่านชั้นเม็ดของแข็งออกทางส่วนบนของหอทดลองความเร็วของไหลมากขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดเม็ดของแข็งจะขยับตัวลอยไปพร้อมกับของไหล และจะแยกตัวออกเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน พฤติกรรมของแข็งในลักษณะนี้มีคุณสมบัติคล้ายของไหล จึงเรียกของแข็งสภาวะนี้ว่า ฟลูอิดไอเซชัน ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไอเซชัน



รูปที่ 2 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไอเซชัน

ในปัจจุบันการอบแห้งแบบฟลูอิดไอเซชันเป็นที่นิยมทั้งนี้เพราะเครื่องอบแห้งมีขนาดเล็กแต่สามารถอบแห้งได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากข้าวสัมผัสกับตัวกลางที่เป็นของไหลด้วยความเร็วสูง จนทำให้ข้าวขยับตัวได้อย่างอิสระมีสมบัติคล้ายของไหลโดยของไหลที่ใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้งมีทั้งไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน [7] ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไอเซชันสามารถแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไอเซชัน

4.1 สมการสำคัญที่ใช้วิเคราะห์ผลการทดลอง

ทดลอง

การคำนวณหาความชื้นฐานแห้ง (Dry Basis)

$$M_d = \frac{w - d}{d} \times 100 \quad (1)$$

M_d = ความชื้นฐานแห้ง, (%)

w = น้ำหนักก่อนอบแห้ง, (kg)

d = น้ำหนักหลังอบแห้ง, (kg)

อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction Rate)

$$SMER = \frac{m_b - m_o}{P_e} \quad (2)$$

SMER = อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ, (kg/kw hr)

m_b = น้ำหนักวัสดุก่อน, (kg)

m_o = น้ำหนักวัสดุหลังอบ, (kg)

P_e = ปริมาณพลังงานไฟฟ้า, (kW-hr)

อัตราการอบแห้ง

$$DR = \frac{m_A - m_B}{t} \quad (3)$$

DR = อัตราการอบแห้ง, (kg/hr)

m_A = มวลน้ำในวัสดุก่อนอบ, (kg)

m_B = มวลน้ำในวัสดุหลังอบ, (kg)

t = เวลาที่ใช้ในการอบแห้งภายใน 1 ชั่วโมง, (hr)

5. ผลการวิจัย

ในการทดลองอบแห้งเมล็ดข้าวโพดพันธุ์อินทรี 2 ด้วยเครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อทดสอบหาอุณหภูมิและความเร็วที่เหมาะสม การศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่มีต่อการอบแห้ง โดยใช้เมล็ดข้าวโพดที่ต้มเสร็จแล้วในการอบแห้ง 300 g ความชื้นเริ่มต้น 500 % d.b. ทำการอบแห้งให้เหลือความชื้นประมาณ 14-17 % d.b. ตามมาตรฐานความชื้นฐานแห้ง และควบคุมความเร็วลมโดยแบ่งออกเป็นช่วงคือ 5.5 m/s 6.5 m/s 7.5 m/s และอุณหภูมิความร้อนในการทดสอบแต่ละช่วง คือ 70°C 80°C และ 90°C โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4-6

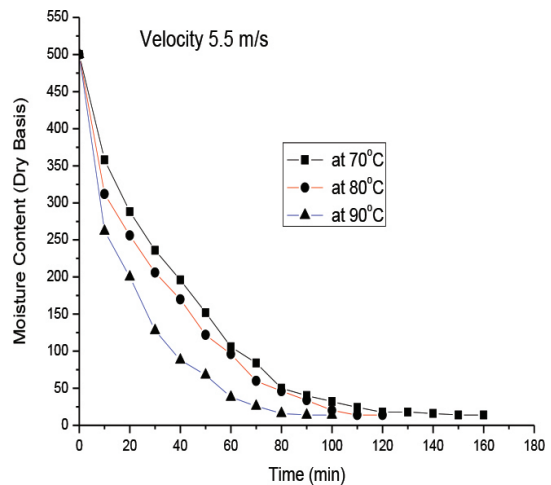
5.1 ผลของความเร็วกาศที่มีต่อการลดลงของความชื้นเมล็ดข้าวโพด

ผลการทดลองตามรูปที่ 4-6 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่ลดลงของเมล็ดข้าวโพดกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่ความเร็วลมต่างๆ ตามที่กำหนด จากกราฟ พบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วภายในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงแรก (Critical Drying) หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในเวลาต่อมา (Conarans Drying) อีกทั้งความเร็วลมที่ต่างกันส่งผลต่อระยะเวลาในการอบแห้งอย่างชัดเจน โดยสังเกตได้ว่า ที่ความเร็วลมสูงจะถึงความชื้นออกได้เร็วกว่าความเร็วลมต่ำ เนื่องจากที่ความเร็วลมสูงจะทำให้เกิดความปั่นป่วนอย่างหนาแน่นระหว่างเมล็ดข้าวโพดกับอากาศร้อนภายในเบด มากกว่าความเร็วลมอากาศต่ำ [5] ส่งผลให้อัตราการถ่ายโอนความร้อนและมวลของความชื้นมีมาก

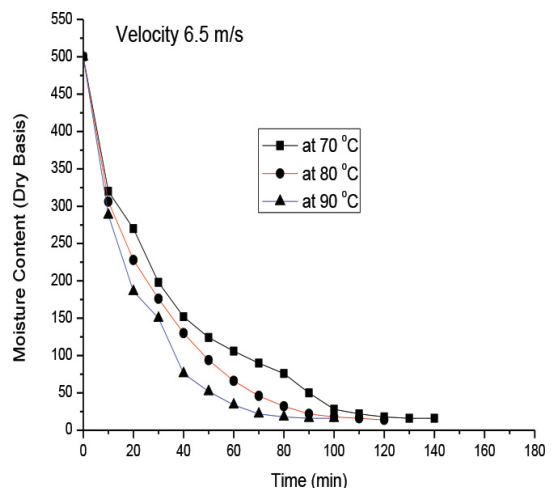
5.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดลงของความชื้นเมล็ดข้าวโพด

ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดข้าวโพดกับระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C 80°C และ 90°C จากกราฟเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นมีแนวโน้มลดลงที่อุณหภูมิการอบแห้งสูงมากกว่าอุณหภูมิการอบแห้งต่ำ และความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพดที่อบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะใช้เวลาลดลงเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เป็นผลมาจากอุณหภูมิสูง

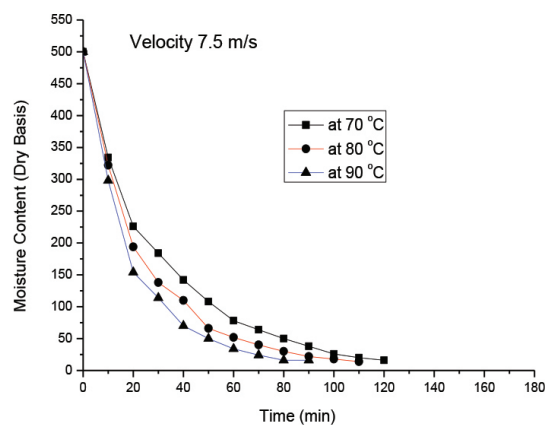
สามารถถ่ายเทความร้อนไปสู่เมล็ดข้าวโพดได้รวดเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำส่งผลให้ความชื้นถูกดึงออกจากเมล็ดข้าวโพดได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 4-6



รูปที่ 4 ความชื้นที่ลดลงเทียบกับเวลาที่ความเร็วลม 5.5 m/s



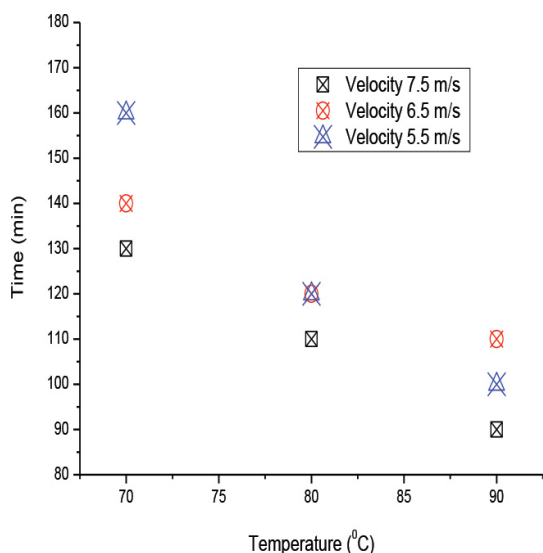
รูปที่ 5 ความชื้นที่ลดลงเทียบกับเวลาที่ความเร็วลม 6.5 m/s



รูปที่ 6 ความชื้นที่ลดลงเทียบกับเวลาที่ความเร็วลม 7.5 m/s

5.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดเทียบกับอุณหภูมิและความเร็วลม

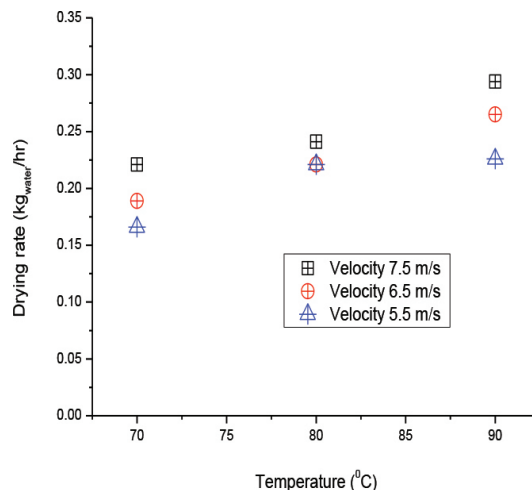
จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการอบแห้งที่มีต่อความเร็วลมกับอุณหภูมิในการอบแห้ง โดยที่อุณหภูมิและความเร็วลมสูง จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าอุณหภูมิและความเร็วลมต่ำกว่า เนื่องจากอุณหภูมิสูงการดึงความชื้นออกจากเมล็ดข้าวโพดจะเกิดขึ้นได้ดี และความเร็วลมที่สูงทำให้เกิดความปั่นป่วนของกระแสอากาศมาก ส่งผลให้ความชื้นของเมล็ดข้าวโพดระเหยออกอย่างรวดเร็ว โดยระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 7 ระยะเวลาในการอบแห้งเทียบกับอุณหภูมิที่ความเร็วลมต่างๆ



รูปที่ 7 ระยะเวลาในการอบแห้งเทียบกับอุณหภูมิที่ความเร็วลมต่างๆ

5.4 อัตราการอบแห้งเทียบกับอุณหภูมิและความเร็วลม

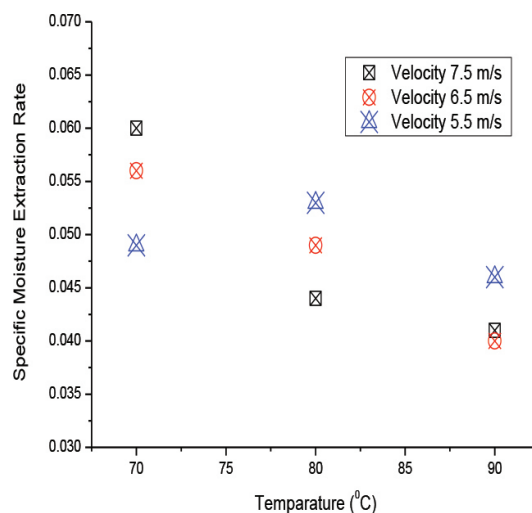
จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ยิ่งเพิ่มอุณหภูมิ และความเร็วลมในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้นอัตราการระเหยของน้ำที่ออกจากเมล็ดข้าวโพดยิ่งทำได้ดี และจะลดลงตามลำดับเมื่ออุณหภูมิและความเร็วลมลดลง ดังแสดงในรูปที่ 8 ค่าอัตราการอบแห้งเทียบกับอุณหภูมิ



รูปที่ 8 ค่าอัตราการอบแห้งเทียบกับอุณหภูมิ

5.5 ค่าอัตราการระเหยของไอน้ำต่อพลังงานที่ใช้ (SMER)

จากผลการทดลอง เพื่อหาค่าอัตราการระเหยของไอน้ำต่อพลังงานที่ใช้ (SMER) มีแนวโน้มลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้นเหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงแม้ว่าจะช่วยลดระยะเวลาให้การอบแห้งให้น้อยลงแต่จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้ามากในการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งเมื่อพิจารณาในเรื่องของความคุ้มค่าทางพลังงานอาจไม่คุ้มค่า โดยในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดการใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 70°C และความเร็วลม 7.5 m/s ให้ความคุ้มค่าในแง่ของการใช้พลังงานมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 9 ค่าอัตราการระเหยของไอน้ำต่อพลังงานที่ใช้, (SMER)



รูปที่ 9 ค่าอัตราการระเหยของไอน้ำต่อพลังงานที่ใช้, (SMER)

6. สรุป

จากผลการทดลองการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด โดยการใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแสดงให้เห็นว่าการ ความเร็วลม และอุณหภูมิที่สูงส่งผลต่อระยะเวลา ในการอบแห้งเป็นอย่างมากกล่าวคือ เมื่อความเร็วลมสูง อุณหภูมิสูง จะส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง เนื่องจาก ที่ความเร็วลมและอุณหภูมิต่ำที่สูงจะทำให้ ความชื้นในเมล็ดข้าวโพดลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอุณหภูมิ 90°C และความเร็วลม 7.5 m/s จะใช้เวลาในการอบแห้ง น้อยที่สุดอยู่ที่ 90 min ซึ่งเร็วกว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C และความเร็วลม 5.5 m/s ซึ่งใช้เวลา 160 min อยู่ถึงเกือบ 2 เท่า แต่ถ้าพิจารณาในแง่ของการพลังงาน ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C และความเร็วลม 7.5 m/s จะให้ความคุ้มค่ามากที่สุด

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Agricultural Economics.Maize. [Internet]. 2009 [cited 2013 Feb. 01]. Available from: <http://www.oae.go.th>. (in Thai)
- [2] Faculty of Pharmacy, Silpakorn University. Aflatoxin Toxicity.[Internet]. [cited 2013 Jan. 05]. Available from: <http://www.pharm.su.ac.th/cheminlife/cms>
- [3] Pongsatornkulpanich A. A study of corn drying by using fluidization technique. [dissertation]. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonbur; 1996. (in Thai)
- [4] Poomsa-ad N, Soponronnarit S, Wetcha-cama S, Swasdisevi T. Managing moist paddy by drying, tempering and ambient air ventilation. Drying Technology. 1999;17 (1&2):335-44
- [5] Adtong W. A study of characterization of fresh coffee beans drying by fluidized bed Technique. Academic Conference Report of the Mechanical Engineering Network of Thailand; 2003 Oct 15-17. Prachinburi; 2003. (in Thai)
- [6] Dongbang W. A study of drying corn grains by using fluidized bed technique. The 18th Academic Conference Report of the Mechanical Engineering Network of Thailand; 2004 Oct 18-20. Khonkaen; 2004 (in Thai)
- [7] Damronglert S. Fluidization. 1st ed. Chulalongkorn University; 2528. P.255. (in Thai)

รูปแบบบทความสำหรับ วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมนคลธัญบุรี

ปรกช สิริสุวัฒน์^{1*} สุมนมัลย์ เนียมกลาง² และกุลยา สาริชีวิน³
porakoch.s@en.rmutt.ac.th^{1*}, sumonman.n@en.rmutt.ac.th², kullaya.s@en.rmutt.ac.th³

^{1*} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับรูปแบบและวิธีการส่งบทความเพื่อเสนอต่อกองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมนคลธัญบุรี ผู้ส่งบทความต้องยึดรูปแบบตามบทความนี้อย่างเคร่งครัด บทความใดที่มีรูปแบบไม่ถูกต้องจะถูกส่งคืน เพื่อทำการแก้ไขก่อนนำเสนอส่งผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ หากไม่ทำการแก้ไขให้ถูกต้องกองบรรณาธิการจะทำการตัดสิทธิ์ การส่งบทความนี้ ทั้งนี้บทคัดย่อต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ แต่ละภาษาควรมีเพียงย่อหน้าเดียว และมีความยาว ไม่เกิน 300 คำ

คำสำคัญ: วิธีการส่งบทความ รูปแบบบทความ ขนาดตัวอักษร รูปแบบตัวอักษร การเว้นบรรทัด

Manuscript Preparation Guidelines for the Papers Submitted to Journal of Engineering, RMUTT

Porakoch Sirisuwan^{1*} Sumonman Niamlang² and Kullaya Saricheewin³
porakoch.s@en.rmutt.ac.th^{1*}, sumonman.n@en.rmutt.ac.th², kullaya.s@en.rmutt.ac.th³

^{1*} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

² Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

³ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Abstract

This article describes a submission procedure and a format of the manuscript for the Journal of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (JERMUTT). Authors are required to strictly follow the guideline provided here, otherwise, the manuscript will be returned for proper correction before to be reviewed by two referees who are specialists in that fields. If no completed on this step your manuscript will be rejected and cannot be considered again. So that an abstract should have had only one paragraph. Both Thai and English abstracts are required the length of all should not exceed 300 words.

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

1. ข้อกำหนดทั่วไป

บทความต้องประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ตามลำดับต่อไปนี้ คือ

1. ชื่อเรื่อง/บทความ (Title)
2. ชื่อผู้เขียน/อีเมล (Author, E-mail)
3. ที่อยู่ผู้เขียน (Affiliation)
4. บทคัดย่อ (Abstract)
5. คำสำคัญ (Keywords)
6. บทนำ (Introduction)
7. เนื้อหา (Text)
8. สรุป (Conclusion)
9. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)
(Acknowledgements)
10. เอกสารอ้างอิง (References)

2. คำแนะนำในการเขียนและพิมพ์

คำแนะนำทั่วไป

2.1. ชื่อเรื่อง/บทความ (Title) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้นและกระชับ แต่ครอบคลุมสาระทั้งเรื่องสื่อความหมายชัดเจน ไม่ควรใช้คำย่อ และวางกึ่งกลางหน้ากระดาษ

2.2. ชื่อผู้เขียนหลัก (Corresponding Author) และผู้เขียนร่วม (Co-Author) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใส่หมายเลขลำดับ (ตัวยก) เรียงตามลำดับความสำคัญ โดยใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ผู้เขียนหลักถัดจากหมายเลขลำดับ (ตัวยก)

2.2.1 E-mail ผู้เขียนเรียงตามลำดับชื่อผู้เขียนและ ใส่เครื่องหมาย (*) ถัดจากหมายเลขลำดับ (ตัวยก) ของผู้เขียนหลัก

2.3. ที่อยู่ผู้เขียน (Affiliation) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่ต้องระบุตำแหน่งวิชาการ หรือสถานะของนักศึกษาใดๆ ทั้งสิ้น

2.4. บทย่อคัด (Abstract) เป็นการสรุปประเด็นเนื้อหาที่เป็นแกนสำคัญเน้นประเด็นสำคัญของงาน ที่ต้องการนำเสนอจริงๆ ควรเขียนให้สั้น และกระชับ

2.5. คำสำคัญ (Keywords) ให้ระบุไม่เกิน 3-5 คำ

2.6. บทนำ (Introduction) ส่วนนำจะเป็นส่วนที่ผู้เขียนจูงใจให้ผู้อ่านเกิดความสนใจในเรื่องนั้นๆ วัตถุประสงค์ของงานวิจัย และข้อมูลทางวิชาการ

2.7. เนื้อหา (Text) บทความที่เสนอจะต้องพิมพ์เป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ ตามรูปแบบที่กำหนด ซึ่งพร้อมที่จะนำไปถ่ายเพลท เพื่อพิมพ์ออฟเซตได้ทันที

การพิมพ์ให้พิมพ์ลงบนกระดาษ A4 โดยพิมพ์เป็น 2 คอลัมน์ตามรูปแบบบทความนี้ ขนาดของคอลัมน์เป็นไปตามที่กำหนด จะต้องพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์ที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 300 dpi.

ให้พิมพ์โดยไม่เว้นบรรทัด เมื่อจะขึ้นหัวข้อใหม่ให้เว้นบรรทัด 1 บรรทัด และจะต้องพิมพ์ให้เต็มคอลัมน์ก่อนที่จะขึ้นคอลัมน์ใหม่ หรือขึ้นหน้าใหม่ ห้ามเว้นที่เหลือไว้ว่างเปล่า

การลำดับหัวข้อในส่วนของเนื้อเรื่องนี้ ให้ใส่เลขกำกับโดยให้บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีการแบ่งหัวข้อย่อย ก็ใช้เลขระบบทศนิยมกับหัวข้อย่อย เช่น 1.1 เป็นต้น

ตารางที่ 1 การตั้งค่าหน้ากระดาษ

ระยะขอบ	เซนติเมตร
บน (Top)	3
ล่าง (Bottom)	2
ซ้าย (Left)	3
ขวา (Right)	3
ระยะห่างคอลัมน์	1

ตารางที่ 2 ขนาดตัวอักษรและการเว้นระยะพิมพ์
บทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษด้วยตัวอักษร
รูปแบบ “TH SarabunPSK”

รายการ	ขนาด	ตำแหน่ง	ลักษณะ
ชื่อเรื่อง	18	กึ่งกลาง	ตัวหนา
ชื่อผู้เขียน อีเมล	14	กึ่งกลาง	ปกติ
ที่อยู่ผู้เขียน	12	ชิดซ้าย	ปกติ
บทย่อคัด	14	ชิดซ้าย	ปกติ
ชื่อหัวข้อ, หัวข้อย่อย	14	ชิดซ้าย	ตัวหนา
เนื้อความ	14	กระจาย แบบไทย	ปกติ
สมการต่างๆ	14	กึ่งกลาง	ตัวเอียง
คำบรรยาย ประกอบรูป และตาราง	14	กึ่งกลาง	ปกติ

ให้จัดเนื้อเรื่องในแต่ละบรรทัดเรียงชิดซ้ายและ
ขวาอย่างสวยงาม เว้นบรรทัดแรกของย่อหน้า ใช้ 1 แท็บ
หรือ 0.5 นิ้ว

2.7.1 การจัดทำรูปภาพ

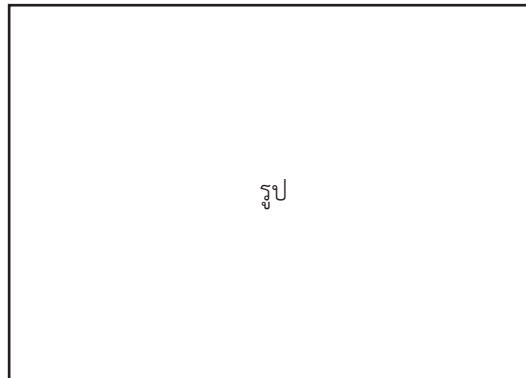
รูปภาพจะต้องมีความกว้างไม่เกิน 70 มม.
เพื่อให้ลงในหนึ่งคอลัมน์ได้ หรือกรณีจำเป็นจริงๆ
เพื่อรักษารายละเอียดในภาพ อาจยอมให้มีความกว้างได้
เต็มหน้ากระดาษ (กว้าง 150 มม.)

ตัวอักษรทั้งหมดในภาพจะต้องมีขนาดใหญ่
สามารถอ่านได้สะดวก

รูปภาพทุกรูปจะต้องมีหมายเลข และ
คำบรรยายได้ภาพ

คำบรรยายได้ภาพห้ามใช้คำว่า “แสดง” เช่น
ห้ามเขียนว่า “รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง..”
ที่ถูกต้องควรเป็น “รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง..”

ตัวอย่าง



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง....

รูปถ่ายเส้นจะต้องเป็นเส้นหมึกดำ ส่วนรูปถ่าย
ควรจะเป็นรูปขาวดำที่มีความคมชัด รูปสีอนุโลม
ให้ใช้ได้ รูปภาพควรจะมีรายละเอียดเท่าที่จำเป็นเท่านั้น
เช่น ภาพถ่ายรูปคลื่นจากออสซิลโลสโคปที่ปรากฏ
ให้เป็นเฉพาะจอภาพ เป็นต้น และเพื่อความสวยงาม
ให้เว้นบรรทัดเหนือรูปภาพ 1 บรรทัดและเว้นใต้
คำบรรยาย 1 บรรทัด

2.7.2 การเขียนสมการ

สมการทุกสมการจะต้องมีหมายเลขกำกับ
อยู่ภายในวงเล็บและเรียงลำดับที่ถูกต้อง ควรใช้
ตัวพยัญชนะเอียงแสดงถึงพารามิเตอร์หรือตัวแปร
ในสมการ ตำแหน่งของหมายเลขสมการจะต้องอยู่ชิด
ขอบด้านขวาของคอลัมน์ เว้นหนึ่งบรรทัดก่อนเขียน
สมการ และเว้นหนึ่งบรรทัดหลังเขียนสมการ จัดให้
สมการอยู่ตรงกลางคอลัมน์ ดังตัวอย่างนี้

$$a + b = c \quad (1)$$

เริ่มเขียนคำอธิบายตั้งแต่บรรทัดนี้

2.7.3 การจัดการทำตาราง

ตัวอักษรในตารางจะต้องไม่เล็กกว่าตัวอักษรในเนื้อเรื่อง ควรตีเส้นกรอบตารางด้วยหมึกดำให้ชัดเจน ตารางทุกตารางจะต้องมีหมายเลข และคำบรรยายกำกับกับเหนือตาราง หมายเลขกำกับและคำบรรยายนี้รวมกันแล้วควรมีความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด คำบรรยายเหนือตารางห้ามใช้คำว่า “แสดง” เช่นเดียวกับกรณีรูปภาพ

เพื่อความสวยงามให้เว้นบรรทัดเหนือตาราง 1 บรรทัด และเว้นบรรทัดใต้คำบรรยายรูปภาพ 1 บรรทัด

2.7.4 ความยาวของบทความ

เมื่อรวมทุกส่วนแล้ว บทความไม่ควรจะมีความยาวน้อยกว่า 8 หน้า และยาวไม่เกิน 12 หน้า กระดาษ A4

2.7.5 กรณีบทความภาษาอังกฤษ

ผู้พิมพ์บทความเป็นภาษาอังกฤษ กรุณาดูคำแนะนำ วิธีการพิมพ์บทความภาษาอังกฤษที่แนบมาด้วย

2.7.6 การส่งบทความ

ผู้เขียนสามารถส่งต้นฉบับ ทางเว็บไซต์ออนไลน์ ของวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชวมงคลธัญบุรี www.engineer.rmutt.ac.th/journal/



โดยต้องทำการลงทะเบียนเพื่อสมัครสมาชิกวารสารและนำส่งวารสารต้นฉบับในรูปแบบไฟล์

- Word
- PDF

กรุณาจัดส่ง แบบฟอร์มยืนยันการส่งบทความทางวิชาการ เพื่อลงตีพิมพ์ใน วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชวมงคลธัญบุรี มายัง อีเมล enjournal@en.rmutt.ac.th หรือ จัดส่งไปรษณีย์มายังกองบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชวมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหลวง อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110” จึงจะถือว่า การส่งวารสารนั้นเสร็จสมบูรณ์

หากขั้นตอนการนำส่งวารสารทั้ง 2 ขั้นตอน คือ การส่งวารสารทางเว็บไซต์ออนไลน์ และการนำส่งแบบฟอร์มยืนยันการส่งบทความมายังอีเมล enjournal@en.rmutt.ac.th ไม่ครบถ้วนทั้ง 2 ขั้นตอน บทความนั้นจะถูกส่งคืน และไม่สามารถผ่านการพิจารณาได้

3. สรุป (Conclusion)

ผู้เขียนบทความกรุณาตรวจสอบบทความอย่างรอบคอบโดยใช้เวลาอย่างเพียงพอก่อนส่งให้คณะกรรมการพิจารณา จะทำให้บทความของท่านมีคุณภาพสูง ผ่านการพิจารณาย่างขึ้น และหากไม่มีการแก้ไขบทความกลับภายในระยะเวลา 3 เดือน หลังจากได้รับบทความกลับคืน บทความนั้นจะถูกยกเลิกการพิจารณาโดยอัตโนมัติ และไม่รับพิจารณาบทความใดๆ ของผู้เขียนนั้น เป็นระยะเวลา 1 ปี นับตั้งแต่วันครบกำหนดการส่งบทความกลับคืน

4. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

ขอขอบคุณข้อมูลจาก TCI และผู้เขียนบทความทุกท่านที่ให้ความร่วมมือรักษาระเบียบการเขียนบทความอย่างเคร่งครัด

5. เอกสารอ้างอิง (References)

การอ้างอิงเอกสารใช้ระบบ (Vancouver Style) เรียงตามลำดับ 1,2,3 ตามการใช้งาน โดยใส่ตัวเลขของเอกสารอ้างอิงไว้ในวงเล็บ เช่น [1] เป็นต้น แล้วรวบรวมไปเขียนอ้างอิง ตามรูปแบบวารสารกำหนด

ในการเขียนเอกสารอ้างอิงผู้เขียนต้องเขียนเป็นภาษาอังกฤษ ในกรณีแหล่งข้อมูลที่ใช้อ้างอิงมาจากแหล่งอ้างอิงภาษาไทย เช่น ตำราไทย วารสารไทย เป็นต้น ให้แปลเป็นภาษาอังกฤษ แล้ววงเล็บด้านท้ายชื่อภาษาต้น เช่น (in Thai) ทั้งนี้ผู้เขียนบทความควรใช้แหล่งอ้างอิงที่ได้รับการยอมรับกันตามเกณฑ์สากล

ตัวอย่าง (Example)

- [1] Kalsirisilp R, Nadpakdee A, Langkapin J. Performance evaluation of sugarcane grab loader. Journal of Engineering, RMUTT. 2018;16(1):1-12. (in Thai)

ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง

(เครื่องหมาย\หมายถึง เว้นวรรค 1 ระยะ)

รูปแบบบทความวารสาร

(Articles in Journals)

- [2] Author.\Article Title.\Journal Title.\ Year of Publication;Volume(Issue Number):Pagintion.

ตัวอย่าง (Example)

- [3] Nanthasamroeng N. Application of center of risk gravity in the location analysis for a sitting of emergency medical service vehicles. Journal of Engineering RMUTT. 2011;2:21-9. (in Thai)
- [4] Halpern SD, Ubel PA, Caplan AL. Solid-organ transplantation in HIV-infected patients. N Engl J Med. 2002 Jul 25;347(4):284-7.

รูปแบบหนังสือและเอกสารเฉพาะเรื่อง

(Books and Other Monographs)

- [5] Author.\Title.\Edition.\ Place of Publication: \Publisher;\Year of Publication.
- [6] Author.\Title\[dissertation or master's thesis].\ Place of Publication:\ University;\Year of Publication.

ตัวอย่าง (Example)

- [7] Murray PR, RoawnrhL KS, Kobayashi GS, Pfaller MA. Medical microbiology. 4 t h ed. St.Louis: Mosby; 2002.
- [8] Borkowski MM. Infant sleep and feeding: a telephone survey of Hispanic Americans [dissertation]. Mount Pleasant (MI): Central Michigan University; 2002.

รูปแบบสื่ออิเล็กทรอนิกส์

(Electronic Material)

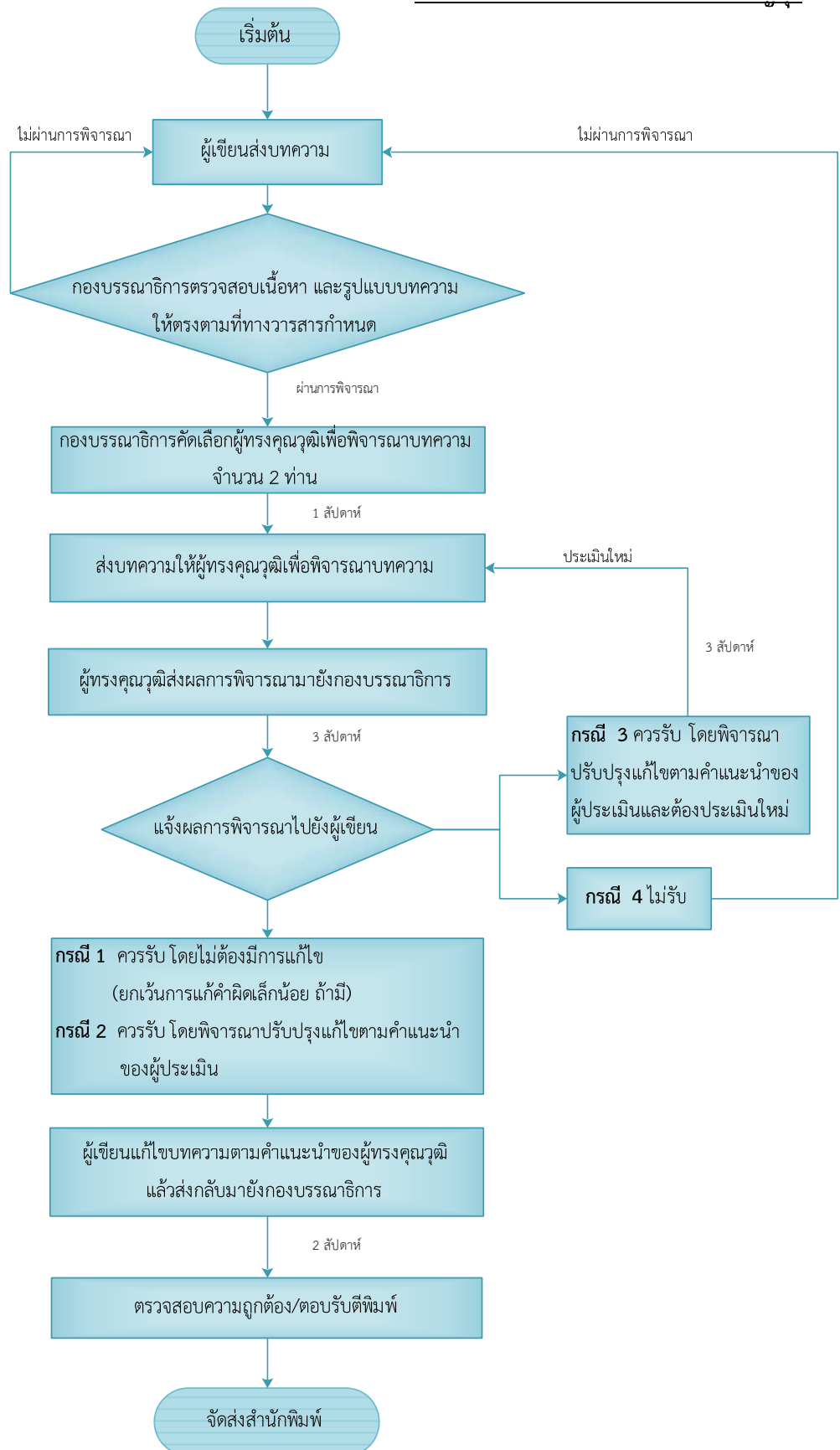
- [9] Author.\ Article Title.\ Journal Title.\ [Internet].\Year of Publication\ [cited YY\MM\DD];Volume(Issue Number):page numbers.\Availability From:\URL

ตัวอย่าง (Example)

- [10] Siriprasert R. Model development for health screening system in prachinburi province. Journal of Health Science [Internet]. 2010 [cited 2011 Fed 25]; 19 (3):409-21. Available from:http://pubnet.moph.go.th/pubnet2/e_doc.php?id=2593 (in Thai)
- [11] Abood S. Quality improvement initiative in nursing homes: the ANA acts in an advisory role. Am J Nurs [Internet]. 2002 [cited 2002 Aug 12];102(6): [about 1 p.]. Available from : http://www.nursingworld.org /AJN/2002/june/Wawatch.htmArticle

สามารถดาวน์โหลดรูปแบบบทความ Template ในรูปแบบ Word และคู่มือการอ้างอิงระบบ (Vancouver Style) ได้ที่

<https://drive.google.com/drive/folders/1jPxtFBwmeUTtRwHH3HEfFuVZXsIOPV>



ในกรณีที่ 2 และ 3 หลังจากบทความผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว ผู้เขียนควรพิจารณาการแก้ไขและส่งบทความกลับมาในระยะเวลาที่กำหนดหากล่าช้าเกิน 90 วัน (นับจากวันแจ้งแก้ไข) กองบรรณาธิการขอแจ้งไม่รับพิจารณาบทความโดยอัตโนมัติ และผู้เขียนไม่สามารถส่งบทความเข้าสู่ระบบได้เป็น ระยะเวลา 1 ปี (เนื่องจากมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการประเมินบทความ และขาดความต่อเนื่องในการพิจารณาบทความจากผู้ทรงคุณวุฒิ)

หมายเหตุ : รวมระยะเวลาโดยประมาณ 90 วัน หากไม่มีการแก้ไขใดๆเพิ่มเติม



สมาชิกเลขที่

.....

ใบสมัครสมาชิกวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบรภูมิ

วันที่สมัคร

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว สกุล อาชีพ

ที่อยู่ (สำหรับจัดส่งวารสาร) เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์..... โทรสาร e-mail

มีความประสงค์สมัครเป็นสมาชิก

อัตราค่าสมาชิก

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบรภูมิ ปี

1 ปี 2 ฉบับ 120 บาท (สำหรับบุคคลทั่วไป)
80 บาท (สำหรับนักศึกษา)

ต่ออายุสมาชิก ปี

1 ปี 2 ฉบับ 120 บาท (สำหรับบุคคลทั่วไป)
80 บาท (สำหรับนักศึกษา)

พร้อมกันนี้ได้ส่งค่าสมาชิก จำนวน บาท

จำนวนเงินตัวอักษร

ชำระเงินโดยวิธี

ธนาคาร ส่งจ่าย

ตัวแลกเงินไปรษณีย์ ส่งจ่าย

โอนเงินเข้าบัญชีธนาคาร..... ชื่อบัญชี เลขที่บัญชี

หมายเหตุ 1. กรุณาส่งสำเนาใบเข้าบัญชี (pay-in-slip) หรือโทรสารมายังสำนักงานคณะวิศวกรรมศาสตร์

พร้อมเขียน ชื่อ – นามสกุล และหมายเลขสมาชิก (ถ้ามี)

2. นักศึกษาที่สมัครทางไปรษณีย์ กรุณาส่งสำเนาบัตรประจำตัวนักศึกษาแนบมาด้วย

ลงชื่อ ผู้สมัคร
(.....)

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบรภูมิ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชภัฏบรภูมิ

39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ 0-2549-3493 โทรสาร 0-2549-3479 www.engineer.rmutt.ac.th/journal e-mail: enjournal@en.rmutt.ac.th

**แบบฟอร์มการส่งบทความทางวิชาการ
เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมนคลัญบุรี**

ข้าพเจ้า ☐ นาย ☐ นาง ☐ นางสาว ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ)

ชื่อ-สกุล

(ภาษาอังกฤษ)

ตำแหน่งทางวิชาการ (โปรดระบุ) ☐ ศาสตราจารย์ ☐ รองศาสตราจารย์ ☐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

☐ อาจารย์ ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ)

ที่อยู่ (ที่ติดต่อได้)

โทรศัพท์ที่ทำงาน โทรศัพท์มือถือ

โทรสาร อีเมล

มีความประสงค์ขอส่งบทความ เรื่อง:

ชื่อบทความ (ภาษาไทย)

ชื่อบทความ (ภาษาอังกฤษ)

การตรวจสอบ ☐ ทำการลงทะเบียน และ ส่งวารสารต้นฉบับใน เว็บไซต์

www.engineer.rmutt.ac.th/journal/ หรือ

<http://journal.engineer.rmutt.ac.th/enjournal/> เรียบร้อยแล้ว

วันที่ ส่งวารสารต้นฉบับ เข้าสู่ระบบออนไลน์

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุไว้ในบทความจริง และบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อนและข้าพเจ้าจะไม่นำส่งบทความนี้ไปพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน นับจากวันที่ข้าพเจ้าส่งบทความ

ลงนาม.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

TECHNICAL ARTICLE FORM
FOR PUBLISHING ON JOURNAL OF ENGINEERING, RMUTT

Title ☐ Mr. ☐ Ms. ☐ Others (Please specify)

Name-Surnames.....

Academic Positions (Please specify) ☐ Professor ☐ Associate Professor ☐ Assistant Professor

☐ Lecturer ☐ Others (Please specify).....

Address (for Contact).....

.....

.....

Office Phone Number.....Mobile Phone Number.....

Fax Number.....E-mail.....

Name of Article:.....

.....

.....

.....

Submission Checklist ☐ Already register and submit the manuscripts on

www.engineer.rmutt.ac.th/journal/ or

<http://journal.engineer.rmutt.ac.th/enjournal/>

The days of Online Submission

I promise this article belongs to me and co-authors as the name indicated in the article.

In addition, this article has not been previously published on another journal. Furthermore, I will not submit this article on another journal within 60 days from the day of my submission on the JOURNAL OF ENGINEERING, RMUTT.

Sign.....

(.....)

...../...../.....



คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12100

โทร. 0-2549-3493 โทรสาร 0-2549-3493

www.engineer.rmutt.ac.th/journal