



RMUTK
ราชภัฏนครปฐม

**RATTANAKOSIN
RMUTR**

RS

**BANSOMDEJ
CHAOPRAYA
RAJABHAT UNIVERSITY**



IMAKE



nt ทรินิตี
เทคเนคัล



KMITL วิทยาเขตชุมพร
FIGHT TOGETHER

การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8

Vol.1

ด้านสารสนเทศ การเกษตร
วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

24 - 26 พฤษภาคม 2566

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร



เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติ ประจำปี 2566
ด้านสารสนเทศ การเกษตร วิศวกรรมศาสตร์
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 8 : IAMBEST 2023

จัดโดย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร และ
เครือข่ายมหาวิทยาลัย

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย

ทัศนคติและข้อคิดเห็นใดๆ ที่ปรากฏในบทความภายในเอกสารรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ IAMBEST 2023 เป็นทัศนะของผู้เขียน คณะกรรมการจัดการประชุมไม่จำเป็นต้องเห็นพ้องด้วยกับทัศนะเหล่านั้น และไม่ถือว่าเป็นความรับผิดชอบของคณะกรรมการจัดการประชุม ความรับผิดชอบด้านเนื้อหา และการตรวจร่างบทความแต่ละบทความของผู้แต่งแต่ละท่าน กรณีมีการฟ้องร้องเรียนเรื่องการละเมิด ลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงฝ่ายเดียว

พิมพ์ครั้งที่ 1 วันที่ 24 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

ออกแบบปก นายสรารุช สวัสดิ์

จัดพิมพ์โดย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
17/1 หมู่ 6 ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160
โทรศัพท์ (077) 506-41

สารจากระองอธิการบดี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร



การประชุมทางวิชาการระดับประเทศ The 8th National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business administration, Engineering, Sciences and Technology และการประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติ The 4th International Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Sciences and Technology (IAMBEST 2023) เป็นการประชุมจากผู้เชี่ยวชาญ นักวิชาการ และนักวิจัย ในด้านต่างๆ เช่น สารสนเทศ การเกษตร การจัดการและการบริหารธุรกิจ วิศวกรรมศาสตร์ และวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งจัดขึ้นโดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ระหว่างวันที่ 24 - 26 พฤษภาคม 2566 โดยมีจุดประสงค์เพื่อเป็นเวทีแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างนักวิชาการ นักวิจัย และบุคลากรทางการศึกษา

รวมทั้งผู้เชี่ยวชาญในหลากหลายแขนง ความก้าวหน้าและการพัฒนาในวงการวิจัย ซึ่งทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกัน เกิดสร้างเครือข่ายและสามารถบูรณาการองค์ความรู้ต่างๆ ไปพัฒนา ชุมชน สังคม ประเทศชาติ ให้มีความเจริญก้าวหน้าต่อไป

ในนามของประธานคณะกรรมการจัดงานประชุมวิชาการ IAMBEST 2023 ผมขอขอบคุณคณะทำงานและผู้นำเสนอผลงานทุกท่านที่เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้การจัดประชุมประสบความสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการจัดประชุมในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานทางวิชาการ งานวิจัยและเกิดการสร้างนวัตกรรมอันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศตามความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของทุกท่าน ขอขอบคุณครับ



(รองศาสตราจารย์ ดร.คาร์ณวิทย์ ทิพย์มณี)

รองอธิการบดี วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KEYNOTE SPEAKERS

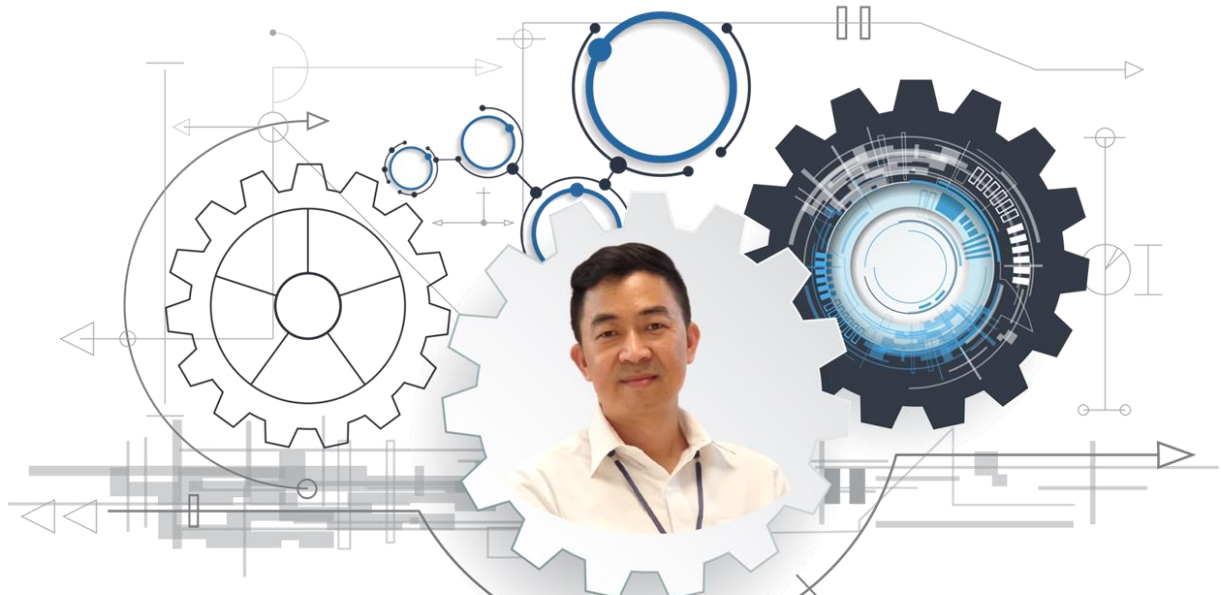
Visual Sensors in Digital Transformation Era



Prof. Dr. Kosin Chamnongthai

**King Mongkut's University of Technology Thonburi
Vice president (conference) of APSIPA Association**

Smart Pier



Mr. Tepparit Ritthongpitak

National Telecom Public Company Limited

สารบัญ

	หน้า
สารจากรองอธิการบดี	ก
Keynote Speakers	ข
สารบัญ	ค
โปรแกรมการนำเสนอการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8	ช
รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8	ต
ภาคบรรยาย	1
กลุ่ม I : Informatics (ด้านสารสนเทศ)	
OI-19 การเรียนรู้แบบรวมกลุ่มด้วยตัวแบบที่แตกต่างกันแบบขนานสำหรับข้อมูลไม่สมดุล กรณีศึกษาข้อมูลเครดิตเยอรมัน <i>ศศิวิมล ศรีโรจน์ และ ณัฏติฤดี เจริญรักษ์</i>	2
OI-20 การเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบรวมกลุ่ม สำหรับข้อมูลที่มีลักษณะการจำแนก แบบไบนารี <i>กรชนก ชมเชย และ ณัฏติฤดี เจริญรักษ์</i>	12
OI-36 การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหาย ในตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุที่ตัวแปรอิสระ มีการสูญหายของแบบนอนอินกอร์เรเบิลที่สัมพันธ์กัน <i>ศุภสันต์ ดีมาก และ อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดิ์</i>	23
กลุ่ม A : Agriculture (ด้านการเกษตร)	
OA-67 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง <i>หัตถชัย คำบุญมา อนุภาพ นิยมแก้ว วาสนา อยู่เปี่ยม ภัทรวดี ไหมจุน โสภิษา พรหมมณี ถิรายุทธ์ วิจิตรภาพ ร่วมจิตร นกเขา นารารอ สว่างวงศ์ และ ศศิตารา เจริญศิริ</i>	34
OA-69 ผลของการตัดแต่งกิ่งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของโสนกินดอก <i>กฤตเมธ วรรณิกร ร่วมจิตร นกเขา และ กนกพร บุญญะอดิชาติ</i>	44
OA-73 ผลของการให้แสงคลื่นในช่วงกลางคืนต่อการออกดอกของกระบองเพชร <i>Gymnocalycium mihanovichii</i> <i>สุนิสา สังข์สม ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์ ร่วมจิตร นกเขา และ กนกพร บุญญะอดิชาติ</i>	52
OA-83 ฤทธิ์ต้านเชื้อราของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์แบบเคมีสีเขียวต่อ เชื้อรา <i>Fusarium sp.</i> สาเหตุโรคกิ่งแห้งของทุเรียน <i>นวมินทร์ ทองศรี อูษา สุขชา สิริฉัตรณ์ช กักดีพรหมมา และ พรประพา คงตระกูล</i>	59

OA-84	การจำแนกลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์พื้นเมือง <i>ทนงเกียรติ ทั่นแสง ญัฐนันท์ ชมท่าไม้ สถาพร แก้วจันทร์ ญัฐพร ถิ่นวงค์ยอด ศุภกิจ แซ่หลี่ ชูติมา เกษแก้ว กัญญิกา มุกกันต์ ร่วมจิตร นกเขา สุมลรัตน์ จินตนาสิริรักษ์ ศศิดารา เจริญศิริ และ อภิชาติ ครุฑสุวรรณ</i>	67
OA-86	ผลของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้สารสกัดใบชะมวงต่อเชื้อรา <i>Phytophthora palmivora</i> และ <i>Colletotrichum sp.</i> สาเหตุโรครุเรียน <i>เอมวิภา ภัคดีประชุม นิสรา วีระวงษ์ อุษา สุขชา สิริฉัตรณ์ช ภัคดีพรหมมา และ พรประพา คงตระกูล</i>	77
OA-104	การเพิ่มศักยภาพการผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริมของเกษตรกรในอำเภอขนอม จังหวัด นครศรีธรรมราช <i>ชัยวัฒน์ บุญพัฒน์ สุนันท์ สีสั่ง และ ปรีชาดิ ดิษฐกิจ</i>	85
OA-107	ผลของมูลไก่ก้อัดเม็ดเคลือบด้วยไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ต่อการเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด ฝักอ่อน <i>ณัฐวุฒิ คงตะโก พรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง และ ศุภชัย อำคา</i>	92
OA-119	การส่งเสริมการผลิตเงาะให้ได้คุณภาพแก่เกษตรกรจังหวัดสุราษฎร์ธานี <i>พิรพงศ์ พิงคารักษ์ สุนันท์ สีสั่ง และ พลสรายุ สราญรมย์</i>	99
กลุ่ม E : Engineering (ด้านวิศวกรรมศาสตร์)		
OE-14	การอบแห้งเมล็ดปาล์มน้ำมันด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่มีผลต่อลักษณะทางกลของเมล็ดปาล์ม <i>พทธิพงศ์ เลขาชัยวรกุล วชร กาลาสี และ ปัญญา แดงวิไลลักษณ์</i>	108
OE-37	ผลของการอบแห้งแบบฟอยและสารช่วยอบแห้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้าน อนุมูลอิสระของแตงโมผง <i>จิราชาติ พูลศิริ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และ ลักกมน เทพหัสติน ณ อยู่ธยา</i>	117
OE-53	การออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทิฟแบบขนานแบบเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการค้นหา แบบตาบู่เชิงปรับตัวสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส <i>สุทธิณี ว่าสูงเนิน ทศพร ณรงค์ฤทธิ์ กองพล อารีรักษ์ และ อาทิตย์ ศรีแก้ว</i>	127
OE-62	การประเมินประสิทธิภาพและอัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์โดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้น <i>พรกิตติ มหิทธิบุรินทร์ และ วาทีต เบญจพลกุล</i>	136
OE-87	การตรวจจับและจำแนกประเภทความผิดปกติในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดย ใช้ AdaBoost เปรียบเทียบกับ Gradient Boosting <i>เสฏฐวุฒิ ยิวเที่ยง และ วาทีต เบญจพลกุล</i>	147
OE-92	การบริหารจัดการพลังงานด้วยระบบควบคุมสภาพอากาศอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกสตรอว์ เบอรี่ <i>สราวุธ พลวงษ์ศรี ชวโรจน์ ใจสิน อัครินทร์ อินทนิเวศน์ ธงชัย มณีชูเกตุ ภาณุวิชญ์ พุทธิรักษา และสุลักษณ์มา มงคล</i>	158
OE-110	การศึกษารูปแบบของอุปกรณ์หนีบจับทุเรียนและเวลาการทำงานเพื่อใช้ร่วมกับแขนกล บรรจุทุเรียนลงกล่อง <i>สรวุฒิ ปั้นศีล และ ปัญญา แดงวิไลลักษณ์</i>	168

OE-121	การประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสนेल <i>พิมพ์กานต์ ทิพย์เสภา สุภาวิณี เสมอมาศ และ ศรีรัตน์ ช่วยบุญ</i>	178
OE-131	การศึกษาดัชนีพลังงานไฟฟ้าจำเพาะในบ่อเพาะเลี้ยงปลาไนลเชิงพาณิชย์ <i>ชวโรจน์ ใจสิน เกวลิณ ยะดิน ภาณุวิชญ์ พุทธิรักษา ธงชัย มณีชูเกตุ และ ปราโมทย์ กุศล</i>	187
OE-132	การพัฒนาของวัสดุขั้วไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว <i>วชิรัมย์ มานันตพงษ์ ทศพล ครุตเวช สุภัทสร แก้วยอดเขา และ วิสิทธิ์ เอกวานิช</i>	195
OE-134	ตู้ล็อกเกอร์ยืม-คืนของอัจฉริยะ <i>ลักกะพันธ์ คล้ายดอกจันทร์ ฤกษ์ญาฤทธิ์ เมืองดั่ง ณัฐภูมิภัทร จอมทอง และ นภัสรพี สิทธิวัฒน์</i>	205
กลุ่ม S : Sciences (ด้านวิทยาศาสตร์)		
OS-17	การใช้คลื่นไมโครเวฟช่วยสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อผลตาลสุกโดยใช้น้ำมันพืชเป็นตัวทำละลาย <i>ศุติดา หนูทอง ซูโฮมี มะทา ปุณณานิ สัมภวะผล และ บุชวรรณ ทิธีวรชาติ</i>	214
OS-78	การศึกษาความเป็นไปได้ของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อสารถย้อมสีธรรมชาติจากเปลือกกล้วยจาก <i>ภัทรภรณ์ ฤกษ์ณะพันธ์ และ สุรวัดน์ จริงจิตร์</i>	223
OS-105	การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการสกัดตัวอย่างทางนิติวิทยาศาสตร์จากเลือดเก่าและดีเอ็นเอที่ผิวสัมผัส <i>สุพิชญา ตรีบุญเมือง รุจินี ปดิฐพร นพรุจ คักดีศิริ และ ศิริพร นุชสำเนียง</i>	230
กลุ่ม T : Technology (ด้านเทคโนโลยี)		
OT-26	การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต <i>อิสริยา เส้นลิ๊ะ กษิตินารถ หลักมัน และ อุไรรัตน์ มากจันทร์</i>	237
OT-38	ระบบสืบค้นที่พิกนักศึกษาคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ <i>ชนิดา แก้วเพชร วุฒิพงษ์ เชื้ออนดิน ไกรสร สว่างศรี ภัทรพล อ่วมสอาด และ ศุภโชค กันแคล้ว</i>	245
OT-52	การพัฒนาระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS) คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ <i>สิทธิวรรณ ครอบรู้สุภัญญา เจริญกิจธนลาภ ศุภกิจ พัวประเสริฐศุภโชค กันแคล้ว และ ภัทรพล อ่วมสอาด</i>	252
OT-54	ระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ <i>บารมี ไอลธีร์กุล สัตถาภูมิ ไทยพานิช วรณช จันทรโอ ธนวัธส์ เปี่ยมทอง และ พิมพ์ชนก สายทอง</i>	261
OT-96	การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อสำรวจการชำระเงินของลูกค้า บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ <i>อนุทิตา เล็กเพชร ทวีศักดิ์ คงตุก วรณช จันทรโอ ชานนท์ ทองบุตรดี และ ธนกฤต สังข์เต็ม</i>	268

OT-98	ห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโชน <i>ทวีศักดิ์ คงตุก อนุทิตา เล็กเพชร ปิยฉัตร มะลิตอง และ ชลธิชา ไม้พงษ์</i>	276
OT-101	การออกแบบเตาเผาชีวมวลระบบหมุนเวียนก๊าซร้อนเพื่อลดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM 2.5) <i>สกุลรัตน์ สุทธิประภา นันทิรา วรกาญจนบุญ อทิตยา พุ่มกระจับ ประรณภา เชื้อบำรุง นันธิยา จันสนิท ทองพูล นายก ชน และพงษ์รพี คำจันทร์</i>	284
ภาคโปสเตอร์		293
กลุ่ม A : Agriculture (ด้านการเกษตร)		
PA-46	ผลของเอทีฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อคุณภาพของกล้วยเล็บมือนาง <i>ภัทรวดี ไหมจุน สุรียันท์ สุภาพวานิช พรรณิภา ย้วยล และ โอภาส สืบสาย</i>	294
PA-51	การศึกษาลักษณะประจำพันธุ์ของกลางสาตเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี <i>ไพบุรณ์ เปรียบยิ่ง ทศกัญญาณี ลิขิตา ณัฐพงษ์ ยังสกุลอนุศักดิ์ ขุนเสถียร และ สุกัญญา อ่อนเขตร์</i>	302
PA-64	ผลของสารละลายแคลเซียมต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักกูดตัดแต่ง <i>วรินทร์ คงลา สุรียันท์ สุภาพวานิช อัญญา จันทรปะทิว อาชญา พรรณิภา ย้วยล และ วชรินทร์ รัตนพันธ์</i>	311
PA-65	ประสิทธิภาพของการใช้วัสดุห่อผลต่อคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของกล้วยเล็บมือนาง <i>อภิสิทธิ์ เสือมาก สุรียันท์ สุภาพวานิช ร่วมจิตร นกเขา และ พรรณิภา ย้วยล</i>	319
กลุ่ม E : Engineering (ด้านวิศวกรรมศาสตร์)		
PE-33	การออกแบบและวิเคราะห์ต้นทุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อ กริดของห้องเย็นในโรงงานผลิตน้ำแข็ง <i>วิรากร มีบุญ นินนาท ราชประดิษฐ์ และ ปาริชาติ ราชประดิษฐ์</i>	326
กลุ่ม S : Sciences (ด้านวิทยาศาสตร์)		
PS-23	การผลิตสารเคลือบผิวธรรมชาติจากขานอ้อย <i>ปรัชญา วาทะสิทธิ์ ทวีทรัพย์ เจือพานิช และ วงเดือน ไม้สนธิ์</i>	337
PS-34	การทำนายอัตราส่วนพื้นที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ต่อสินเชื่อบริการด้วยโครงข่ายประสาทเทียม LSTM และการวิเคราะห์ถดถอยพหุนาม <i>ศราวุฒิ ไคตรชา และ ปราโมทย์ ก้วเจริญ</i>	345
PS-58	การพัฒนาบรรจุภัณฑ์แอคทีฟจากทางใบปาล์ม <i>จิราภรณ์ ปานาลาด สิริฉัตรณ์ช ภัคดีพรหมมา พรประพา คงตระกูล และ อุษา สุขชา</i>	357
PS-59	การพัฒนาฟิล์มบริโภาคได้โดยใช้สารสกัดสมุนไพรไทย <i>ศศิกันต์ ปานประดิษฐ์ อุษา สุขชา พรประพา คงตระกูล และ สิริฉัตรณ์ช ภัคดีพรหมมา</i>	365

กำหนดการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8 และนานาชาติ ครั้งที่ 4 ประจำปี 2566 (IAMBEST 2023)
“ด้านสารสนเทศ การเกษตร การจัดการ บริหารธุรกิจ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี”
ระหว่างวันที่ 24 - 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

วันพุธที่ 24 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

08.30 - 08.50 น.	ลงทะเบียนการประกวดสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม/อบรมทางวิชาการ	ตึก C
08.50 - 09.30 น.	กล่าวต้อนรับและกล่าวเปิดงานการประกวดสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม กล่าวเปิดงาน โดย รองศาสตราจารย์ ดร.คำรณวิทย์ ทิพย์มณี รองอธิการบดี วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	D406
09.30 - 10.30 น.	อบรมทางวิชาการ “เรื่อง ดิจิทัลในการปฏิรูปการเกษตร LoRaWAN สำหรับการทำฟาร์ม ที่ชาญฉลาดและแม่นยำ” โดย รองศาสตราจารย์ ดร.ศราวุธ ชัยมุล มหาวิทยาลัยขอนแก่น	D406
10.30 - 12.00 น.	การประกวดสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย	ตึก D - E
10.30 - 12.00 น.	การประกวดสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม ระดับอาชีวศึกษา	ตึก D - E
10.30 - 12.00 น.	การประกวดสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม ระดับอุดมศึกษา	ตึก D - E
12.00 - 13.00 น.	รับประทานอาหารกลางวัน	
13.00 - 14.30 น.	การประกวดสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม ระดับอุดมศึกษา	ตึก D - E
14.30 - 16.00 น.	ประกาศรางวัลการประกวดสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม	D406
13.00 - 16.00 น.	ติดตั้งโปสเตอร์ประชุมวิชาการระดับชาติ และนานาชาติ 2023	E301
18.00 - 20.00 น.	Welcome dinner การประชุมวิชาการ	

วันพฤหัสบดีที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

08.30 - 08.50 น.	ลงทะเบียน	ตึก C
08.50 - 09.00 น.	กล่าวต้อนรับผู้เข้าร่วมงานและกล่าวเปิดงานการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 และระดับชาติ ครั้งที่ 8 โดย รองศาสตราจารย์ ดร.คำรณวิทย์ ทิพย์มณี รองอธิการบดี วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	D406
09.00 - 09.40 น.	ปาฐกถาพิเศษ “เรื่อง Visual Sensors in Digital Transformation Era” ผู้บรรยายพิเศษ โดย ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จ่านงไทย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	
09.40 - 10.20 น.	ปาฐกถาพิเศษ “เรื่อง Smart Pier ” ผู้บรรยายพิเศษ โดย คุณเทพฤทธิ์ ฤทธิ์ทองพิทักษ์ บริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	
10.20 - 10.30 น.	รับประทานอาหารว่างและเครื่องดื่ม	
10.30 - 10.55 น.	พิธีลงนามบันทึกความเข้าใจความร่วมมือโครงการพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐานด้านดิจิทัล และสื่อสารโทรคมนาคมอัจฉริยะ ภายใต้แนวคิด Smart City Solutions	D406

วันพฤหัสบดีที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 (ต่อ)

10.30 – 12.00 น.	นำเสนอผลงานภาคโปสเตอร์ และนำเสนอผลงานภาคบรรยาย	
	International (Oral Presentation)	
	Section 1 Engineering	BA208
	Section 3 Social Science & Humanities	E109
	Section 4 Agriculture	BA207
	International (Poster Presentation)	
	Section 2 Engineering and Sciences	E108/E301
	ระดับชาติ (นำเสนอภาคบรรยาย)	
	กลุ่ม 1 ด้านสารสนเทศ และวิศวกรรมศาสตร์	E306
	กลุ่ม 2 ด้านวิทยาศาสตร์	E302
	กลุ่ม 3 ด้านการจัดการและบริหารธุรกิจ	E305
	กลุ่ม 4 ด้านการจัดการและบริหารธุรกิจ	E103
	กลุ่ม 5 ด้านเกษตรศาสตร์	E303
	กลุ่ม 6 ด้านเทคโนโลยี	E104
	ระดับชาติ (นำเสนอภาคโปสเตอร์)	
	กลุ่ม 2 ด้านวิทยาศาสตร์และด้านวิศวกรรมศาสตร์	E302/E301
12.00 – 13.00 น.	รับประทานอาหารกลางวัน	E304
13.00 – 15.30 น.	นำเสนอผลงานภาคโปสเตอร์ และนำเสนอผลงานภาคบรรยาย (ต่อ)	
	International (Oral Presentation)	
	Section 1 Engineering	BA208
	Section 2 Sciences	E108
	Section 3 Informatics Technology and Engineering	E109
	Section 4 Management	BA207
	ระดับชาติ (นำเสนอภาคบรรยาย)	
	กลุ่ม 1 ด้านสารสนเทศ และวิศวกรรมศาสตร์	E306
	กลุ่ม 4 ด้านการจัดการและบริหารธุรกิจ	E103
	กลุ่ม 5 ด้านเกษตรศาสตร์	E303
	กลุ่ม 6 ด้านสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์	E104
	ระดับชาติ (นำเสนอภาคโปสเตอร์)	
	กลุ่ม 5 ด้านเกษตรศาสตร์	E301
16.30 น.	ประกาศรางวัลการนำเสนอผลงานระดับชาติและนานาชาติ	D406
	พิธีปิดประชุมวิชาการระดับชาติ และระดับนานาชาติ IAMBEST2023	
18.00 - 20.00 น.	รับประทานอาหารเย็น	
	วันศุกร์ที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2566	
09.00-16.00 น.	กิจกรรมเวทีแลกเปลี่ยนเรียนรู้ เพื่อสร้างความร่วมมือทางเครือข่ายทางวิชาการ	
หมายเหตุ	(1) พักรับประทานอาหารว่าง เวลา 10.30 น. และเวลา 14.30 น. (บริเวณหน้าห้องโถงการประชุมแต่ละชั้น)	
	(2) กำหนดการอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม	

 รายละเอียดห้องประชุม/Room

	Room/ห้องประชุม
พิธีเปิด	
(1) การประกวดสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม วันพุธที่ 24 พฤษภาคม 2566	D406
(2) การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 และระดับชาติ ครั้งที่ 8 วันพฤหัสบดีที่ 25 พฤษภาคม 2566	D406
อบรมทางวิชาการ	
“ดิจิทัลในการปฏิรูปการเกษตร LoRaWAN สำหรับการทำฟาร์มที่ชาญฉลาดและแม่นยำ”	D406
International (Oral/Poster Presentation)	
Section 1 Engineering	BA208
Section 2 Engineering and Sciences Sciences	E108
Section 3 Social Science & Humanities Informatics Technology and Engineering	E109
Section 4 Agriculture Management	BA207
การนำเสนอผลงานทางวิชาการ	
(1) International Poster Presentation	E301
(2) ระดับชาติภาคโปสเตอร์	E301
การนำเสนอผลงานทางวิชาการ (ภาคบรรยาย/โปสเตอร์ระดับชาติ)	
กลุ่ม 1 ด้านสารสนเทศ และวิศวกรรมศาสตร์	E306
กลุ่ม 2 ด้านวิทยาศาสตร์ ด้านวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์	E302
กลุ่ม 3 ด้านการจัดการและบริหารธุรกิจ	E305
กลุ่ม 4 ด้านการจัดการและบริหารธุรกิจ	E103
กลุ่ม 5 ด้านเกษตรศาสตร์	E303
กลุ่ม 6 ด้านเทคโนโลยี ด้านสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์	E104
รับประทานอาหารกลางวัน/ lunch	E304

โปรแกรมนำเสนอ

วันพฤหัสบดีที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

ภาคบรรยาย ระดับชาติ กลุ่ม 1 ด้านสารสนเทศ (I: Informatics) ด้านวิศวกรรมศาสตร์ (E: Engineering)		
Chairperson	ผศ.ดร.มนตรี ไชยชาญยุทธ์ ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ ว่าที่ร้อยตรี ศิลา ศิริมาสกุล	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
เวลานำเสนอ	รหัส	เรื่อง
10.30 - 10.45	OE-14	การอบแห้งเมล็ดปาล์มน้ำมันด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่มีผลต่อลักษณะทางกลของเมล็ดปาล์ม <i>พุทธิพงศ์ เลขะชัยวรกุล วชร กาลาสี และ ปัญญา แดงวิไลลักษณ์</i>
10.45 - 11.00	OE-121	การประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการ โดยใช้เลนส์เฟรสเนล <i>พิมพ์กานต์ ทิพย์เสภา สุภาวิณี เสมอมาศ และ ศรียรัตน์ ช่วยบุญ</i>
11.00 - 11.15	OE-131	การศึกษาดัชนีพลังงานไฟฟ้าจำเพาะในบ่อเพาะเลี้ยงปลานิลเชิงพาณิชย์ <i>ชวโรจน์ ใจสิน เกวลิน ยะดิน ภาณุวิชญ์ พุทธิรักษา ธงชัย มณีชูเกตุ และ ปราโมทย์ กุศล</i>
11.15 - 11.30	OE-132	การพัฒนาของวัสดุชีวไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว <i>วชิรมัย มานันตพงศ์ ทศพล ครุฑเวช สุภัตสร แก้วยอดเขา และ วิสิทธิ์ เอกวานิช</i>
11.30 - 11.45	OE-134	ตู้ล็อกเกอร์ยืม-คืนของอัจฉริยะ <i>ลักกะพันธ์ คล้ายดอกจันทร์ กฤษณายุทธิ เมืองดั่ง ญัฐภูมิินทร์ จอมทอง และ นภัสสรพี สิทธิวัฒน์</i>
11.45 - 12.00	OE-92	การบริหารจัดการพลังงานด้วยระบบควบคุมสภาพอากาศอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ <i>สรารุช พลวงษ์ศรี ชวโรจน์ ใจสิน อัครินทร์ อินทนิเวศน์ ธงชัย มณีชูเกตุ ภาณุวิชญ์ พุทธิรักษา และ สุลักษณ์า มงคล</i>

โปรแกรมนำเสนอ

วันพฤหัสบดีที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

ภาคบรรยาย ระดับชาติ กลุ่ม 1 ด้านสารสนเทศ (I: Informatics)
ด้านวิศวกรรมศาสตร์ (E: Engineering)

Chairperson	รศ.ดร.ศิโรตม์ เกตุแก้ว	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
	รศ.ดร.ศราวุธ ชัยมูล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
เวลานำเสนอ	รหัส	เรื่อง
13.00 - 13.15	OE-37	ผลของการอบแห้งแบบพ่นฝอยและสารช่วยอบแห้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแตงโมผง <i>จิรชาติ พูลศิริ สมชาติ ไสภรณ์รณฤทธิ์ และ สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา</i>
13.15 - 13.30	OE-53	การออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานแบบเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส <i>สุทธิณี ว่าวสูงเนิน ทศพร ณรงค์ฤทธิ์ กองพล อารีรักษ์ และ อาทิตย์ ศรีแก้ว</i>
13.30 - 13.45	OE-62	การประเมินประสิทธิภาพและอัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้น <i>พรกิตติ มหิทธิบุรินทร์ และ วาทีต เบญจพลกุล</i>
13.45 - 14.00	OE-87	การตรวจจับและจำแนกประเภทความผิดปกติในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ AdaBoost เปรียบเทียบกับ Gradient Boosting <i>เสฏฐวุฒิ ยี่วเที่ยง และ วาทีต เบญจพลกุล</i>
14.00 - 14.15	OE-110	การศึกษารูปแบบของอุปกรณ์หนีบจับทุเรียนและเวลาการทำงานเพื่อใช้ร่วมกับแขนกลบรรจุทุเรียนลงกล่อง <i>สรวุฒิ บั่นศีล และ ปัญญา แดงวิไลลักษณ์</i>
14.15 - 14.30	OI-19	การเรียนรู้แบบรวมกลุ่มด้วยตัวแบบที่แตกต่างกันแบบขนานสำหรับข้อมูลไม่สมดุลกรณีศึกษาข้อมูลเครดิตเยอรมัน <i>ศศิวิมล ศรีโรจน์ และ ณัตติฤดี เจริญรักษ์</i>
14.30 - 14.45	OI-20	การเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบรวมกลุ่ม สำหรับข้อมูลที่มีลักษณะการจำแนกแบบไบนารี <i>กรชนก ชมเชย และ ณัตติฤดี เจริญรักษ์</i>
14.45 - 15.00	OI-36	การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหาย ในตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุที่ตัวแปรอิสระมีการสูญหายของแบบนอนอิกนอร์เรเบิลที่สัมพันธ์กัน <i>ศุภลันต์ ดีมาก และ อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดิ์</i>

โปรแกรมนำเสนอ

วันพฤหัสบดีที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

ภาคบรรยาย ระดับชาติ กลุ่ม 2 ด้านวิทยาศาสตร์ (S: Sciences)

Chairperson	ผศ.ดร.วัลย์พร ทองประดับ	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ดร.มนสิชา ตีปะวรรณณา	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
Committee	ผศ.ดร.อุมาพร ชิมมากทอง	มทร.ศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช (ทุ่งใหญ่)
	ดร.รวินทร์ ยั่งยืน	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
	ผศ.ดร.พัชราภรณ์ นาคเทวัญ	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
เวลานำเสนอ	รหัส	เรื่อง
10.30 - 10.45	OS-105	การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการสกัดตัวอย่างทางนิติวิทยาศาสตร์จากเลือดเก่าและดีเอ็นเอที่ผิวสัมผัส <i>สุพิชญา ตรีบุญเมือง รุจิณี ปติฐพร นพจร คักดิ์ศิริ และ ศิริพร นุชสำเนียง</i>
10.45 - 11.00	OS-17	การใช้คลื่นไมโครเวฟช่วยสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อผลตาลสุกโดยใช้น้ำมันพืชเป็นตัวทำละลาย <i>ดุสิตา หนูทอง ซูไฮมี มะทา ปุณณานิ สัมภาวะผล และ บุชวรรณ หิรัญวรชาติ</i>
11.00 - 11.15	OS-78	การศึกษาความเป็นไปได้ของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อสารถย้อมสีธรรมชาติจากเปลือกลูกจาก <i>ภัทราภรณ์ กฤษณะพันธ์ และ สุรวัดน์ จริงจิตร</i>

โปรแกรมนำเสนอ

วันพฤหัสบดีที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

ภาคบรรยาย ระดับชาติ กลุ่ม 5 ด้านเกษตรศาสตร์ (A: Agriculture)

Chairperson	รศ.ดร.ร่วมจิตร นกเขา	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	รศ.ดร.พรรณนิภา ย้วยล	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ผศ.วัชรินทร์ รัตนพันธ์	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
เวลานำเสนอ	รหัส	เรื่อง
10.30 - 10.45	OA-67	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง หัตถชัย คำบุญมา อนุภาพ นิยมแก้ว วาสนา อยู่เปี่ยม ภัทรวดี ไหมจุน โสภิษา พรหมมณี ธีรยุทธ์ วิจิตรภาพ ร่วมจิตร นกเขา นารารอ สว่างวงศ์ และ ศศิตารา เจริญศิริ
10.45 - 11.00	OA-69	ผลของการตัดแต่งกิ่งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของโสนกินดอก กฤตเมธ วรรณิกร ร่วมจิตร นกเขา และ กนกพร บุญญะอดิชาติ
11.00 - 11.15	OA-73	ผลของการให้แสงคั่นในช่วงกลางคืนต่อการออกดอกของกระบองเพชร <i>Gymnocalycium mihanovichii</i> สุนิสา สังข์สม ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์ ร่วมจิตร นกเขา และ กนกพร บุญญะอดิชาติ
11.15 - 11.30	OA-83	ฤทธิ์ต้านเชื้อราของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์แบบเคมีสีเขียวต่อเชื้อรา <i>Fusarium</i> sp. สาเหตุโรคกิ่งแห้งของทุเรียน นวมินทร์ ทองศรี อุษา สุขชา สิริฉัตรณ์รัช ภัคดีพรหมมา และ พรประพา คงตระกูล
11.30 - 11.45	OA-84	การจำแนกลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง ทงเกียรติ ทั่นเล้ง ณัฐนันท์ ชมท่าไม้ สถาพร แก้วจันทร์ ณัฐพร ถิ่นวงศ์ยอด ศุภกิจ แซ่หลี่ ชุตติมา เกษแก้ว กัญญิกาน์ มุกกันต์ ร่วมจิตร นกเขา สุมลรัตน์ จินตนาสิรินุรักษ์ ศศิตารา เจริญศิริ และ อภิชาติ ครุฑสุวรรณ
11.45 - 12.00	OA-107	ผลของมูลไก่อัดเม็ดเคลือบด้วยไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ต่อการเติบโตและผลผลิตของ ข้าวโพดฝักอ่อน ณัฐฉัตร คงตะโก พรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง และ ศุภชัย อำคา
12.00 - 12.15	OA-86	ผลของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้สารสกัดใบชะมวงต่อเชื้อรา <i>Phytophthora palmivora</i> และ <i>Colletotrichum</i> sp. สาเหตุโรคทุเรียน อเมริกา ภัคดีประชุม นิสรา วีระวงษ์ อุษา สุขชา สิริฉัตรณ์รัช ภัคดีพรหมมา และ พรประพา คงตระกูล

โปรแกรมนำเสนอ

วันพฤหัสบดีที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

ภาคบรรยาย ระดับชาติ กลุ่ม 5 ด้านเกษตรศาสตร์ (A: Agriculture)

Chairperson	รศ.ดร.ร่วมจิตร นกเขา	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	รศ.ดร.พรณิภา ย้วยล	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ผศ.วัชรินทร์ รัตนพันธ์	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
เวลานำเสนอ	รหัส	เรื่อง
13.00 - 13.15	OA-104	การเพิ่มศักยภาพการผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริมของเกษตรกรในอำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช <i>ชัยวัฒน์ บุญพัฒน์ สุนันท์ สีสั่งข์ และ ปริชาติ ดิษฐกิจ</i>
13.15 - 13.30	OA-119	การส่งเสริมการผลิตเงาะให้ได้คุณภาพแก่เกษตรกรจังหวัดสุราษฎร์ธานี <i>พีรพงศ์ พิงคารักษ์ สุนันท์ สีสั่งข์ และ พลสรายุ สราญรมย์</i>

โปรแกรมนำเสนอ

วันพฤหัสบดีที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

ภาคบรรยาย ระดับชาติ กลุ่ม 6 ด้านเทคโนโลยี (T: Technology)

Chairperson	รศ.ดร.บุญยชนะ ภูระหงษ์ อาจารย์นภัสรพี สิทธิวัจน์ อาจารย์อรรถศาสตร์ นาคเทวัญ	สจล. สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
เวลานำเสนอ	รหัส	เรื่อง
10.30 - 10.45	OT-26	การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจ การท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต <i>อิสริยา เส้นลิ๊ะ กษิตินารถ หล้ามัน และ อุไรรัตน์ มากจันทร์</i>
10.45 - 11.00	OT-38	ระบบสืบค้นที่พิกนัการศึกษา คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ <i>ชนิดา แก้วเพชร วุฒิพงษ์ เชื้อนดิน ไกรสร สว่างศรี ภัทรพล อ่วมสอาด และ ศุภโชค กันแคล้ว</i>
11.00 - 11.15	OT-52	การพัฒนาระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS) คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ <i>สิทธิวรรณ ครอบรู้ สุกัญญา เจริญกิจชนลาภ ศุภกิจ พัวประเสริฐ ศุภโชค กันแคล้ว และ ภัทรพล อ่วมสอาด</i>
11.15 - 11.30	OT-54	ระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ <i>บารมี ไอสธีรกุล สัตถาภุมิ ไทยพานิช วรนุช จันทร์โอ ธนวิสัย เปี่ยมทอง และ พิมพ์ชนก สายทอง</i>
11.30 - 11.45	OT-96	การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อสำรวจการชำระเงินของลูกค้า บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ <i>อนุทิตา เล็กเพชร ทวีศักดิ์ คงตุก วรนุช จันทร์โอ ชานนท์ ทองบุตรดี และ ธนภฤต สังข์เต็ม</i>
11.45 - 12.00	OT-98	ห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโซน <i>ทวีศักดิ์ คงตุก อนุทิตา เล็กเพชร ปิยฉัตร มะลิตอง และ ชลธิชา ไม้พงษ์</i>
12.00 - 12.15	OT-101	การออกแบบเตาเผาชีวมวลระบบหมุนเวียนก๊าซร้อนเพื่อลดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM 2.5) <i>สกุลรัตน์ สุทธิประภา นันทิรา วรกาญจนบุญ อติทยา พุ่มกระจับ ปราณนา เชื้อบำรุง นันธิยา จันสนธิ ทองพูล นายกชน และ พงษ์รพี คำจันทร์</i>

โปรแกรมนำเสนอ

วันพฤหัสบดีที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

ภาคโปสเตอร์ ระดับชาติ กลุ่ม 2 ด้านวิทยาศาสตร์ (S: Sciences) ด้านวิศวกรรมศาสตร์ (E: Engineering)		
Chairperson	ผศ.ดร.วลัยพร ทองประดับ ดร.มนสิชา ตีปะวรรณณา	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
Committee	ผศ.ดร.อุมาพร ชิมมากทอง ดร.รวินทร์ ยั่งยืน ผศ.ดร.พัชราภรณ์ นาคเทวัญ ดร.ศักรินทร์ ชินกุลพิทักษณ์	มทร.ศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช (ทุ่งใหญ่) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
เวลานำเสนอ	รหัส	เรื่อง
11.15 - 11.25	PE-33	การออกแบบและวิเคราะห์ต้นทุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบ เชื่อมต่อกับกริดของห้องเย็นในโรงงานผลิตน้ำแข็ง <i>วิรากร มีบุญ นินนาท ราชประดิษฐ์ และปาริชาติ ราชประดิษฐ์</i>
11.25 - 11.35	PS-34	การทำนายอัตราส่วนหนี้ที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ต่อสินเชื่อบริการด้วยโครงข่ายประสาทเทียม LSTM และการวิเคราะห์ถดถอยพหุนาม <i>ศราวุฒิ โคตรชา และ ปราโมทย์ ก้วเจริญ</i>
11.35 - 11.45	PS-23	การผลิตสารเคลือบผิวธรรมชาติจากขานอ้อย <i>ปรัชญา วาทะสิทธิ์ ทวีทรัพย์ เจือพานิช และ วงเดือน ไม้สนธิ์</i>
11.45 - 11.55	PS-58	การพัฒนาบรรจุภัณฑ์แอคทีฟจากทางใบปาล์ม <i>จิราภรณ์ ปานาลาด สิริฉัตรณ์ช ภัคดีพรหมมา พรประภา คงตระกูล และ อุษา สุขชา</i>
11.55 - 12.05	PS-59	การพัฒนาฟิล์มบรีโอบคได้โดยใช้สารสกัดสมุนไพรไทย <i>ศศิگانต์ ปานประดิษฐ์ อุษา สุขชา พรประพา คงตระกูล และ สิริฉัตรณ์ช ภัคดีพรหมมา</i>

โปรแกรมนำเสนอ

วันพฤหัสบดีที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

ภาคโปสเตอร์ ระดับชาติ กลุ่ม 5 ด้านเกษตรศาสตร์ (A: Agriculture)

Chairperson	รศ.ดร.ร่วมจิตร นกเขา	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	รศ.ดร.พรรณนิภา ย้วยล	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ผศ.วัชรินทร์ รัตนพันธ์	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
เวลานำเสนอ	รหัส	เรื่อง
13.40 - 13.50	PA-46	ผลของเอทีฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อคุณภาพของกล้วยเล็บมือนาง ภัทรวดี ไหมจุน สุริย์มณี สุภาพวานิช พรรณนิภา ย้วยล และ โอบาส สืบสาย
13.50 - 14.00	PA-51	การศึกษาลักษณะประจำพันธุ์ของกลางสาตเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี ไพบูรณ์ เปรียบย้ง ทศกัญญาณี สิทธา ณัฐพงษ์ ยังสกุล อนุศักดิ์ ชุนเสถียร และ สุกัญญา อ่อนเขตร์
14.00 - 14.10	PA-64	ผลของสารละลายแคลเซียมต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักกูดตัดแต่ง วรินทร์ คงลา สุริย์มณี สุภาพวานิช อัญญา จันทร์ปะทิว อาสุจา พรรณนิภา ย้วยล และ วัชรินทร์ รัตนพันธ์
14.10 - 14.20	PA-65	ประสิทธิภาพของการใช้วัสดุห่อผลต่อคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของกล้วยเล็บมือนาง อภิสิทธิ์ เสือมาก สุริย์มณี สุภาพวานิช ร่วมจิตร นกเขา และ พรรณนิภา ย้วยล

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

ดร.วรรยา สุธรรมชัย
 รศ.ดร.วันเฉลิม โปรา
 น.ส.สุภาพร ชุ่มเพ็ญ
 ผศ.ดร.เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์
 ดร.ธิตี ทองคำงาม
 ดร.สินิทธา สุขสวัสดิ์
 อ.พุทธิพงษ์ เลขาชัยวรกุล
 รศ.ดร.เพ็ญศรี ฉิรินัง
 ผศ.ดร.กระวี ตรีอำนรรค
 ผศ.ดร.พรชัย หาระโคตร
 ผศ.ชาญณวุฒิ ไชยรักษา
 ดร.ชานน ชลวัฒน์นะ
 รศ.ดร.เพ็ญญารัตน์ สายสิริรัตน์
 ดร.ชรินทร์ ศรีวิฑูรย์
 รศ.ดร.นิตยา จันกา
 ดร.นภัสพร นิยะวานนท์
 ดร.จาดุรงค์ ทิพย์วงศ์
 รศ.ดร.ศิโรตม์ เกตุแก้ว
 ดร.ฐิติรัตน์ จรุงสุข
 ดร.พีรญา พูลผล
 ดร.กรรณิกาณ์ หิรัญกลี
 ผศ.ดร.สรารัตน์ มนต์ขลัง
 รศ.ดร.จุฑารัตน์ เอี้ยวกฤตยากร
 ผศ.ดร.ลดาวลัย เลิศเลอวงศ์
 ดร.อุไรพรรณ แซ่ตัน
 ดร.ประชา คำภักดิ์
 ดร.สิริรัตน์ ชอบขาย
 รศ.ดร.ชัยรัตน์ เตชะวุฒิพร
 รศ.ดร.สุรียณ์ห์ สุภาพวานิช
 ผศ.ดร.นาตยา มนต์รี
 ผศ.ดร.สมศักดิ์ ครามโชติ
 รศ.ดร.ชัยวัฒน์ รัตน์มีชัยสกุล
 รศ.ดร.พรรณิภา ย้วยล
 รศ.ดร.ร่วมจิตร นกเขา
 รศ.ดร.ศิระ สายศร
 ผศ. ว่าที่ ร.ต.ดร.กิตติศักดิ์ เพ็ชรพันธ์
 ผศ.ดร.กนกพร บุญญะอดิชาติ
 ผศ.ดร.จงจิตร จันตรา
 ผศ.ดร.ชนัดดา ภาวชลทธร
 ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์
 ผศ.ดร.ชัยญาภักค์ หล้าแหล่ง
 ผศ.ดร.ชุตินันต์ หล้าแหล่ง

กรมพัฒนาที่ดิน
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 บริษัท ดิจิตอลคอม จำกัด
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 มหาวิทยาลัยบูรพา
 มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ -ชุมพร
 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
 มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
 มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
 มหาวิทยาลัยรามคำแหง
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
 มหาวิทยาลัยศิลปากร
 มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

ภาคบรรยาย

การเรียนรู้แบบรวมกลุ่มด้วยตัวแบบที่แตกต่างกันแบบขนานสำหรับข้อมูลไม่สมดุล กรณีศึกษาข้อมูลเครดิต
เยอรมัน

BAGGING HETEROGENEOUS ENSEMBLE LEARNING FOR IMBALANCED DATA: A CASE STUDY
OF GERMAN CREDIT DATA

ศศิวิมล ศรีโรจน์^{1*} และ ณัตติฤดี เจริญรักษ์²

Sasivimol Sriroj^{1*} and Nuttirudee Charoenruk²

¹ภาควิชาสถิติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร

²ภาควิชาสถิติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร

¹Department of Statistics, Chulalongkorn University, Bangkok

²Department of Statistics, Chulalongkorn University, Bangkok

*Corresponding author: Sasivimol Sriroj, e-mail address: 6480493826@student.chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มด้วยตัวแบบที่แตกต่างกันแบบขนาน (Bagging Heterogeneous Ensemble) และหาวิธีการลดมิติข้อมูลและวิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำที่เหมาะสมกับข้อมูลเครดิตเยอรมันที่มีอัตราส่วนความไม่สมดุลแตกต่างกัน 3 ค่าคือ 2.3, 10 และ 14 โดยวัดประสิทธิภาพด้วยตัวชี้วัด Accuracy, The area under the curve, F1-score, Precision, Brier score และ Kolmogorov-Smirnov และทดสอบทางสถิติเพื่อแสดงว่าประสิทธิภาพของตัวแบบมีความแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการศึกษาพบว่าข้อมูลเครดิตเยอรมันที่มีอัตราส่วนความไม่สมดุล 2.3 มีวิธีการลดมิติข้อมูลและการสุ่มตัวอย่างซ้ำที่เหมาะสมคือ Linear Discriminant Analysis และ Systematic Majority Over-Sampling Technique ตามลำดับ แต่การเรียนรู้แบบรวมกลุ่มด้วยตัวแบบที่แตกต่างกันแบบขนานให้ประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อไม่มีวิธีการลดมิติข้อมูลและการสุ่มตัวอย่างซ้ำ ในส่วนของอัตราส่วนความไม่สมดุลที่ 10 และ 14 ผลการศึกษาพบว่าวิธีการลดมิติข้อมูลและการสุ่มตัวอย่างซ้ำที่เหมาะสมคือ Linear Discriminant Analysis, Random Under-Sampling และ Linear Discriminant Analysis, Borderline SMOTE ตามลำดับ การเรียนรู้แบบรวมกลุ่มด้วยตัวแบบที่แตกต่างกันแบบขนานให้ประสิทธิภาพดีที่สุดทั้งกรณีที่มีและไม่มีเทคนิคการลดมิติข้อมูลและการสุ่มตัวอย่างซ้ำ จากการศึกษาสรุปได้ว่าการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มด้วยตัวแบบที่แตกต่างกันแบบขนานที่มีเทคนิคการลดมิติข้อมูลและการสุ่มตัวอย่างซ้ำมีประสิทธิภาพในข้อมูลที่มีความไม่สมดุลในระดับกลางและสูง

คำสำคัญ: การจำแนกแบบไบนารี, คะแนนเครดิต, ตัวแบบการเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม, การเรียนรู้รวมกลุ่มแบบขนาน, ข้อมูลไม่สมดุล

Abstract

The objective of this study is to develop a bagging heterogeneous ensemble and identify appropriate dimensionality reduction and resampling techniques for three different imbalance ratios (2.3, 10 and 14) in the German credit data. Model performance was evaluated using Accuracy, the area under the curve, F1-score, Precision, Brier score and Kolmogorov-Smirnov and statistical tests showed significant performance differences at 0.05 significance level. The study found that Linear Discriminant Analysis and Systematic Majority Over-Sampling were the most appropriate techniques for an imbalance ratio of 2.3, and bagging heterogeneous ensemble performed best without dimensionality reduction and resampling. For imbalance ratios of 10 and 14, Linear Discriminant Analysis, Random Under-Sampling and Linear Discriminant Analysis, Borderline SMOTE were the appropriate techniques. Bagging heterogeneous ensemble provides the best performance both with and without these techniques. Finally, the study found that bagging heterogeneous ensemble with dimensionality reduction and resampling is effective for imbalanced data of medium and high.

Keywords: binary classification, credit scoring, ensemble model, heterogeneous ensemble, imbalanced data

1. บทนำ

การให้คะแนนเครดิตคือการประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการให้สินเชื่อแก่บริษัทหรือบุคคลถือเป็นหนึ่งในประเด็นที่สำคัญในอุตสาหกรรมการเงินและเป็นหนึ่งในความเสี่ยงที่สำคัญในการตัดสินใจให้สินเชื่อของธนาคาร ธนาคารเข้าถึงความน่าเชื่อถือของผู้สมัครในการให้สินเชื่อโดยใช้รูปแบบการให้คะแนนเครดิต ดังนั้นการพัฒนาตัวแบบการให้คะแนนเครดิตที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญ

ในความเป็นจริงจำนวนผู้ที่ผิดนัดชำระหนี้ (bad credit) มีจำนวนน้อยกว่าผู้ที่ชำระหนี้ตรงเวลา (good credit) สิ่งที่ผู้วิจัยต้องการศึกษาเป็นข้อมูลของผู้ที่ผิดนัดชำระหนี้ที่เป็นกลุ่มข้อมูลส่วนน้อย (minority) เมื่อเทียบกับปริมาณของผู้ที่ชำระหนี้ตรงเวลาหรือข้อมูลส่วนมาก (majority) ซึ่งเป็นลักษณะของข้อมูลที่วัดความไม่สมดุลนี้ด้วยอัตราส่วนความไม่สมดุล (imbalance ratio = จำนวนของผู้ที่ชำระหนี้ตรงเวลาหรือกลุ่มข้อมูลส่วนมากหารด้วยจำนวนของผู้ที่ผิดนัดชำระหนี้หรือกลุ่มข้อมูลส่วนน้อย) การจัดการกับข้อมูลไม่สมดุลเป็นสิ่งที่ท้าทายอย่างมากในการศึกษาด้านการเรียนรู้ของเครื่องจักร (machine learning)

วิธีในการรับมือกับปัญหาความไม่สมดุลของข้อมูลถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยส่วนใหญ่แบ่งออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ data level คือ การแก้ไขปัญหาก่อนที่จะนำไปสร้างตัวแบบ เพื่อให้จำนวนตัวอย่างของกลุ่มข้อมูลส่วนมากและกลุ่มข้อมูลส่วนน้อยมีจำนวนใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน วิธีการนี้ถูกเรียกว่า การสุ่มตัวอย่างซ้ำ (Resampling) เทคนิคการสุ่มตัวอย่างซ้ำที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายเช่น Over-Sampling, Under-Sampling เป็นต้น Marque et al. [4] ได้ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างซ้ำเพื่อจัดการกับค่าอัตราส่วนความไม่สมดุลที่แตกต่างกัน โดยมีค่าอัตราส่วนความไม่สมดุลเท่ากับ 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 ของข้อมูลคะแนนเครดิตกับตัวแบบการจำแนกประเภท การถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression) และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) พบว่าการสุ่มตัวอย่างซ้ำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของตัวแบบในอัตราส่วนความไม่สมดุลที่แตกต่างกัน

วิธีการแก้ไขปัญหาค่าข้อมูลไม่สมดุลในระดับถัดมา คือระดับ algorithm level ซึ่งเป็นการใช้เครื่องมือทางสถิติหรืออัลกอริทึมทางการเรียนรู้ของเครื่องจักรเข้ามาช่วยในการจำแนกความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลส่วนมากและกลุ่มข้อมูลส่วนน้อยเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเอนเอียงของการจำแนกไปทางกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งมากเกินไป และในระดับ algorithm level ยังรวมถึงการใช้เทคนิคการลดมิติข้อมูล (Dimensionality Reduction) เพื่อช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของตัวแบบการจำแนกประเภทให้ดีขึ้น นอกจากนี้ในระดับ algorithm level ยังมีการใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม (Ensemble Learning)

De Melo Junior et al. [2] ได้แสดงการเปรียบเทียบตัวแบบการจำแนกประเภทข้อมูลคะแนนเครดิต 19 ตัวแบบที่แตกต่างกัน ประกอบไปด้วย 11 ตัวแบบพื้นฐาน (Base Classifiers), 3 ตัวแบบการเรียนรู้แบบมีค่าใช้จ่าย (Cost-sensitive ensemble) และ 5 ตัวแบบการเรียนรู้กลุ่มแบบไม่สมดุล (Imbalanced ensemble) โดยใช้ชุดข้อมูลคะแนนเครดิต 3 ชุด ในแต่ละชุดข้อมูลจะทำการสร้างอัตราส่วนความไม่สมดุลที่แตกต่างกันวัดผลด้วยค่า AUC และ Friedman's test พบว่าตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ (Random Forest) และ XGBoost มีประสิทธิภาพเฉลี่ยทุกค่าอัตราส่วนความไม่สมดุลมากที่สุด Zhang & Chi [5] ได้นำเสนอตัวแบบ Heterogeneous bagging ensemble ที่ประกอบไปด้วยตัวแบบพื้นฐาน 5 ตัวแบบคือ 1. Linear Support Vector Machine 2. Multivariate Discriminant Analysis 3. K-Nearest Neighborhood 4. Decision Tree และ 5. Logistic Regression ที่สามารถปรับได้อัตโนมัติตามชุดข้อมูลด้วยตัวชี้วัด AUC โดยประยุกต์ใช้กับข้อมูลคะแนนเครดิต Lenka et al. [3] ได้นำเสนอการเปรียบเทียบตัวแบบการจำแนกประเภทสำหรับข้อมูลคะแนนเครดิต โดยการเพิ่มเทคนิคการสุ่มตัวอย่างซ้ำ (Resampling) และ เทคนิคการคัดเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection) เพื่อจัดการกับความไม่สมดุลของข้อมูลคะแนนเครดิตและเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทของตัวแบบให้มีความแม่นยำขึ้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมาผู้วิจัยพบว่าวิธีการแก้ไขปัญหาค่าข้อมูลไม่สมดุลในแต่ละอัตราส่วนความไม่สมดุล (Imbalance Ratio : IR) ของข้อมูลคะแนนเครดิต ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1. เทคนิคการสุ่มตัวอย่างซ้ำ (Resampling) 2. เทคนิคการลดมิติข้อมูล (Dimensionality Reduction) 3. การเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม (Ensemble Learning) โดยในการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวแบบจะใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม ร่วมกับเทคนิคการลดมิติข้อมูลเพื่อลดปัญหาข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มีมากเกินไป และใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างใหม่จัดการกับค่าอัตราส่วนความไม่สมดุลที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มความแม่นยำและถูกต้องในการจำแนกประเภทของตัวแบบมากยิ่งขึ้น

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มด้วยตัวแบบที่แตกต่างกันแบบขนาน (Bagging Heterogeneous Ensemble Learning) โดยใช้ตัวแบบพื้นฐาน 4 ตัวแบบคือ ตัวแบบการถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression), เพื่อนบ้านใกล้สุด (K-nearest Neighbors), ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) และ ซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support Vector Machine) ร่วมกับเทคนิคการลดมิติข้อมูล (Dimensionality Reduction) และการสุ่มตัวอย่างซ้ำ (Resampling) โดยวัดประสิทธิภาพด้วยตัวชี้วัด Accuracy

(ACC), The area under the curve (AUC), The F1-score (F1), Precision (PRE), Brier Score (BS) และ Kolmogorov-Smirnov (KS) ทั้งนี้ในงานวิจัยจะใช้ข้อมูลเยอรมันเครดิตในแต่ละอัตราส่วนความไม่สมดุล (Imbalance Ratio) ที่แตกต่างกัน

2. วิธีการศึกษา

2.1 กำหนดชุดข้อมูล (Data Collection)

การศึกษาในครั้งนี้ใช้ชุดข้อมูลจาก UCI Machine Learning Repository โดยชื่อชุดข้อมูลคือ Statlog (German Credit Data) Data Set มีจำนวนกลุ่มตัวอย่าง 1000 ตัวอย่าง ประกอบไปด้วยตัวแปรต้น คือ สถานะของบัญชี, ระยะเวลา,ประวัติของเครดิต,วัตถุประสงค์, วงเงิน, บัญชีออมทรัพย์/พันธบัตร, ระยะเวลาของการทำงานปัจจุบัน, อัตราการผ่อนชำระเป็นเปอร์เซ็นต์ของรายได้, สถานะและเพศ, ลูกหนี้/ผู้ค้ำประกัน, ระยะเวลาการพักอาศัยของที่อยู่ปัจจุบัน, ทรัพย์สิน, อายุ, แผนการผ่อนชำระ, ที่อยู่อาศัย, จำนวนเครดิตที่มีอยู่ในธนาคารนี้, อาชีพ, จำนวนผู้รับผิดชอบในการดูแล, โทรศัพท์, แรงงานต่างด้าว และตัวแปรตามคือ ผลการให้คะแนนสินเชื่อ โดย good แปลว่า มีความน่าจะเป็นในการชำระหนี้คืน bad แปลว่า มีความน่าจะเป็นในการผิดนัดชำระหนี้

2.2 การเตรียมข้อมูลและสร้างชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน (Data Preparation and Dataset Version Generation)

การแปลงข้อมูลเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการเตรียมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยแบ่งการแปลงข้อมูลเป็น 2 ประเภทคือ การเตรียมข้อมูลหมวดหมู่ (Categorical features) ทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธีโปรแกรมสอนการเข้ารหัสข้อมูล (Binary Encoding) และการเตรียมข้อมูลที่มีค่าต่อเนื่อง (Continuous features) ทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Standardization

การสร้างชุดข้อมูลไม่สมดุล (imbalance datasets) ที่มีค่าอัตราส่วนความไม่สมดุล (Imbalance Ratio : IR) ที่แตกต่างกันโดยการสุ่มลบข้อมูลในส่วนของคุณสมบัติการเรียนรู้ (Training set) ที่เป็นข้อมูลกลุ่มน้อยจนได้ค่าอัตราส่วนความไม่สมดุลที่กำหนดคืออัตราส่วนความไม่สมดุลต่ำ (IR = 2.3) คือ ผู้ที่ชำระหนี้ตรงเวลา 700 คน ทหารด้วยผู้ที่ผิดนัดชำระหนี้ 300 คน, อัตราส่วนความไม่สมดุลกลาง (IR = 10) และ อัตราส่วนความไม่สมดุลสูง (IR =14) โดยค่า IR = 14 เป็นค่าอัตราส่วนความไม่สมดุลสูงที่สุดที่ทำให้ไม่เกิดปัญหาในการสร้างตัวแบบสำหรับข้อมูลเครดิตเยอรมัน

2.4 สร้างตัวแบบการเรียนรู้กลุ่มด้วยตัวแบบที่แตกต่างกันแบบขนาน (Bagging Heterogeneous Ensemble)

ขั้นตอนการสร้างตัวแบบการเรียนรู้กลุ่มด้วยตัวแบบที่แตกต่างกันแบบขนานสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) Bootstrap คือการสุ่มตัวอย่างจากข้อมูลชุดเรียนรู้ในอัตราส่วน 95% ของข้อมูลทั้งหมดทำให้เกิดชุดข้อมูลย่อยที่แตกต่างกันในการเรียนรู้แต่ละรอบ โดยทำการ bootstrap 20 รอบในแต่ละรอบจะสร้างตัวแบบการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มด้วยตัวแบบที่แตกต่างกัน (Bagging Heterogeneous Ensemble) ด้วยตัวแบบพื้นฐาน 4 ตัวแบบคือ Logistic Regression (LR), K-Nearest Neighbors (KNN), Decision Tree (DT) และ Support Vector Machine (SVM) จากนั้นรวมผลลัพธ์ของตัวแบบการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มด้วยตัวแบบที่แตกต่างกันด้วยวิธี Soft Voting และขั้นตอนที่ 2) Aggregation จะเป็นการรวมผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มด้วยตัวแบบที่แตกต่างกันทั้งหมด 20 ตัวแบบที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ด้วยวิธี The highest mean predicted probability ซึ่งเป็นวิธีจำแนกประเภทจากการคำนวณค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นสูงที่สุด

2.5 การทดลองการเปรียบเทียบตัวแบบ (Classifier evaluation)

จาก Figure 1 สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 : เปรียบเทียบตัวแบบการเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม (Bagging Heterogeneous Ensemble), Random Forest (RF) และตัวแบบการจำแนกประเภทพื้นฐาน 4 ตัวแบบ ได้แก่ Logistic Regression (LR), K-Nearest Neighbors (KNN), Decision Tree (DT), Support Vector Machine (SVM) ในแต่ละค่าอัตราส่วนความไม่สมดุล (IR)

การทดลองที่ 2 : เปรียบเทียบวิธีการลดมิติ ข้อมูล (dimensionality reduction) ได้แก่ Singular Value Decomposition (SVD), Linear Discriminant Analysis (LDA) ด้วยตัวแบบการจำแนกประเภทพื้นฐาน 4 ตัวแบบ ในแต่ละค่าอัตราส่วนความไม่สมดุล (IR)

การทดลองที่ 3 : เปรียบเทียบวิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำ (Resampling) ได้แก่ Systematic Minority Over-Sampling Technique (SM), Random Under-Sampling (RUS), Adaptive Synthetic (ADA) , Borderline SMOTE (BSM) ด้วยตัวแบบการจำแนกประเภทพื้นฐาน 4 ตัวแบบ ในแต่ละค่าอัตราส่วนความไม่สมดุล (IR)

การทดลองที่ 4 : เปรียบเทียบตัวแบบการเรียนรู้แบบรวมกลุ่ม (Bagging Heterogeneous Ensemble), Random Forest (RF) และตัวแบบการจำแนกประเภทพื้นฐาน 4 ตัวแบบ ได้แก่ Logistic Regression (LR), K-Nearest Neighbors (KNN), Decision Tree (DT), Support Vector Machine (SVM) โดยเพิ่มวิธีการลดมิติข้อมูลและการสุ่มตัวอย่างซ้ำที่ได้จากการทดลองที่ 2 และ 3 ในแต่ละค่าอัตราส่วนความไม่สมดุล (IR)

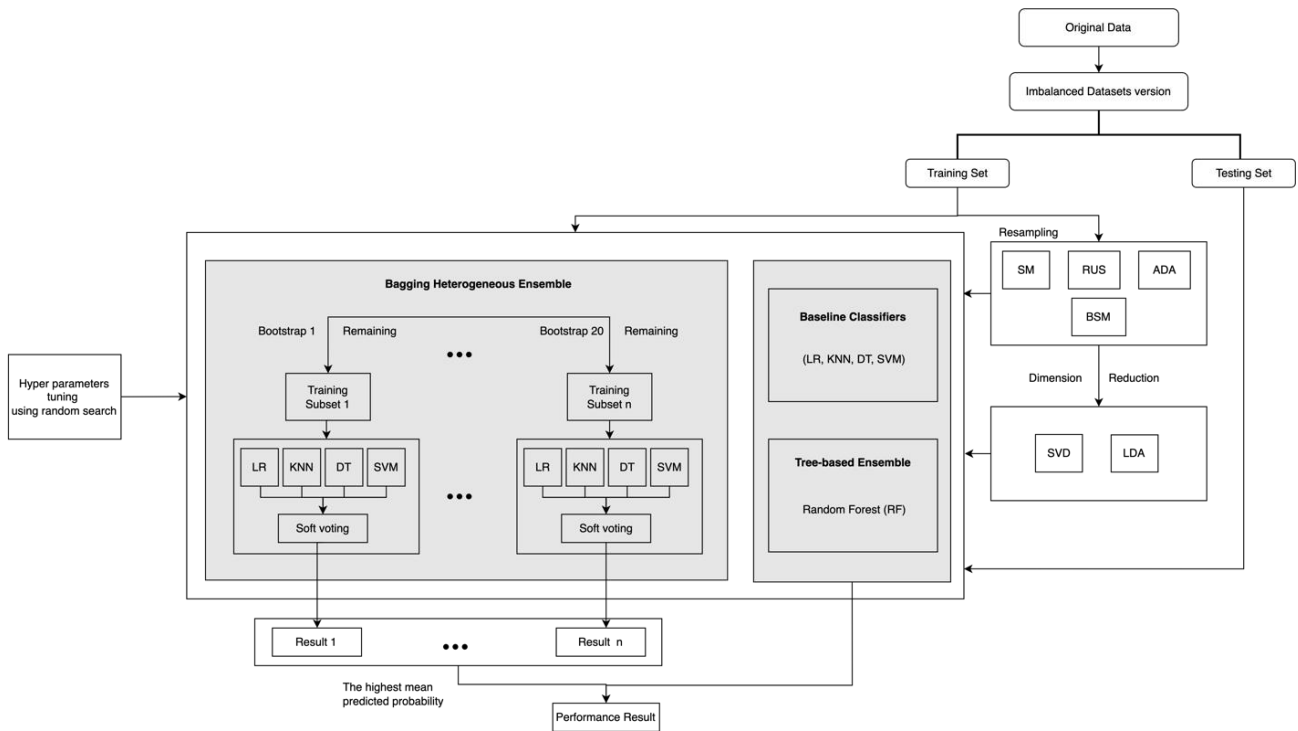


Figure 1 Flow diagram of the proposed model

2.6 ประเมินแบบจำลอง (Model Evaluation)

โดยแต่ละการทดลองจะวัดประสิทธิภาพด้วยตัวชี้วัด Accuracy (ACC), The area under the curve (AUC), F1-score (F1), Precision (PRE), Brier score (BS) และ Kolmogorov-Smirnov(KS)

Table 1 Confusion matrix

		Predicted	
		Positive	Negative
Actual	Positive	True positive (TP)	False negative (FN)
	Negative	False positive (FP)	True negative (TN)

กำหนดให้

TP (True positive) คือ จำนวนตัวอย่างที่เป็น good credit และ ถูกทำนายเป็น good credit

FP (False positive) คือ จำนวนตัวอย่างที่เป็น bad credit และ ถูกทำนายเป็น good credit

FN (False negative) คือ จำนวนตัวอย่างที่เป็น good credit และ ถูกทำนายเป็น bad credit

TN (True negative) คือ จำนวนตัวอย่างที่เป็น bad credit และ ถูกทำนายเป็น bad credit

Accuracy (ACC)

ความแม่นยำในการจำแนกประเภท ได้แก่ สัดส่วนระหว่างจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่จำแนกประเภทถูกต้อง ทั้งประเภท Positive และ Negative กับจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ถูกจำแนกประเภท

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

The area under the curve (AUC)

คือการพิจารณาพื้นที่ภายใต้กราฟ ROC (Receiver Operating Characteristic) ซึ่งได้จากการนำผลความแม่นยำในการทำนายของโมเดลมาสร้างเป็นกราฟเส้นโค้งโดยมีจุดเริ่มต้นที่ (0,0) และสิ้นสุดที่จุด (1,1) โดยที่จุดแบ่งเท่ากับ 0 หมายถึงตัวแบบทำนายออกเป็น negative ทั้งหมด เท่ากับค่า TP, FP เป็น 0 ทั้งหมด ในทางตรงกันข้าม ที่จุดแบ่งเท่ากับ 1 หมายถึงตัวแบบทำนายออกมาเป็น positive ทั้งหมด หมายถึง ตัวแบบสามารถทำนาย positive ได้ถูกต้องทั้งหมด

Precision (PRE)

ความถูกต้องของการจำแนกประเภทข้อมูลว่าเป็น Positive ได้แก่ สัดส่วนที่ตัวแบบจำแนกประเภทข้อมูลแบบ Positive ได้ถูกต้องเทียบกับจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ถูกจำแนกว่าเป็น Positive

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

The F1-score (F1)

เป็นตัวชี้วัดที่พิจารณาจากผลเฉลี่ยของ Precision และ Recall ดังสมการ

$$F1 - score = \frac{2 * Recall * Precision}{Recall + Precision} \quad (3)$$

Brier Score (BS)

เป็นเมตริกซ์ที่ใช้ในทางสถิติเพื่อวัดความแม่นยำของการคาดการณ์ความน่าจะเป็น โดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean-square error) ระหว่างความน่าจะเป็นที่คาดการณ์ได้กับค่าจริง (0 หรือ 1)

$$BS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - y_i)^2 \quad (4)$$

เมื่อ P_i คือ ค่าทำนาย y_i คือค่าจริงของตัวอย่างที่ i

Kolmogorov-Smirnov (KS)

ใช้เพื่อประเมินความแตกต่างสูงสุดระหว่างฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสะสม (Cumulative Distribution Function) ของตัวอย่างที่เป็นบวกและลบ นั่นคือ ผู้ที่ชำระหนี้ตรงเวลา (good credit) และ ผู้ที่ผิดนัดชำระหนี้ (bad credit)

2.7 Statistical significant test

งานวิจัยได้ใช้การทดสอบทางสถิติเพื่อแสดงว่าประสิทธิภาพของตัวแบบมีความแตกต่างกัน การทดลองนี้ใช้สถิติไร้พารามิเตอร์ (nonparametric statistic) เพื่อทดสอบความแตกต่างของตัวแบบทั้งหมดในแต่ละค่าอัตราส่วนความไม่สมดุล ใช้สถิติทดสอบลำดับที่โดยเครื่องหมายของวิลค็อกซัน (Wilcoxon-Signed Rank test) ทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพระหว่างสองกลุ่ม และใช้การทดสอบ Friedman ทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพมากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไป เมื่อการทดสอบ Friedman ถูกปฏิเสธสมมติฐานว่าง นั้นหมายถึงประสิทธิภาพของตัวแบบแตกต่างกันในแต่ละค่าอัตราส่วนความไม่สมดุล จากนั้น Post hoc test สามารถนำมาใช้เพื่อกำหนดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในประสิทธิภาพของตัวแบบการจำแนกประเภทแต่ละคู่ ตามการทดสอบ

ของ Nemenyi ประสิทธิภาพของตัวแบบจำแนกประเภทสองตัวแบบหรือหลายตัวแบบจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออันดับเฉลี่ย (average rank) แตกต่างกันอย่างน้อย CD (Critical difference) ดังสมการ

$$CD = q_{\alpha, \infty, L} \sqrt{\frac{K(K+1)}{12N}} \quad (5)$$

เมื่อ $q_{\alpha, \infty, L}$ คือ ค่าจากตาราง Studentized range statistic และ K คือ จำนวนตัวแบบ

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาของการเปรียบเทียบตัวแบบโดยไม่มีวิธีการลดมิติข้อมูลและวิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำในแต่ละค่าอัตราส่วนความไม่สมดุล

Table 2 Performance of each classifier without resampling and dimensionality reduction (bold indicates best results).

IR	Performance	Bagging Hetero	RF	LR	KNN	DT	SVM
2.3	ACC	0.770 (1.5)	0.770 (1.5)	0.740 (4)	0.755 (3)	0.705 (6)	0.730 (5)
	AUC	0.809 (1)	0.770 (4)	0.781 (3)	0.762 (5)	0.651 (6)	0.786 (2)
	F1	0.854 (1)	0.853 (2)	0.824 (5)	0.846 (3)	0.826 (4)	0.790 (6)
	PRE	0.771 (4)	0.774 (3)	0.787 (2)	0.758 (5)	0.705 (6)	0.871 (1)
	KS	0.498 (1)	0.427 (4)	0.460 (3)	0.386 (5)	0.308 (6)	0.471 (2)
	BS	0.161 (1)	0.167 (3)	0.171 (5)	0.170 (4)	0.191 (6)	0.165 (2)
	Mean Rank	1.583	2.916	3.666	4.166	5.666	3.000
10	ACC	0.948 (2)	0.941 (5)	0.941 (5)	0.948 (2)	0.948 (2)	0.941 (5)
	AUC	0.738 (1)	0.575 (6)	0.732 (2)	0.660 (5)	0.689 (4)	0.716 (3)
	F1	0.973 (2)	0.970 (4.5)	0.969 (6)	0.973 (2)	0.973 (2)	0.970 (4.5)
	PRE	0.948 (3)	0.947 (5.5)	0.953 (1)	0.948 (3)	0.948 (3)	0.947 (5.5)
	KS	0.525 (2)	0.222 (6)	0.537 (1)	0.351 (5)	0.356 (4)	0.446 (3)
	BS	0.048 (1)	0.055 (6)	0.051 (3)	0.052 (4)	0.054 (5)	0.049 (2)
	Mean Rank	1.833	5.500	3.000	3.500	3.333	3.833
14	ACC	0.946 (2.5)	0.946 (2.5)	0.933 (6)	0.946 (2.5)	0.940 (5)	0.946 (2.5)
	AUC	0.801 (1)	0.767 (4)	0.785 (2)	0.756 (5)	0.568 (6)	0.778 (3)
	F1	0.972 (2.5)	0.972 (2.5)	0.964 (6)	0.972 (2.5)	0.969 (5)	0.972 (2.5)
	PRE	0.946 (3.5)	0.946 (3.5)	0.964 (1)	0.946 (3.5)	0.9463 (6)	0.946 (3.5)
	KS	0.619 (1)	0.473 (4)	0.536 (2)	0.385 (5)	0.346 (6)	0.515 (3)
	BS	0.045 (1)	0.049 (4)	0.055 (5)	0.047 (3)	0.066 (6)	0.046 (2)
	Mean Rank	1.916	3.416	3.666	3.583	5.666	2.750

จากการเปรียบเทียบตัวแบบที่ไม่มีวิธีการลดมิติข้อมูลและการสุ่มตัวอย่างซ้ำ ผู้วิจัยทำการให้อันดับในแต่ละตัวชี้วัดที่แสดงถึงประสิทธิภาพของตัวแบบ โดยอันดับที่น้อยลงหมายถึงตัวแบบมีประสิทธิภาพมากขึ้นแต่ละตัวชี้วัด จาก Table 2 พบว่า Bagging Hetero มีประสิทธิภาพดีที่สุดในทุกตัวแบบที่มีอัตราส่วนความไม่สมดุลที่ 2.3, 10 และ 14 โดยมีอันดับเฉลี่ย 1.58, 1.83 และ 1.91 ตามลำดับ ในแต่ละอัตราส่วนความสมดุลได้ทำการทดสอบ Friedman test พบว่าตัวแบบในแต่ละอัตราส่วนความไม่สมดุล

แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และจากการทดสอบ Nemenyi post hoc ได้ค่า critical difference (CD) ในแต่ละอัตราอัตราส่วนความไม่สมดุลดังนี้ IR 2.3 (CD = 0.53), IR 10 (CD = 0.60) และ IR 14 (CD = 0.61) ซึ่งตัวแบบจะแตกต่างกันอย่างน้อยนัยสำคัญเมื่ออันดับเฉลี่ยต่างกันอย่างน้อย CD

3.2 ผลการศึกษาของการเปรียบเทียบเทคนิควิธีการลดมิติข้อมูลในแต่ละค่าอัตราส่วนความไม่สมดุล

Table 3 The average rank across performance measures for different dimensionality reduction (bold indicates best results).

Mean Rank	IR 2.3		IR 10		IR 14	
	SVD	LDA	SVD	LDA	SVD	LDA
ACC	1.875	1.125	1.500	1.500	1.250	1.750
AUC	1.500	1.500	1.750	1.250	2.000	1.000
F1	1.625	1.375	1.750	1.250	1.250	1.750
PRE	1.750	1.250	1.375	1.625	1.875	1.125
KS	1.875	1.125	1.875	1.125	2.000	1.000
BS	1.500	1.500	1.125	1.875	1.250	1.750
Average	1.687	1.312	1.562	1.437	1.604	1.395

จากการเปรียบเทียบวิธีการลดมิติข้อมูลด้วยตัวแบบพื้นฐาน 4 ตัวแบบ ได้แก่ LR, KNN, DT และ SVM ในแต่ละอัตราส่วนความไม่สมดุล ผู้วิจัยทำการให้อันดับแต่ละตัวชี้วัดที่แสดงถึงประสิทธิภาพของวิธีการลดมิติข้อมูลและหาค่าเฉลี่ยอันดับของแต่ละตัวชี้วัดจาก Table 3 พบว่า LDA มีประสิทธิภาพดีที่สุดในอัตราส่วนความไม่สมดุลที่ 2.3, 10 และ 14 โดยมีอันดับเฉลี่ย 1.312, 1.437 และ 1.395 ตามลำดับ และจากการทดสอบ Wilcoxon signed-rank พบว่าเทคนิค LDA และ SVD มีประสิทธิภาพแตกต่างกันในอัตราส่วนความไม่สมดุลที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.3 ผลการศึกษาของการเปรียบเทียบเทคนิควิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำในแต่ละค่าอัตราส่วนความไม่สมดุล

Table 4 The average rank across performance measures for different resampling (bold indicates best results).

Mean Rank	IR 2.3				IR 10				IR 14			
	SM	RUS	ADA	BSM	SM	RUS	ADA	BSM	SM	RUS	ADA	BSM
ACC	1.625	3.500	2.500	2.375	2.875	2.250	3.250	1.625	2.500	2.500	3.250	1.750
AUC	1.875	3.125	3.000	2.000	2.625	1.750	3.125	2.500	3.125	2.000	2.750	2.125
F1	1.875	2.875	2.500	2.750	2.750	2.250	3.375	1.625	2.500	2.500	3.125	1.875
PRE	1.750	3.750	3.000	1.500	2.500	2.500	2.500	2.500	3.000	2.500	2.625	1.875
KS	2.250	3.625	2.375	1.750	2.500	2.250	2.500	2.750	3.125	3.250	2.250	1.375
BS	2.375	2.125	2.875	2.625	2.875	1.750	3.250	2.125	2.500	1.750	3.375	2.375
Average	1.958	3.166	2.708	2.166	2.687	2.125	3.000	2.187	2.791	2.416	2.895	1.895

จากการเปรียบเทียบวิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำด้วยตัวแบบพื้นฐาน 4 ตัวแบบ ได้แก่ LR, KNN, DT และ SVM ในแต่ละอัตราส่วนความไม่สมดุล ผู้วิจัยทำการให้อันดับแต่ละตัวชี้วัดที่แสดงถึงประสิทธิภาพของวิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำและหาค่าเฉลี่ยอันดับแต่ละตัวชี้วัดของจาก Table 4 พบว่าวิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำที่ดีที่สุดขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความไม่สมดุล โดยที่อัตราส่วนความไม่สมดุลที่ 2.3 วิธี SM ดีที่สุด อัตราส่วนความไม่สมดุลที่ 10 วิธี RUS ดีที่สุด และอัตราส่วนความไม่สมดุลที่ 14 วิธี BSM ดีที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอันดับ 1.958,

2.125 และ 1.895 ตามลำดับ โดยในแต่ละอัตราส่วนความสมดุลได้ทำการทดสอบ Friedman test พบว่าตัวแบบในแต่ละอัตราส่วนความไม่สมดุลแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และจากการทดสอบ Nemenyi post hoc ได้ค่า critical difference (CD) ในแต่ละอัตราส่วนความไม่สมดุลดังนี้ IR 2.3 (CD = 0.33), IR 10 (CD = 0.37) และ IR 14 (CD= 0.33)

3.4 ผลการศึกษาของการเปรียบเทียบตัวแบบที่มีวิธีการลดมิติข้อมูลและการสุ่มตัวอย่างซ้ำในแต่ละค่าอัตราส่วนความไม่สมดุล

Table 5 Performance of each classifier with resampling and dimensionality reduction (bold indicates best results).

IR	Performance	Bagging Hetero	RF	LR	KNN	DT	SVM
2.3	ACC	0.720 (5)	0.660 (6)	0.750 (1.5)	0.740 (4)	0.750 (1.5)	0.745 (3)
	AUC	0.784 (2)	0.693 (5)	0.792 (1)	0.742 (4)	0.767 (3)	0.681 (6)
	F1	0.787 (5)	0.757 (6)	0.823 (2)	0.819 (4)	0.828 (1)	0.823 (3)
	PRE	0.845 (1)	0.762 (6)	0.818 (2)	0.802 (4)	0.801 (5)	0.804 (3)
	KS	0.453 (2)	0.322 (5)	0.488 (1)	0.409 (4)	0.450 (3)	0.243 (6)
	BS	0.180 (2)	0.257 (6)	0.173 (1)	0.183 (3)	0.187 (4)	0.250 (5)
	Mean Rank	2.833	5.666	1.416	3.833	2.916	4.333
10	ACC	0.701 (1.5)	0.610 (6)	0.662 (3.5)	0.662 (3.5)	0.629 (5)	0.701 (1.5)
	AUC	0.741 (1)	0.669 (4)	0.739 (2)	0.720 (3)	0.559 (5)	0.523 (6)
	F1	0.816 (2)	0.750 (6)	0.785 (4)	0.786 (3)	0.765 (5)	0.818 (1)
	PRE	0.980 (2)	0.957 (6)	0.989 (1)	0.979 (3)	0.958 (5)	0.962 (4)
	KS	0.565 (1)	0.402 (4)	0.532 (2)	0.464 (3)	0.200 (5)	0.149 (6)
	BS	0.193 (1)	0.291 (5)	0.263 (4)	0.260 (3)	0.355 (6)	0.250 (2)
	Mean Rank	1.416	5.166	2.750	3.083	5.166	3.416
14	ACC	0.913 (3.5)	0.926 (2)	0.893 (6)	0.913 (3.5)	0.900 (5)	0.933 (1)
	AUC	0.820 (1)	0.808 (2)	0.788 (4)	0.790 (3)	0.648 (6)	0.785 (5)
	F1	0.953 (4)	0.961 (2)	0.942 (6)	0.954 (3)	0.946 (5)	0.965 (1)
	PRE	0.964 (1)	0.958 (3)	0.956 (5)	0.957 (4)	0.963 (2)	0.952 (6)
	KS	0.642 (1.5)	0.642 (1.5)	0.635 (3)	0.614 (4.5)	0.387 (6)	0.614 (4.5)
	BS	0.065 (1)	0.066 (2)	0.077 (6)	0.071 (4)	0.072 (5)	0.069 (3)
	Mean Rank	2.000	2.083	5.000	3.666	4.833	3.416

จากการเปรียบเทียบตัวแบบที่มีวิธีการลดมิติข้อมูลและการสุ่มตัวอย่างซ้ำที่ได้จากผลการศึกษาที่ 3.2 และ 3.3 ผู้วิจัยทำการให้อันดับในแต่ละตัวชี้วัดที่แสดงถึงประสิทธิภาพของตัวแบบ จาก Table 5 พบว่าตัวแบบที่มีเทคนิคการลดมิติข้อมูลและการสุ่มตัวอย่างซ้ำที่ดีที่สุดขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนความไม่สมดุล โดยอัตราส่วนความไม่สมดุลที่ 2.3 ตัวแบบ LR มีประสิทธิภาพดีที่สุด อัตราส่วนความไม่สมดุลที่ 10 และ 14 ตัวแบบ Bagging Hetero มีประสิทธิภาพดีที่สุด มีอันดับเฉลี่ย 1.416, 1.416 และ 2.000 ตามลำดับ ในแต่ละอัตราส่วนความสมดุลได้ทำการทดสอบ Friedman test พบว่าตัวแบบในแต่ละอัตราส่วนความไม่สมดุลแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และจากการทดสอบ Nemenyi post hoc ได้ค่า critical difference (CD) ในแต่ละอัตราส่วนความไม่สมดุลเรียงดังนี้ IR 2.3 (CD = 0.53), IR 10 (CD = 0.60) และ IR 14 (CD= 0.61)

4. สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบตัวแบบการจำแนกประเภทข้อมูลเยอรมันเครดิตในแต่ละอัตราส่วนความไม่สมดุลที่ต่างกัน และหาเทคนิคการลดมิติข้อมูลและการสุ่มตัวอย่างซ้ำที่เหมาะสมในแต่ละค่าอัตราส่วนความไม่สมดุล ในการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวแบบจะใช้ตัวแบบการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มด้วยตัวแบบที่ต่างกันแบบขนาน ร่วมกับเทคนิคการลดมิติข้อมูล และใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างซ้ำจัดการกับอัตราส่วนความไม่สมดุลที่ต่างกัน โดยวัดประสิทธิภาพของตัวแบบด้วยตัวชี้วัด ACC, AUC, F1, PRE, BS และ KS รวมทั้งการทดสอบทางสถิติเพื่อแสดงว่าประสิทธิภาพของตัวแบบมีความแตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่าในอัตราส่วนความไม่สมดุล 2.3 วิธีการลดมิติข้อมูลและวิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำที่มีประสิทธิภาพคือ LDA และ SM ตามลำดับ โดยที่การเรียนรู้แบบรวมกลุ่มด้วยตัวแบบที่ต่างกันแบบขนานมีประสิทธิภาพเฉลี่ยดีที่สุดในกรณีที่ไม่ใส่วิธีการลดมิติข้อมูลและการสุ่มตัวอย่างซ้ำ แต่ในกรณีที่ใส่วิธีการลดมิติข้อมูลและการสุ่มตัวอย่างซ้ำพบว่าไม่ใช่ตัวแบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากตัวแบบมีความซับซ้อนมากเกินไป จึงสรุปได้ว่าในค่าอัตราส่วนความไม่สมดุลต่ำ ($IR = 2.3$) ตัวแบบ Logistic Regression ที่เพิ่มเทคนิค LDA และ SM จะมีประสิทธิภาพเฉลี่ยดีที่สุดในการจำแนกประเภท ในส่วนของอัตราส่วนความไม่สมดุลกลาง ($IR = 10$) และ อัตราส่วนความไม่สมดุลสูง ($IR = 14$) วิธีการลดมิติข้อมูลและการสุ่มตัวอย่างซ้ำที่มีประสิทธิภาพคือ LDA, RUS และ LDA, BSM ตามลำดับ โดยที่การเรียนรู้แบบรวมกลุ่มด้วยตัวแบบที่ต่างกันแบบขนานมีประสิทธิภาพเฉลี่ยดีที่สุด ทั้งในกรณีที่ใส่และไม่ใส่วิธีการลดมิติข้อมูลและสุ่มตัวอย่างซ้ำของอัตราส่วนความไม่สมดุลกลางและสูง เนื่องจากเมื่อข้อมูลมีอัตราส่วนความไม่สมดุลที่มากขึ้น การแก้ไขปัญหาระดับ Algorithm level คือการเรียนรู้แบบรวมกลุ่มรวมกับการลดมิติข้อมูล และ Data level คือการสุ่มตัวอย่างซ้ำ จะช่วยเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทของตัวแบบได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฏติถิติ เจริญรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่คอยให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนชี้แนะแนวทางในการศึกษาแก่ผู้วิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ จนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Brown, I. and Mues, C. 2012. An experimental comparison of classification algorithms for imbalanced credit scoring data sets. *Expert System with Applications*, 39: 3446-3453.
- [2] De Melo Junior, L. S., Nardini, F. M., Renso, C. and Fernandes de Macêdo, J. A. 2019. An Empirical Comparison of Classification Algorithms for Imbalanced Credit Scoring Datasets. In: 18th IEEE International Conference On Machine Learning And Applications (ICMLA), Boca Raton, FL, USA. pp. 747-754
- [3] Lenka, S. R., Bisoy, S. K., Priyadarshini, R. and Sain, M. 2012. Empirical Analysis of Ensemble Learning for Imbalanced Credit Scoring Datasets: A Systematic Review. *Wireless Communications and Mobile Computing*.
- [4] Marque, A. I., Garcia, V. and Sanchez, J. S. 2013. On the suitability of resampling technique for class imbalance problem in credit scoring. *Journal of Operational Research*. 64: 1060-1070.
- [5] Zhang, T. and Chi, G. 2021. A heterogeneous ensemble credit scoring model based on adaptive classifier selection: An application on imbalanced data. *International Journal of Finance and Economics*. 26: 4372-4385.
- [6] เบญจพร เอี่ยมประโคน. 2560. วิธีการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้โค้ง ROC สำหรับข้อมูลชุดเดียวกัน: กรณีศึกษาแบบจำลองคะแนนเครดิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- [7] อโนทัย พุทธารี่, จิตรภณ หรุเจริญพรพานิช, เพ็ญสิริ บำรุงเชาว์เกษม และ ชินวัฒน์ เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2561. CREDIT SCORING MODEL: เครื่องมือในการประเมินคุณภาพสินเชื่อ. *FAQ (Focused and Quick)*. 132.
- [8] UCI Machine Learning Repository. 2566. Statlog (German Credit Data) Data Set. Available source: website [https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/statlog+\(german+credit+data\)](https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/statlog+(german+credit+data)). (Retrieved February 21, 2023).

การเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบรวมกลุ่ม สำหรับข้อมูลที่มีลักษณะการจำแนกแบบไบนารี A COMPARISON OF ENSEMBLE FEATURE SELECTION METHODS FOR BINARY CLASSIFICATION DATASETS

กรชนก ชมเชย^{1*} และ ณัตติฤดี เจริญรักษ์²
Kornchanok Chomchoei^{1*} and Nuttirudee Charoenruk²

¹ภาควิชาสถิติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
²ภาควิชาสถิติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร

¹Department of Statistics, Chulalongkorn University, Bangkok
²Department of Statistics, Chulalongkorn University, Bangkok

*Corresponding author: Kornchanok Chomchoei, e-mail address: 6480386326@student.chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบเดี่ยว (Single-Feature Selection) และแบบรวมกลุ่ม (Ensemble Feature Selection) ซึ่งแบ่งเป็น 2 รูปแบบคือ รูปแบบการรวมลำดับความสำคัญของตัวแปรแล้วตามด้วยการเลือกจำนวนตัวแปรที่มีความสำคัญตามเกณฑ์ที่ระบุ (Design CT: Combination followed by Thresholding) และรูปแบบการการเลือกจำนวนตัวแปรที่มีความสำคัญตามเกณฑ์ที่ระบุแล้วตามด้วยการรวมเซตของตัวแปรที่มีความสำคัญดังกล่าว (Design TC: Thresholding followed by Combination) ผู้วิจัยได้ใช้การคัดเลือกตัวแปรจากประเภท Filter Wrapper และ Embedded โดยใช้ 10-fold cross validation ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ F1-score แทนประสิทธิภาพการทำนายและค่าเบี่ยงเบนของ F1-score แทนค่าความเสถียรของการทำนาย ผ่านข้อมูล 3 ชุดได้แก่ Parkinson's Disease dataset (จำนวนตัวแปรต้น(P)=จำนวนข้อมูล(N)), LSVT Voice Rehabilitation dataset (P>N) และ Colon Cancer dataset (P>>N) ใช้ XGBoost เป็นตัวแบบทำนาย จากการศึกษาภายใต้ขอบเขตดังกล่าวพบว่า การคัดเลือกตัวแปรแบบวิธีเดี่ยวด้วย SHAP จะให้ผลดีในชุดข้อมูลที่มีมิติมาก P>N และ P>>N ในทุกเกณฑ์ แต่การคัดเลือกแบบรวมกลุ่มจะให้ผลการทำนายที่ต่างกันภายใต้ลักษณะมิติของชุดข้อมูลและเกณฑ์ที่เลือกใช้ สำหรับการรวมลำดับความสำคัญของตัวแปรในรูปแบบ Design CT ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิต ให้ผลการทำนายดีขึ้นจากการที่ไม่ได้ทำการคัดเลือกตัวแปร และดีกว่าวิธีอื่นใน Design CT ในชุดข้อมูล P>>N แต่สำหรับชุดข้อมูล P=N และ P>N ผลการทำนายจากแต่ละวิธีของ Design CT นั้นค่อนข้างผันแปรตามเกณฑ์ที่ใช้ และสำหรับ Design TC การรวมเซตของตัวแปรต้นที่มีความสำคัญด้วยวิธีอินเตอร์เซกและมัลติอินเตอร์เซกจะให้ผลดีกว่าวิธียูเนียน สำหรับชุดข้อมูล P>>N ในทุกเกณฑ์

คำสำคัญ: ข้อมูลหลายมิติ, การจำแนกแบบไบนารี, การคัดเลือกตัวแปรแบบรวมกลุ่ม

Abstract

This research study compares single-feature selection and two ensemble feature selection methods to examine their predictive performance and stability. The first method, called Design Combination followed by Thresholding (Design CT), and the second, named Design Thresholding followed by Combination (Design TC), are selected from the Filter, Wrapper, and Embedded categories of feature selection methods. The study compares the performance (Average F1-score) and stability (Standard deviation F1-score) of these methods using 10-fold cross-validation with three datasets: the Parkinson's Disease dataset (P=N), the LSVT Voice Rehabilitation dataset (P>N), and the Colon Cancer dataset (P>>N), with an XGBoost model used for each dataset. The results can be summarized in three key findings. Firstly, when using single-feature selection, SHAP performed well in high-dimensional data sets with P>N and P>>N in every threshold. Secondly, the Design CT method with arithmetic mean for combination showed better results than the baseline model in P>>N for every threshold. However, the results of the Design CT method for P=N and P>N datasets varied depending on the threshold. Thirdly, the Design TC method with multi-intersection and intersection methods for combination provided better results than the union method for P>>N in every threshold.

Keywords: High-dimensional Data, Binary Classification, Ensemble Feature Selection

1. บทนำ

การวิเคราะห์ข้อมูลในปัจจุบันอาจต้องเผชิญกับปัญหาข้อมูลที่มีหลายมิติ หรือการที่ข้อมูลมีจำนวนตัวแปรต้นหลายตัว พบมากในข้อมูลรหัสยีนส์ที่ใช้ทางการแพทย์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหามิติของข้อมูล (Curse of Dimensionality) ที่จะส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการทำนายผ่านตัวแบบ หนึ่งในวิธีที่ช่วยขจัดปัญหาดังกล่าวคือการลดมิติให้กับข้อมูลหรือการคัดเลือกตัวแปรเข้าตัวแบบ

วิธีการคัดเลือกตัวแปรเข้าตัวแบบ (Feature Selection) แบ่งเป็น 3 ประเภทได้แก่ ประเภท Filter เป็นการจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรต้นจากค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามที่ได้จากการทดสอบทางสถิติ เช่น Mutual Information, Variance Threshold, MultiSURF ประเภท Wrapper เป็นการจัดเซตของตัวแปรต้นเพื่อนำไปประมวลผลความผิดพลาดการทำนายผ่านตัวแบบ เช่น SHAP, Boruta, RFE และประเภท Embedded เช่นการจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรต้นในระหว่างการทำงานของอัลกอริทึม XGBoost [1]

วิธีคัดเลือกตัวแปรเข้าตัวแบบอาจทำได้ด้วยการเลือกใช้เพียงวิธีเดียวหรือใช้หลายวิธีร่วมกัน การคัดเลือกตัวแปรเข้าตัวแบบด้วยวิธีเดียว เช่น การใช้วิธี Correlation Criteria ในประเภท Filter จะทำให้ประสิทธิภาพการทำนายของตัวแบบดีขึ้นกว่าการที่ไม่ได้ทำการคัดเลือกตัวแปร [2] นอกเหนือจากการใช้การคัดเลือกตัวแปรเพียงวิธีเดียวแล้ว ยังมีการคัดเลือกตัวแปรแบบรวมกลุ่มโดยใช้วิธีจากประเภท Filter มากกว่า 1 วิธี ซึ่งสามารถพัฒนาประสิทธิภาพการทำนายได้ดีขึ้นกว่าการใช้เพียงแค่วิธีเดียว [3,4] อีกทั้งยังมีงานศึกษาที่นำวิธีการคัดเลือกตัวแปรเข้าตัวแบบรวมกลุ่มจากหลากหลายวิธีมากขึ้น เช่น การนำ 12 วิธีการคัดเลือกตัวแปรจากทั้ง 3 ประเภท Filter Wrapper และ Embedded ด้วยตัวแบบ Random Forest และ LightGBM ผลการศึกษาพบว่า การเลือกใช้วิธีเดียวด้วย SHAP ซึ่งเป็นการคัดเลือกตัวแปรประเภท Wrapper จะให้ผลการทำนายมีความเสถียรที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีเดียวอื่น งานศึกษาดังกล่าวได้นำทั้ง 12 วิธีจาก Filter Wrapper และ Embedded มาร่วมตัดสินใจ พบว่าประสิทธิภาพในการทำนายสูงสุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น [5]

การเปรียบเทียบ Design CT และ Design TC สำหรับข้อมูลการจำแนกไบนารีพบว่าใน Design TC วิธีอินเตอร์เซกคือการใช้ตัวแปรที่ปรากฏอยู่ในทุกเซตตัวแปรที่มีความสำคัญตามเกณฑ์ จากแต่ละวิธีการคัดเลือกตัวแปรที่นำมาพิจารณาแบบรวมกลุ่ม จะทำให้การเลือกตัวแปรต้นเข้าตัวแบบให้ค่าความผิดพลาดในการทดสอบน้อยกว่าวิธีอื่นในหลายชุดข้อมูลที่ทำการทดสอบ สำหรับ Design CT งานศึกษาได้ใช้วิธีการรวมลำดับความสำคัญของตัวแปรต้นโดยพิจารณาเพียงแค่ว่าค่าต่ำสุด (min) เป็นการสร้างลำดับความสำคัญของตัวแปรใหม่โดยเลือกจากค่าต่ำสุดของค่าลำดับที่ได้จากแต่ละวิธีการคัดเลือกตัวแปรที่นำมาพิจารณาแบบรวมกลุ่ม [6] อีกทั้งไม่มีงานศึกษาการคัดเลือกตัวแปรแบบรวมกลุ่มในส่วนของวิธีคัดเลือกตัวแปรด้วยประเภท Wrapper ร่วมด้วย นอกจากนี้วิธีการคัดเลือกตัวแปรเข้าตัวแบบอาจมีประสิทธิภาพและความเสถียรของผลการทำนายที่ต่างกันภายใต้สถานการณ์ที่ต่างกัน

จากงานวิจัยที่กล่าวมาเบื้องต้นศึกษาการคัดเลือกตัวแปรแบบรวมกลุ่ม 2 รูปแบบคือ รูปแบบ Design CT และรูปแบบ Design TC แต่ยังไม่มีการพิจารณาวิธีการคัดเลือกตัวแปรประเภท Wrapper ร่วมด้วย อีกทั้งวิธีการรวมลำดับความสำคัญพิจารณาเพียงแค่วิธีค่าต่ำสุด (Min) สำหรับงานศึกษาการคัดเลือกตัวแปรแบบรวมกลุ่มที่มีการพิจารณาจากทั้ง 3 ประเภทได้แก่ Filter, Wrapper, Embedded ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับชุดข้อมูลสิ่งแวดล้อมแต่ยังไม่นำมาศึกษากับข้อมูลทางการแพทย์ ในงานศึกษานี้ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการคัดเลือกตัวแปรแบบรวมกลุ่ม 2 รูปแบบคือ รูปแบบ Design CT และรูปแบบ Design TC และสำหรับขั้นตอนการรวมลำดับความสำคัญของตัวแปรต้นในรูปแบบ Design CT นอกเหนือจากการพิจารณาค่าต่ำสุด (Min) แล้วผู้วิจัยจะพิจารณาวิธีค่ากลาง (Median) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก (Harmonic Mean) ร่วมด้วย โดยเลือกใช้ตัวแบบ XGBoost และทำ 10-fold cross validation ซึ่งเป็นการเรียนรู้ทั้งหมด 10 ครั้ง โดยเป็นการแบ่งชุดข้อมูลไว้เป็น 10 ส่วนเท่ากันและในแต่ละครั้งจะใช้ 9 ใน 10 ส่วนสำหรับเป็นชุดที่ใช้สำหรับการสอน (Train Set) และ 1 ใน 10 ส่วนสำหรับการทดสอบ (Test Set) ในแต่ละครั้งชุดทดสอบจะไม่ซ้ำกัน เพื่อวัดผลการทำนายของตัวแบบผ่านค่าเฉลี่ยของ F1-score และค่าเบี่ยงเบนของ F1-score

2. วิธีการศึกษา

2.1 กำหนดชุดข้อมูล (Data Collection)

ชุดข้อมูลที่นำมาวิจัยในครั้งนี้มี 3 ชุด ได้แก่

2.1.1 ชุดข้อมูล [Parkinson's Disease](#) จาก UCI Machine Learning Repository [7] จุดประสงค์เพื่อวินิจฉัยโรคพาร์กินสัน (Parkinson's Disease: 1= patients with PD, 0= healthy patients) โดยมีกลุ่มตัวอย่าง 756 ตัวอย่าง และ 753 ตัวแปรต้น

2.1.2 ชุดข้อมูล [LSVT Voice Rehabilitation](#) จาก UCI Machine Learning Repository [8] จุดประสงค์เพื่อประเมินการรักษาการพูดเสียงเบาหรือ LSVT (Lee Silverman voice treatment: 1= unacceptable, 0= acceptable) นำไปสู่ผลที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยมีกลุ่มตัวอย่าง 126 ตัวอย่าง และ 312 ตัวแปรต้น

2.1.3 ชุดข้อมูล [Colon Cancer](#) [9] จุดประสงค์เพื่อวินิจฉัยมะเร็งลำไส้ (Colon Cancer: 1= abnormal (tumor biopsies), 0= normal) โดยมีกลุ่มตัวอย่าง 62 ตัวอย่าง และ 2,000 ตัวแปรต้น

2.2 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

ทำการปรับข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative data) ให้อยู่ในรูปค่ามาตรฐานด้วยการทำ Standardization และปรับข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative data) ให้อยู่ในรูปไบนารี (Binary) ด้วยการทำ One-hot encoding

2.3 ขั้นตอนการเลือกวิธีการคัดเลือกตัวแปรจากแต่ละประเภท (Select a feature selection method from each of the following categories)

การคัดเลือกตัวแปรแบ่ง 3 ประเภทได้แก่ Filter Wrapper และ Embedded สำหรับวิธีการคัดเลือกตัวแปรประเภท Filter จะใช้การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างวิธี Mutual Information, Variance Threshold, MultiSURF และสำหรับประเภท Wrapper จะใช้การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างวิธี SHAP, RFE และ Boruta เพื่อเลือกวิธีการคัดเลือกตัวแปรที่ดีที่สุดจากแต่ละประเภท โดยการทดสอบเริ่มจากการจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรต้นในชุดข้อมูลที่ได้จากแต่ละวิธีการคัดเลือกตัวแปรที่กล่าวมาข้างต้น จากนั้นจึงเลือกตัวแปรต้นที่มีความสำคัญสูงสุด k ลำดับแรกตามเกณฑ์ (Threshold) ที่กำหนดได้แก่ $\log_2(N)$ 2.5% 5% 10% และทำการเปรียบเทียบผลของแต่ละวิธีด้วยการวัดผลการทำนายของตัวแบบผ่านการทำ 10-fold cross validation เพื่อหาค่าเฉลี่ยของ F1-score และค่าเบี่ยงเบนของ F1-score ดัง Figure 1 แสดงขั้นตอนการเปรียบเทียบ 3 วิธีการคัดเลือกตัวแปรในประเภท Filter และ Wrapper สำหรับประเภท Embedded นั้นจะใช้การทำงานของอัลกอริทึม XGBoost ในการจัดลำดับความสำคัญของตัวแปร

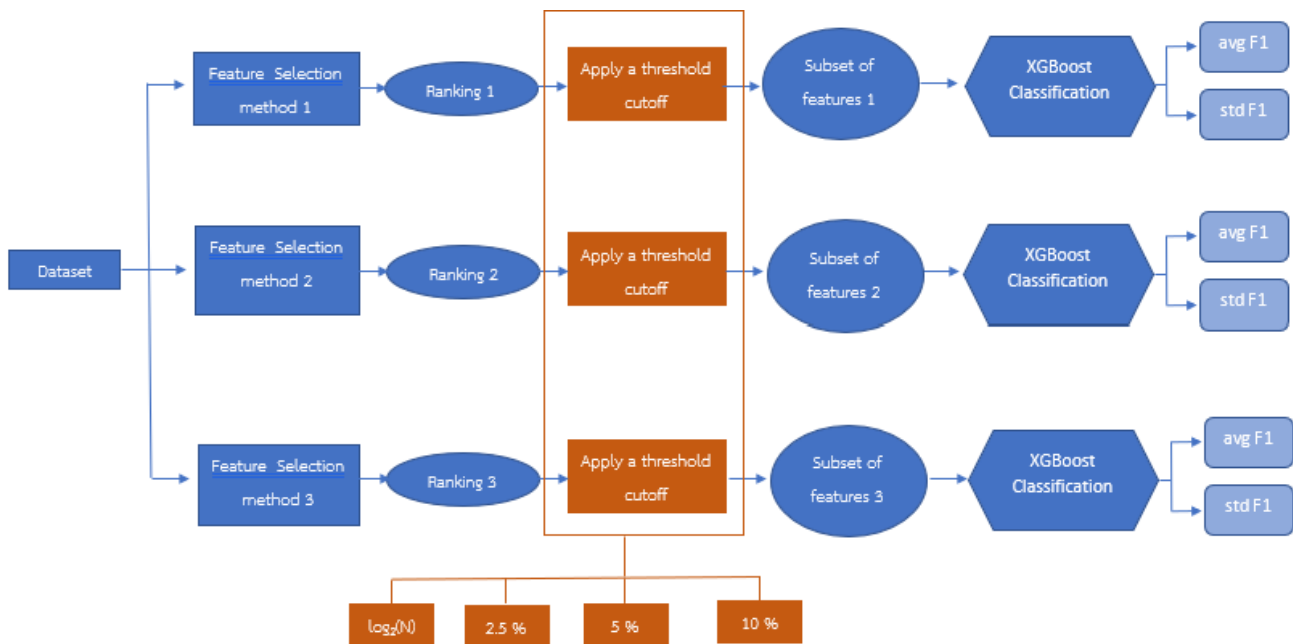


Figure 1 From the various feature selection techniques, choose one to implement for each group of Filter and Wrapper methods

2.4 ขั้นตอนการเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบรวมกลุ่ม (Comparison of Ensemble Feature Selection Methods)

การคัดเลือกตัวแปรแบบวิธีเดียวจากข้อ 2.3 นำ 3 วิธีดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบรวมกลุ่มที่แบ่งเป็น 2 รูปแบบคือ รูปแบบ Design CT คือ การรวมลำดับความสำคัญของตัวแปรด้วยวิธีค่าต่ำสุด (Min) ค่ากลาง (Median) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) หรือค่าเฉลี่ยฮาร์มอนิก (Harmonic Mean) ดัง Table 1 ก่อนแล้วตามด้วยการเลือกจำนวนตัวแปรที่มีความสำคัญตามเกณฑ์ที่ระบุ ดัง Figure 3 และสำหรับรูปแบบ Design TC คือ การการเลือกจำนวนตัวแปรที่มีความสำคัญตามเกณฑ์ที่ระบุก่อนแล้วตามด้วยการรวมเซตของตัวแปรที่มีความสำคัญดังกล่าว จาก Table 1 สมมติให้ใช้เกณฑ์ 5 ลำดับแรกจะได้ set1 และ set2 คือตัวแปรต้น 5 ลำดับแรกที่มีความสำคัญจากการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ตามลำดับ ดัง Figure 2A จะได้ว่าวิธียูเนียนคือการเลือกตัวแปรที่ปรากฏในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง 1 2 หรือ 3 วิธีอินเตอร์เซกคือการเลือกตัวแปรที่ปรากฏในพื้นที่ 2 เท่านั้น และในกรณีที่ใช้วิธีการคัดเลือกตัวแปรมากกว่า 2 วิธี ดัง Figure 2B การรวมเซตตัวแปรที่มีความสำคัญด้วยวิธีมัลติอินเตอร์เซกคือการคัดเลือกตัวแปรที่ปรากฏในพื้นที่ 4 5 6 และ 7 งานศึกษาที่ใช้ 4 เกณฑ์ได้แก่ $\log_2(N)$ 2.5% 5% และ 10% ในการกำหนดอันดับการเลือกตัวแปรต้น ดัง Figure 4 นอกเหนือจากการเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบรวมกลุ่มแล้วยังมีการแสดงผลของการคัดเลือกตัวแปรแบบวิธีเดียว (Single Feature Selection) มีขั้นตอนการทำเช่นเดียวกับ Figure 1

Table 1 An example of a combining method in Design CT with 2 Feature Selection methods

Feature	Feature Ranking for method 1	Feature Ranking for method 2	Min	Median	Arithmetic mean	Harmonic mean
X ₁	1	2	1	1.50	$(1+2)/2 = 1.50$	$2 / [(1/1) + (1/2)] = 1.33$
X ₂	2	3	2	2.50	$(2+3)/2 = 2.50$	$2 / [(1/2) + (1/3)] = 2.40$
X ₃	3	5	3	4.00	$(3+5)/2 = 4.00$	$2 / [(1/3) + (1/5)] = 3.75$
X ₄	4	1	1	1.00	$(4+1)/2 = 2.50$	$2 / [(1/4) + (1/1)] = 1.60$
X ₅	5	4	4	4.00	$(5+4)/2 = 4.50$	$2 / [(1/5) + (1/4)] = 4.44$

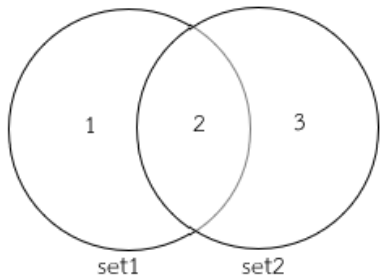


Figure 2A An example of a combining method in Design TC: Using 2 Feature Selection methods

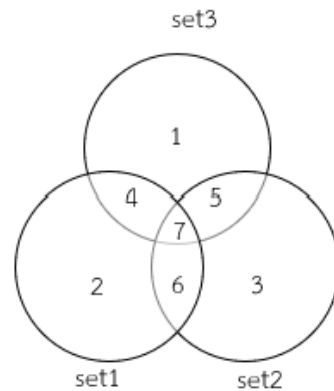


Figure 2B An example of a combining method in Design TC: Using 3 Feature Selection methods

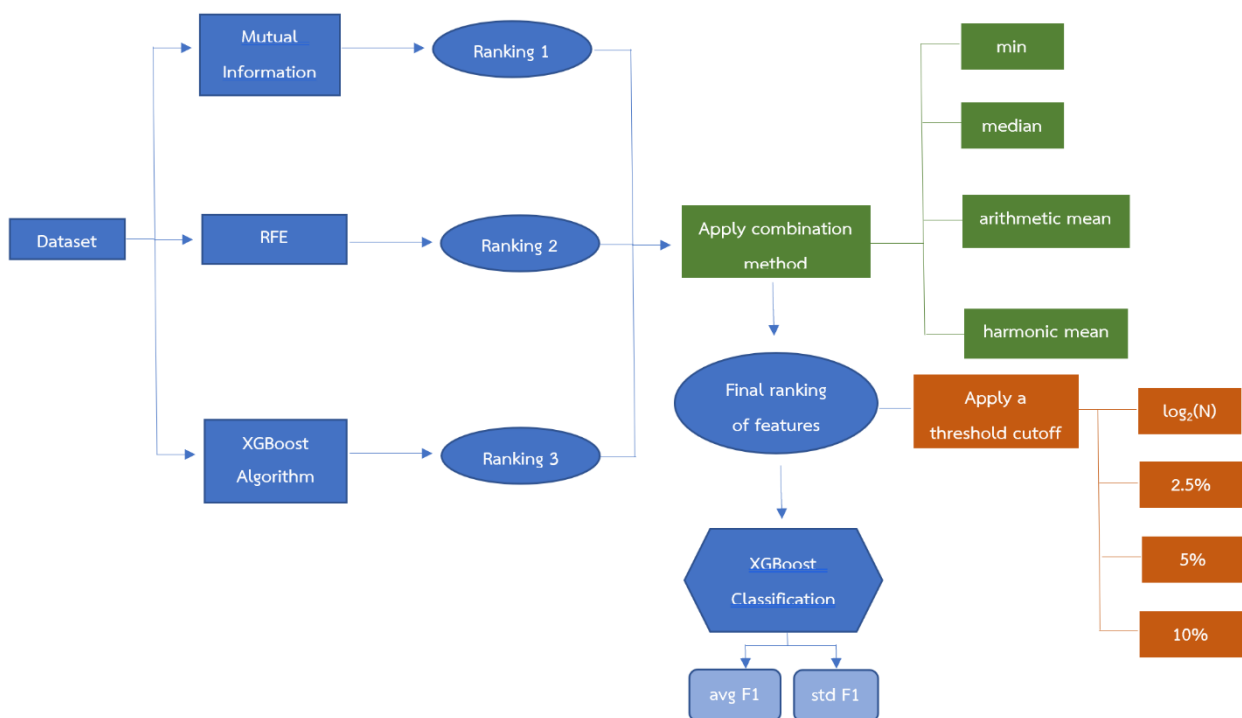


Figure 3 Design CT: Design Combination followed by Thresholding

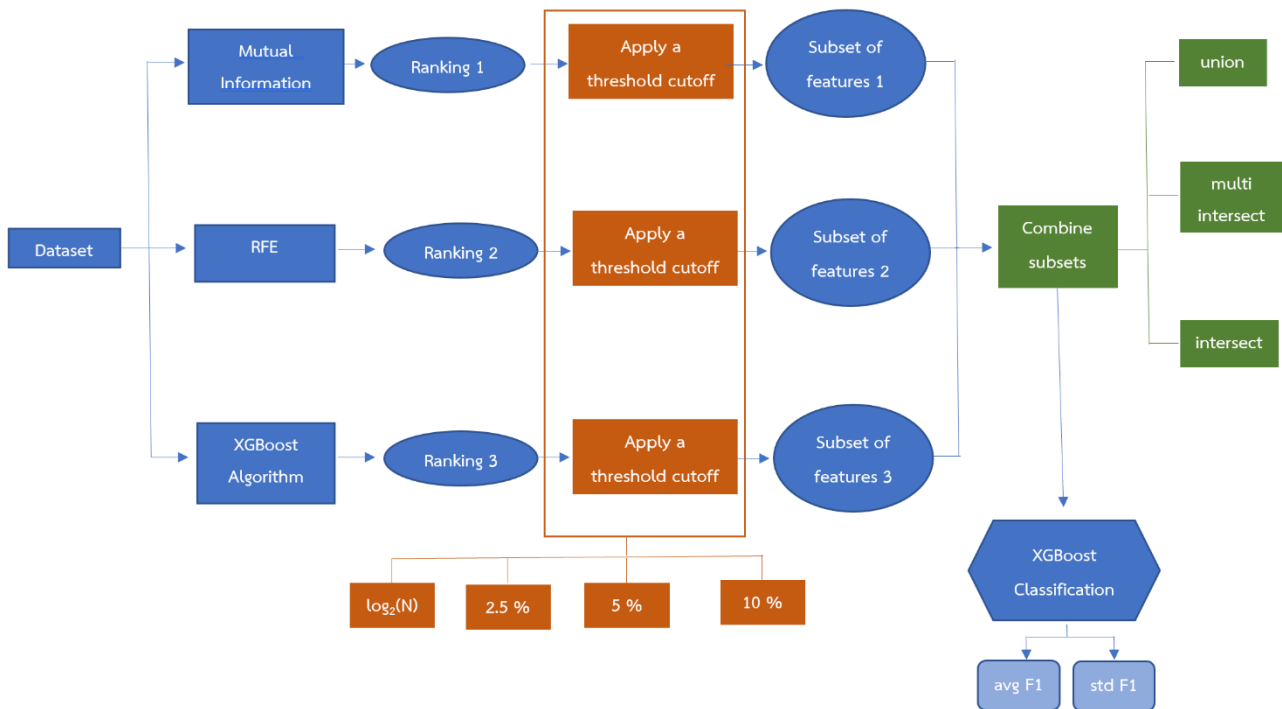


Figure 4 Design TC: Design Thresholding followed by Combination

2.4 ประเมินแบบจำลอง (Model Evaluation)

หลังจากทำการคัดเลือกตัวแปรเข้าตัวแบบแล้ว จะทำการประเมินผลการทำนายของตัวแบบผ่านค่าประเมิน 2 ค่า ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของ F1-score (Average F1-score) เพื่อวัดประสิทธิภาพในการทำนายและค่าเบี่ยงเบนของ F1-score (Standard Deviation F1-score) เพื่อวัดความเสถียรของการทำนาย

ค่า F1-score

เป็นการค่าเฉลี่ยของค่าความแม่นยำของแบบจำลอง (Precision) ดังสมการที่ 1 และ ค่าความไวของแบบจำลอง (Recall) ดังสมการที่ 2 สำหรับค่า TP, FP, FN ในสมการที่ 1 และ 2 ได้จาก Confusion Matrix ดัง Table 2

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad 1$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad 2$$

$$F1 \text{ score} = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad 3$$

Table 2 Confusion Matrix or Cross Tabulation

		Actual Class	
		Positive (1)	Negative (0)
Predicted Class	Positive (1)	True Positive (TP)	Fault Positive (FP)
	Negative (0)	Fault Negative (FN)	True Negative (TN)

ให้ True Positive (TP) แทน ผู้ป่วยตรวจพบผลบวกจริง
Fault Positive (FP) แทน ผู้ป่วยตรวจพบผลบวกปลอม
Fault Negative (FN) แทน ผู้ป่วยตรวจพบผลลบปลอม
True Negative (TN) แทน ผู้ป่วยตรวจพบผลลบจริง

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ผลการศึกษสำหรับการเปรียบเทียบการคัดเลือกตัวแปรแบบรวมกลุ่ม และการคัดเลือกตัวแปรแบบวิธีเดียวเพื่อพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ พบว่าโดยรวมจากทุกเกณฑ์ที่เลือกใช้แต่ละชุดข้อมูล วิธี Mutual Information จากประเภท Filter และวิธี SHAP จากประเภท Wrapper ให้ผลดีกว่าวิธีอื่น ๆ ที่อยู่ในประเภทเดียวกัน ในการจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรผ่านวิธีการคัดเลือกตัวแปร ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ Mutual Information, SHAP และ อัลกอริทึม XGBoost จากประเภท Filter Wrapper และ Embedded ตามลำดับ พบว่า

ชุดข้อมูล Parkinson's Disease dataset ($P=N$) การรวมลำดับความสำคัญของตัวแปรใน Design CT ด้วยวิธีค่ากลางที่เกณฑ์ 5% และวิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่เกณฑ์ 10% ให้ค่าเฉลี่ย F1-score เพิ่มขึ้น 1% จากการไม่คัดเลือกตัวแปร โดยเพิ่มมากกว่าการรวมด้วยค่าต่ำสุด แต่ค่าเบี่ยงเบน F1-score ไม่ต่างกันมาก สำหรับการรวมเซตตัวแปรที่สำคัญใน Design TC ด้วยวิธียูเนียนให้ค่าเฉลี่ย F1-score มากกว่าการไม่คัดเลือกตัวแปรที่เกณฑ์ 5%, 10% ซึ่งมากกว่าการรวมด้วยวิธีอื่นใน Design TC ดัง Figure 5

ชุดข้อมูล LSVT Voice Rehabilitation dataset ($P>N$) การรวมลำดับความสำคัญของตัวแปรใน Design CT ด้วยวิธีค่าต่ำสุดที่เกณฑ์ $\log_2(N)$ ให้ผลดีกว่าการรวมด้วยวิธีอื่น โดยค่าเฉลี่ย F1-score เพิ่มขึ้น 1.7% สำหรับวิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่เกณฑ์ 5% เฉลี่ย F1-score เพิ่มขึ้น 1.2% และวิธีค่าเฉลี่ยฮาร์มอนิกที่เกณฑ์ 10% ค่าเฉลี่ย F1-score เพิ่มขึ้น 1.5% และการรวมเซตตัวแปรที่สำคัญใน Design TC ด้วยวิธียูเนียนจะให้ค่าเฉลี่ย F1-score ที่มากกว่าการไม่คัดเลือกตัวแปรในเกณฑ์ $\log_2(N)$ และ 5% อีกทั้งยังมากกว่าการรวมด้วยวิธีอื่นใน Design TC การรวมเซตตัวแปรด้วยวิธีมัลติอินเตอร์เซกและอินเตอร์เซกจะให้ค่าเฉลี่ย F1-score ที่มากกว่าการไม่คัดเลือกตัวแปรที่เกณฑ์ 10% และมากกว่าการรวมด้วยวิธีอื่นใน Design TC สำหรับการเลือกตัวแปรแบบวิธีเดียวด้วย SHAP จะให้ผลดีในทุกเกณฑ์ ดัง Figure 6

ชุดข้อมูล Colon Cancer dataset ($P \gg N$) การรวมลำดับความสำคัญของตัวแปรใน Design CT ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตให้ผลการทำนายที่ดีกว่าการรวมด้วยวิธีอื่นในทุกเกณฑ์ สำหรับวิธีค่าเฉลี่ยฮาร์มอนิกและวิธีค่ากลางจะให้ค่าเฉลี่ย F1-score และ ค่าเบี่ยงเบน F1-score ที่ดีกว่าการรวมด้วยวิธีค่าต่ำสุดในเกณฑ์ 2.5% และให้ค่าเฉลี่ย F1-score ที่มากกว่าวิธีค่าต่ำสุดในเกณฑ์ 10% สำหรับการรวมเซตตัวแปรที่สำคัญในรูปแบบ TC ด้วยวิธีอินเตอร์เซกและมัลติอินเตอร์เซกให้ผลดีกว่าวิธียูเนียนในทุกเกณฑ์ และสำหรับการเลือกตัวแปรแบบวิธีเดียวด้วย SHAP จะให้ผลดีในทุกเกณฑ์ ดัง Figure 7

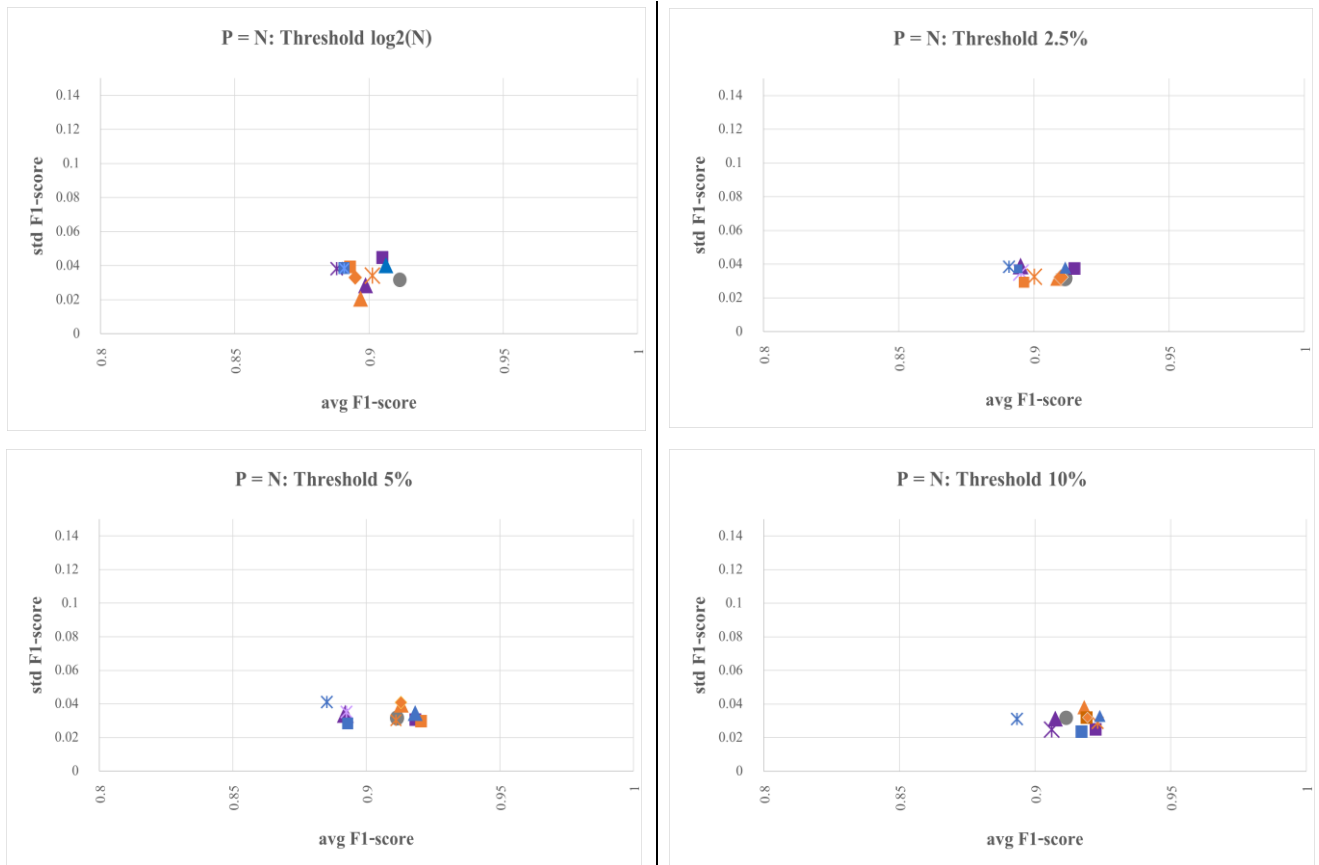


Figure 5 Comparison of Feature Selections for Parkinson's Disease data set

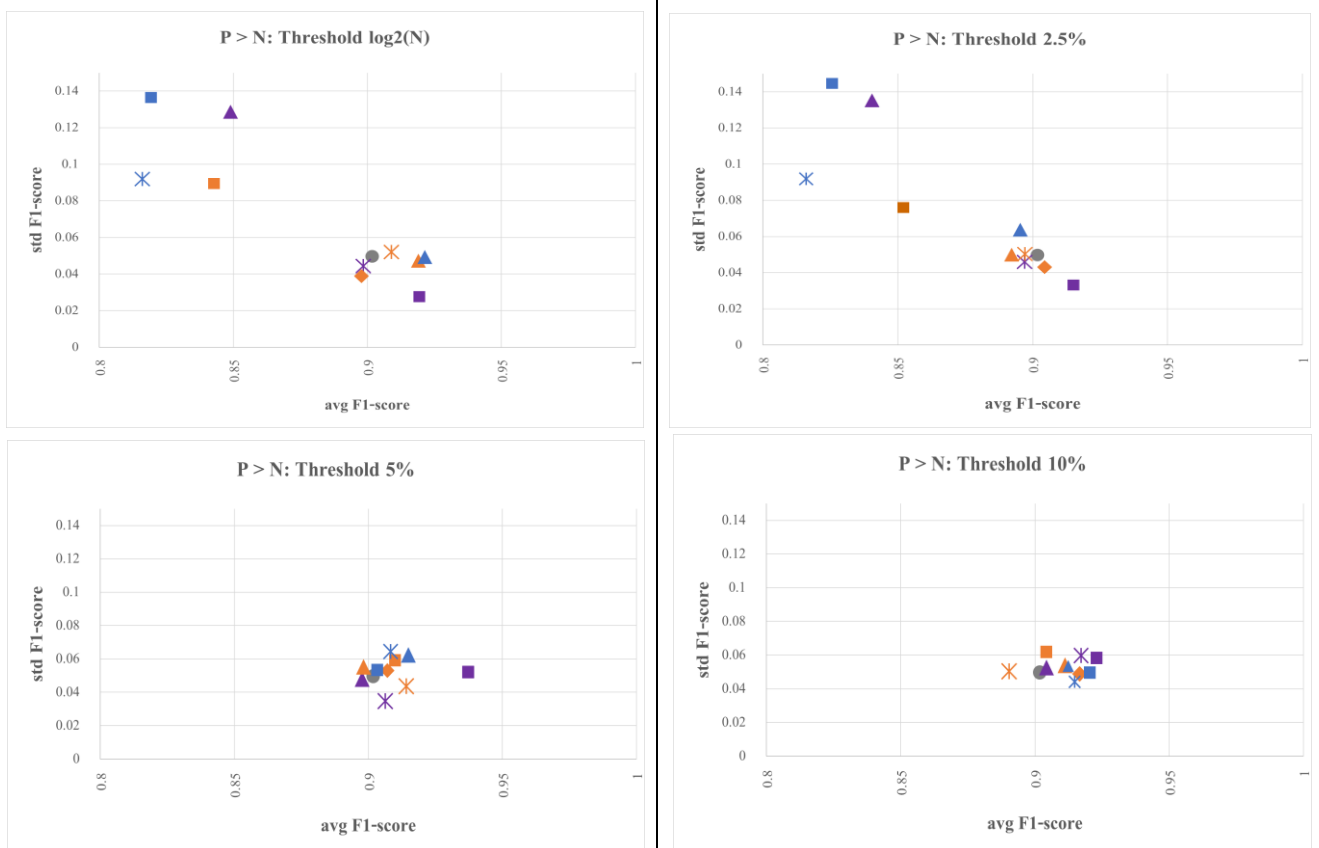


Figure 6 Comparison of Feature Selections for LSVT Voice Rehabilitation data set

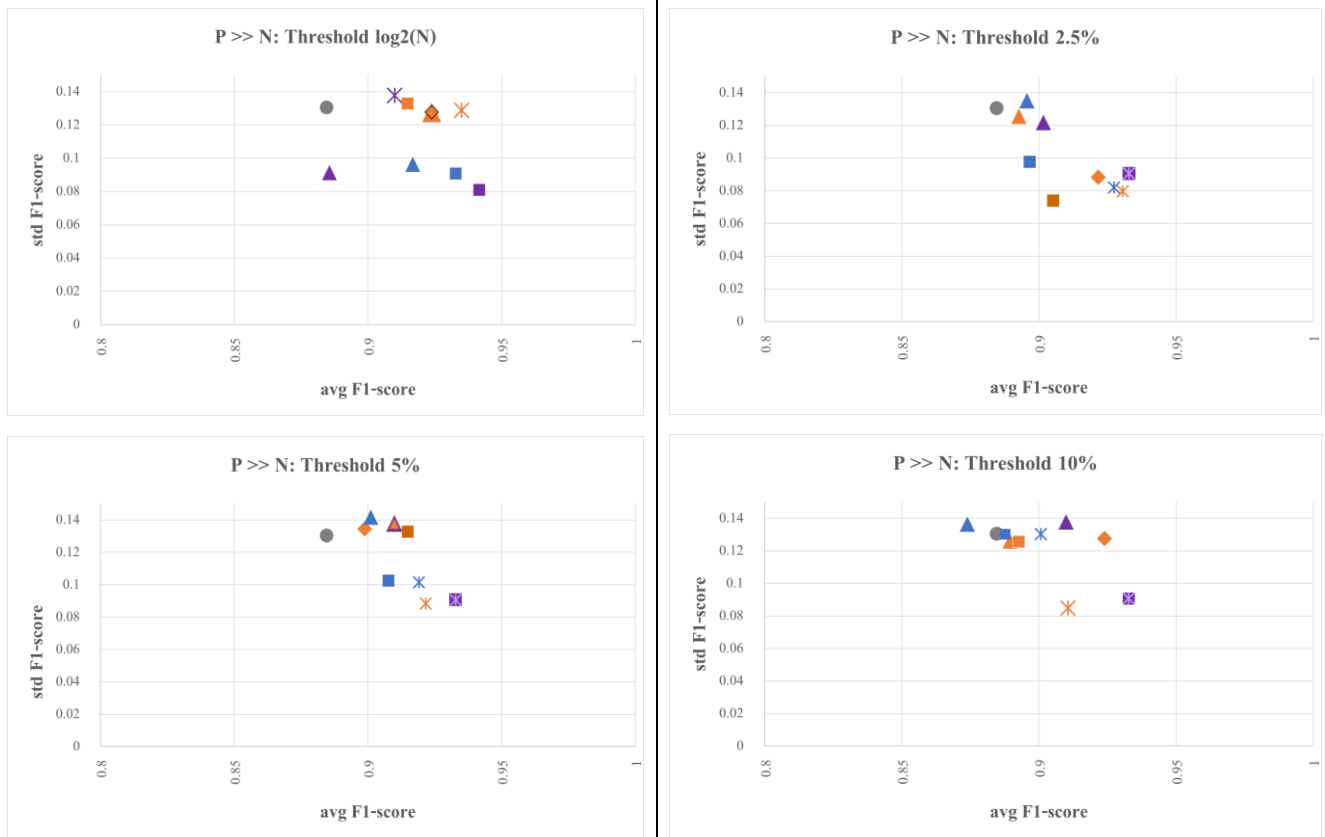


Figure 7 Comparison of Feature Selections for Colon Cancer data set

4. สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกตัวแปรเข้าตัวแบบสำหรับข้อมูลลักษณะหลายมิติด้วยวิธีเดียว และวิธีแบบรวมกลุ่มที่มี 2 รูปแบบคือ รูปแบบการรวมลำดับความสำคัญของตัวแปรก่อนด้วยวิธีค่าต่ำสุด (Min) ค่ากลาง (Median) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก (Harmonic Mean) แล้วตามด้วยการเลือกจำนวนตัวแปรที่มีความสำคัญตามเกณฑ์ที่ระบุ (Design CT: Design Combination followed by Thresholding) และรูปแบบการการเลือกจำนวนตัวแปรที่มีความสำคัญตามเกณฑ์ที่ระบุก่อนแล้วตามด้วยการรวมเซตของตัวแปรที่มีความสำคัญดังกล่าวด้วยวิธียูเนียน มัลติอินเตอร์เซก และ อินเตอร์เซก (Design TC: Design Thresholding followed by Combination) ผ่านตัวแบบ XGBoost ผลปรากฏว่าการคัดเลือกตัวแปรแบบรวมกลุ่ม (Ensemble Feature Selection) อาจไม่เป็นวิธีการที่ดี ทั้งนี้ควรพิจารณาการใช้วิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบวิธีเดียวเช่น SHAP เนื่องจากผลของข้อมูลที่น่ามาศึกษาพบว่าการคัดเลือกแบบวิธีเดียวด้วย SHAP จะให้ผลที่ดีสำหรับชุดข้อมูลที่มีมิติมาก P>N และ P>>N ในทุกเกณฑ์

การคัดเลือกแบบรวมกลุ่มนั้นจะให้ผลการทำนายที่ต่างกัน ภายใต้ชุดข้อมูลและเกณฑ์ที่เลือกใช้ สำหรับชุดข้อมูล P=N การรวมลำดับความสำคัญของตัวแปรรูปแบบ Design CT ด้วยวิธีค่ากลางที่เกณฑ์ 5 % และ วิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่เกณฑ์ 10% สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำนายของตัวแบบมากกว่าการไม่ทำการคัดเลือกตัวแปร และทำได้ดีกว่าวิธีค่าต่ำสุด สำหรับชุดข้อมูล P>N วิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่เกณฑ์ 5 % และ วิธีค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิกที่เกณฑ์ 10% สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำนายของตัวแบบ

มากกว่าการไม่คัดเลือกตัวแปร และเพิ่มมากกว่าการเลือกใช้วิธีค่าต่ำสุด แต่ในเกณฑ์ $\log_2(N)$ การเลือกใช้ค่าต่ำสุดสามารถทำให้ค่าเฉลี่ยของ F1-score สูงกว่าวิธีอื่น สำหรับชุดข้อมูล $P \gg N$ การรวมด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตให้ผลดีกว่าวิธีอื่นในทุกเกณฑ์ วิธีค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิกและวิธีค่ากลางนั้นให้ผลการทำนายดีกว่าการใช้วิธีค่าต่ำสุดในเกณฑ์ 2.5% และ 10% จึงได้ว่าในชุดข้อมูลที่ $P=N$ และ $P > N$ ไม่พบวิธีการรวมลำดับใดที่ให้ผลดีกว่าวิธีอื่นในทุกเกณฑ์ แต่สำหรับกรณีที่จำนวนตัวแปรต้นมากกว่าขนาดของข้อมูลอยู่มาก ($P \gg N$) พบว่าการรวมลำดับความสำคัญด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีอื่นในทุกเกณฑ์

การรวมเซตตัวแปรที่สำคัญใน Design TC ด้วยวิธียูเนียนจะให้ประสิทธิภาพการทำนายที่เพิ่มมาจากการไม่คัดเลือกตัวแปร โดยเพิ่มขึ้นมากกว่าวิธีอินเตอร์เซกและมัลติอินเตอร์เซกในชุดข้อมูล $P=N$ ที่เกณฑ์ 5% และ 10% และ ชุดข้อมูล $P > N$ ที่เกณฑ์ $\log_2(N)$ และ 5% สำหรับการรวมด้วยวิธีอินเตอร์เซกและมัลติอินเตอร์เซกจะให้ผลดีกว่าวิธียูเนียนในชุดข้อมูล $P \gg N$ ในทุกเกณฑ์ และชุดข้อมูล $P > N$ ที่เกณฑ์ 10% ดังนั้นในกรณีที่จำนวนตัวแปรต้นมากกว่าขนาดข้อมูลอยู่มาก ($P \gg N$) ควรเลือกใช้วิธีมัลติอินเตอร์เซกหรืออินเตอร์เซกแทนวิธียูเนียน ข้อควรระวังการใช้ Design TC ในข้อมูล $P \gg N$ คือการใช้เกณฑ์ที่ต่ำเกินไปอย่าง $\log_2(N)$ อาจทำให้เกิดเซตว่างหลังทำอินเตอร์เซกได้ และการใช้เกณฑ์ที่สูงขึ้นถึง 10 % อาจทำให้ผลลัพธ์จากการทำนายแย่กว่าเกณฑ์ที่ต่ำกว่า ทั้งนี้หากต้องการเลือกใช้กับข้อมูลหลายมิติชุดอื่น ๆ ควรทดสอบพร้อมกันทั้งการคัดเลือกแบบวิธีเดียวและการคัดเลือกแบบรวมกลุ่มแล้วเลือกวิธีที่ทำให้ได้ผลการทำนายที่ดีกว่าวิธีอื่น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัตติฤดี เจริญรักษ์ อาจารย์ประจำภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและชี้แนะแนวทางตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ ผู้วิจัยตระหนักถึงความเมตตาของอาจารย์ที่มีให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการศึกษานี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chen, T. and Guestrin, C. 2016. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. In B. Krishnapuram, M. Shah, A. J. Smola, C. Aggarwal, D. Shen & R. Rastogi (eds.), KDD (p./pp. 785-794), : ACM. ISBN: 978-1-4503-4232-2
- [2] Chandrashekar, G., & Sahin, F. 2014. A survey on feature selection methods. *Comput. Electr. Eng.*, 40, 16-28.
- [3] Bolón-Canedo, V., Sánchez-Marroño, N., & Alonso-Betanzos, A. 2012. An ensemble of filters and classifiers for microarray data classification. *Pattern Recognit.*, 45, 531-539.
- [4] Wang, H., Khoshgoftaar, T.M., & Napolitano, A. 2010. A Comparative Study of Ensemble Feature Selection Techniques for Software Defect Prediction. 2010 Ninth International Conference on Machine Learning and Applications, 135-140.
- [5] Effrosynidis, D., Arampatzis, A., 2021. An evaluation of feature selection methods for environmental data. *Eco. Inform.* 61
- [6] Seijo-Pardo, B., Bolón-Canedo, V., & Alonso-Betanzos, A. 2018. On developing an automatic threshold applied to feature selection ensembles. *Inf. Fusion*, 45, 227-245.
- [7] Sakar, C.O., Serbes, G., Gunduz, A., Tunç, H.C., Nizam, H., Sakar, B.E., Tutuncu, M., Aydin, T., Isenkul, M.E., & Apaydin, H. 2019. A comparative analysis of speech signal processing algorithms for Parkinson's disease classification and the use of the tunable Q-factor wavelet transform. *Appl. Soft Comput.*, 74, 255-263. Source: website <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Parkinson%27s+Disease+Classification>, March 5, 2023.
- [8] Tsanas, A., Little, M.A., Fox, C., & Ramig, L.O. 2014. Objective Automatic Assessment of Rehabilitative Speech Treatment in Parkinson's Disease. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 22, 181-190. Source: website <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/LSVT+Voice+Rehabilitation>, March 5, 2023.
- [9] Shafi, A.S., Molla, M.M., Jui, J.J., & Rahman, M.M. 2020. Detection of colon cancer based on microarray dataset using machine learning as a feature selection and classification techniques. *SN Applied Sciences*, 2, 1-8.

การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหาย ในตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุที่ตัวแปรอิสระ
มีการสูญหายของแบบนอนอิกนอร์เรเบิลที่สัมพันธ์กัน
Comparison of the Imputation Methods in the Multiple Linear Regression Model
with Correlated-Nonignorable-Missing Independent Variables

ศุภสันต์ ดีมาก^{1*} และ อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดิ์²
Suppasan Deemark^{1*} and Anupap Somboonsawatdee²

¹นิสิตปริญญาโท ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
²อาจารย์ ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

^{1*}Master student, Department of statistics, Faculty of Commerce and Accountancy, Chulalongkorn university, Bangkok

²Faculty staff, Department of statistics, Faculty of Commerce and Accountancy, Chulalongkorn university, Bangkok

*Corresponding author: Suppasan Deemark, e-mail address: 6480496726@cbs.chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำเพื่อเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหายในตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุที่ตัวแปรอิสระมีการสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิลที่สัมพันธ์กัน โดยมีวิธีการที่ถูกพัฒนาขึ้นคือ Expected Regression Imputation (ERI) และ Conditional Expected Regression Imputation (CERI) ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับวิธี K-Nearest Neighbor (KNN) วิธี Expectation Maximization (EM) และวิธี Predictive Mean Matching (PMM) การศึกษานี้ได้ควบคุมปัจจัยความแปรปรวนของตัวแปรอิสระ ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความคลาดเคลื่อน (σ) ร้อยละการสูญหายและระดับ Nonignorability โดยวิธีการที่ให้ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Average mean square error) น้อยที่สุดจะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ผลการวิจัยพบว่า เมื่อ σ มีค่าสูงวิธี KNN มีประสิทธิภาพสูงสุดทุกกรณีการศึกษา แต่ถ้า σ มีค่าต่ำวิธี KNN จะดีเมื่อกรณีตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันสูงและร้อยละการสูญหายต่ำ วิธี EM จะประสิทธิภาพสูงเมื่อร้อยละการสูญหายสูงในทุกระดับความสัมพันธ์ วิธี ERI จะประสิทธิภาพสูงเมื่อตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับกลางลงไปเกือบทุกกรณีการศึกษา วิธี CERI จะประสิทธิภาพสูงเมื่อตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบในระดับกลางลงไปและร้อยละการสูญหายต่ำ

คำสำคัญ: การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุ, การสูญหายที่ไม่สามารถเพิกเฉยได้ภายในตัวแปรอิสระ, ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

Abstract

This research was conducted to compare imputation methods for independent variables for multiple linear regression model with correlated-nonignorable-missing independent variables. The methods developed are Expected Regression Imputation method (ERI) and Conditional Expected Regression Imputation method (CERI), which are compared to the K-Nearest Neighbor method (KNN), Expectation Maximization method (EM) and Predictive Mean Matching method (PMM). This research has controlled the variance factor of independent variables, the correlation of independent variables, standard deviations of error (σ), missing proportion of data and Nonignorability Level. By the method that makes the average mean square error as little as possible, it is considered the most effective method. The study found that when σ is high, The KNN method was most effective in all cases studied. But if σ is low, KNN was good when variable cases have a high relationship and low missing proportion. The EM method will be high efficiency when the missing proportion is high at all correlation levels. The ERI method was highly effective when variables have a positive correlation in the intermediate or low level in almost all cases studied. The CERI method was high efficiency when variables have a negative correlation in the middle or low to each other and the percentage of loss is low.

Keywords: Multiple Linear Regression, Nonignorable Missing Independent Variables, Correlation Coefficient

บทนำ

เทคนิคการพยากรณ์เป็นเทคนิคหนึ่งที่ยิมนำมาใช้ในงานวิจัยในหลายๆสาขาไม่ว่าจะเป็นทางด้านธุรกิจ การแพทย์ ชีววิทยา วิศวกรรม จิตวิทยา เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น เนื่องจากชุดข้อมูลในปัจจุบันมีความยุ่งยากและซับซ้อนขึ้นมาก โดยปัญหาหลักที่พบในชุดข้อมูลคือ ข้อมูลสูญหาย (Missing Data) ซึ่งมีสาเหตุมาจากหลายกรณี เช่น การดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลเกิดข้อผิดพลาดหรือบางคำถามผู้ตอบแบบสอบถามเลือกจะหลีกเลี่ยงการให้คำตอบ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมนำมาใช้พยากรณ์ ซึ่งจะเป็นการสร้างสมการตัวแปรที่ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปและตัวแปรตาม (Dependent Variable) เพียงตัวเดียว โดยตัวแปรอิสระและตัวแปรตามจะมีความสัมพันธ์กันในรูปแบบเชิงเส้น ดังนั้นถ้าเกิดการสูญหายของข้อมูล ย่อมส่งผลให้เกิดปัญหาในการวิเคราะห์ โดยวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีการที่ง่ายและคนทั่วไปมักนิยมใช้กันคือการตัดแถวที่มีการสูญหายของมีข้อมูลทิ้งไป แต่วิธีการนี้จะทำให้สูญเสียข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ต่อประกอบกับที่เป็นไปได้ว่าข้อมูลที่เหลืออาจไม่สามารถเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดได้ นำไปสู่การที่ทำให้ได้ข้อสรุปที่ผิดพลาด

มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการประมาณค่าสูญหายในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ แต่ส่วนใหญ่จะศึกษาในกรณีที่ข้อมูลเกิดการสูญหายอย่างสุ่ม เช่น งานวิจัยของ จริญญา แสงสุวรรณ [1] ที่ทำการศึกษเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหายในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยทำการศึกษาและเปรียบเทียบ 4 วิธีการได้แก่ วิธี Loss Imputation (Loss), วิธี Mean Imputation (Mean), วิธี Regression Imputation (RI) และวิธี Multiple Imputation (MI) มีการกำหนดขนาดตัวอย่างเท่ากับ 50, 70, 100 และ 200 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1, 5 และ 15 และร้อยละการสูญหายเท่ากับ 5, 10, 20 และ 30 จากการเปรียบเทียบรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error : RMSE) ผลสรุปการวิจัยพบว่า กรณีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 50 และร้อยละการสูญหายเท่ากับ 5 วิธี MI มีประสิทธิภาพดีที่สุด ส่วนร้อยละการสูญหายเท่ากับ 10, 20 และ 30 พบว่าวิธี RI ประสิทธิภาพดีที่สุด, กรณีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 70 และ 200 ที่ทุกร้อยละการสูญหาย พบว่าวิธี RI ประสิทธิภาพดีที่สุด, กรณีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 ร้อยละการสูญหายเท่ากับ 5, 10 และ 20 พบว่าวิธี RI ประสิทธิภาพดีที่สุด ส่วนร้อยละการสูญหายเท่ากับ 30 พบว่าวิธี MI ประสิทธิภาพดีที่สุด

การสูญหายที่เกิดขึ้นอย่างสุ่มมักไม่พบบ่อยในชีวิตจริง โดยปกติการสูญหายของข้อมูลจะเกิดแบบขึ้นอยู่กับปัจจัยบางอย่างที่อาจจะอยู่ในชุดข้อมูลหรือไม่อยู่ในชุดข้อมูลก็ได้ การสูญหายแบบนี้จัดอยู่ในประเภทการสูญหายที่ไม่ได้เกิดขึ้นอย่างสุ่ม (Not missing at random: NMAR) โดยการสูญหายแบบ Nonignorable ก็จัดอยู่ในประเภทนี้ ซึ่งก็คือการสูญหายที่ไม่สามารถละเลยมองข้ามได้เพราะส่งผลกระทบต่อวิเคราะห์ โดยมงานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหายเมื่อตัวแปรที่มีการสูญหายแบบ Nonignorable คืองานวิจัยของ อุษณีย์ วงศ์อำมาตย์ [3] ที่ศึกษากรณีเกิดการสูญหายขึ้นเฉพาะในตัวแปรตามเท่านั้น และ งานวิจัยของ วริษฐา ภูมิกันต์ [4] ที่ศึกษากรณีการสูญหายเกิดในตัวแปรอิสระ 1 ตัวกับตัวแปรตาม โดยทั้ง 2 งานทำการศึกษา 3 วิธีการได้แก่ วิธี Expectation Maximization (EM), วิธี K-Nearest Neighbor (KNN) และวิธี Predictive Mean Matching (PMM) มีการกำหนด ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 50, 100 และ 200 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10, 30 และ 90 ร้อยละการสูญหายเท่ากับ 10, 20 และ 30 และระดับ Nonignorability 3 ระดับคือ ไม่มี ปานกลาง และสูง จากการเปรียบเทียบค่า AMSE ผลสรุปการวิจัยของงานทั้ง 2 มีความคล้ายคลึงกันคือ กรณีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีขนาด 10 ที่ทุกขนาดตัวอย่างและร้อยละการสูญหาย ถ้าระดับ Nonignorability ไม่มีและปานกลาง พบว่าวิธีการ KNN ประสิทธิภาพดีที่สุด แต่ถ้าระดับ Nonignorability สูง วิธีการ EM ประสิทธิภาพดีที่สุด กรณีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีขนาด 30 และ 90 ในทุกระดับ Nonignorability วิธีการ EM ประสิทธิภาพดีที่สุด

การศึกษาที่ผ่านมายังไม่พบบางงานวิจัยที่ทำการศึกษกรณีที่ข้อมูลที่มีการสูญหายแบบ Nonignorable ที่มีการสูญหายที่ตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาต่อยอดโดยจะทำการศึกษาในกรณีที่ตัวแปรอิสระ 2 ตัวเกิดการสูญหายอย่างมีความสัมพันธ์ นอกจากนี้ยังศึกษาเพิ่มเติมในรูปแบบตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกและลบที่ระดับ สูง, กลาง และต่ำ โดยจะใช้ขอบเขตที่คล้ายคลึงกันกับงานของวริษฐา ภูมิกันต์ [0] เพื่อเปรียบเทียบการใส่ค่าสูญหายในตัวแปรการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีการสูญหายแบบนอนอินออร์เรเบิลที่มีความสัมพันธ์กัน เพื่อให้เกิดความครอบคลุมสำหรับลักษณะการใช้งานจริงและสามารถเลือกใช้วิธีการประมาณค่าสูญหายวิธีการต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ ในงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าสูญหายจำนวน 5 วิธี โดยแบ่งเป็น 3 วิธีที่รู้จักกันทั่วไปคือ วิธี KNN, วิธี EM และ วิธี PMM และ 2 วิธีที่เพิ่มเติมบางปัจจัยเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลที่ได้ทำการศึกษา คือ วิธี Expected Regression Imputation (ERI) และ วิธี Conditional Expected Regression Imputation (CERI) โดยจะทำการจำลองการสูญ

หายข้อมูลเพื่อเลียนแบบลักษณะข้อมูลดังต่อไปนี้ การสูญหายข้อมูลของจำนวนเงินเดือน (หน่วย : บาท) ที่ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการทำงาน (หน่วย : ปี) โดยเงินเดือนจะมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการทำงานคือ ถ้าประสิทธิภาพการทำงานสูงจำนวนเงินเดือนที่ได้รับก็จะสูงตาม โดยจากการตรวจสอบพบว่าการสูญหายของตัวแปรเงินเดือนก็ขึ้นกับประสิทธิภาพการทำงาน คือยิ่งประสิทธิภาพการทำงานน้อยเงินเดือนจะมีโอกาสสูญหายมากกว่าประสิทธิภาพการทำงานมาก หรือจะพูดได้ว่าขนาดของตัวแปรอิสระตัวแรกมีผลต่อการสูญหายต่อตัวแปรอิสระตัวที่สอง

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม R ในการจำลองข้อมูล กำหนดพารามิเตอร์และขอบเขตงานวิจัยให้ คล้ายคลึงกับงานวิจัยของ อุษณีย์ วงศ์อำมาตย์ [0] และ วริษฐา กณิกนันต์ [0] เพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบผลการวิจัย โดยมีวิธีการวิจัยดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จำลองข้อมูลโดยกำหนดขนาดตัวอย่างที่ศึกษา 3 ระดับ คือ 50,100 และ 200 ทำการจำลองข้อมูลของตัวแปรอิสระทั้ง 3

ตัวให้มีรูปแบบและการแจกแจงปกติด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแต่ละกรณีเป็นไปตามที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 2

จำลองข้อมูลความคลาดเคลื่อนของตัวแปรตามที่มีการแจกแจงปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10, 30 และ 90

ขั้นตอนที่ 3

กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย $\beta_0 = 42$ กับ $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 1$ และสร้างข้อมูลตัวแปรตาม Y_i กับตัวแปรอิสระทั้ง 3 ตัวภายใต้ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression Model) ด้วยรูปแบบดังต่อไปนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \epsilon_i \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

เมื่อ n คือ ขนาดตัวอย่างที่ศึกษา

ขั้นตอนที่ 4

แต่ละกรณีศึกษาจะสร้างข้อมูลตัวแปรอิสระที่ทำให้เกิดการสูญหาย ทำการแบ่งตัวแปรอิสระออกเป็น 5 ช่วง ให้แต่ละช่วงมีความน่าจะเป็นในการเกิดเท่ากันอาศัยเปอร์เซ็นต์ไทล์การแจกแจงที่แท้จริง และกำหนดให้แต่ละช่วงที่แบ่งมีร้อยละของการสูญหายแตกต่างกันโดยจะสร้างตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบเบอร์นูลลีด้วยความน่าจะเป็นเฉลี่ยเท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.3 แล้วนำมาจับคู่กับตัวแปรอิสระ ถ้าตัวแปรเบอร์นูลลีที่สร้างเป็น 0 ข้อมูลในตำแหน่งตรงกันจะไม่เกิดการสูญหาย ถ้าเป็น 1 ข้อมูลจะเกิดการสูญหาย

ขั้นตอนที่ 5

ประมาณค่าข้อมูลของตัวแปรอิสระทั้ง 2 ตัวที่เกิดการสูญหายเพื่อแทนที่ข้อมูลที่สูญหายด้วยวิธีการ ทั้ง 5 วิธี

ขั้นตอนที่ 6

นำชุดข้อมูลที่หลังจากเติมข้อมูลสูญหายในทุกวิธีการที่ศึกษาในขั้นตอนที่ 5 ไปสร้างตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบสามัญ (Ordinary Least Squares method: OLS) และหาค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) คำนวณได้ดังสูตร

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y'_i - \hat{Y}_i)^2$$

เมื่อ Y'_i คือ ค่าจริงของข้อมูลตัวแปรตามตัวที่ i
 \hat{Y}_i คือ ค่าประมาณของข้อมูลตัวแปรตามตัวที่ i

ขั้นตอนที่ 7

ทำซ้ำทุกกรณีศึกษาที่เป็นจำนวน 3000 รอบ หาค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Average mean square error: AMSE) คำนวณได้ดังสูตร

$$AMSE = \frac{1}{3000} \sum_{r=1}^{3000} MSE_r$$

เมื่อ MSE_r คือ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองจากการทำซ้ำรอบที่ r

ขั้นตอนที่ 8

จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีการที่ศึกษาด้วย ค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (Relative Efficiency : RE) โดยเลือกวิธี EM เป็นตัวเทียบค่านวนได้ดังสูตร

$$RE = \frac{AMSE_{EM}}{AMSE_{\star}}$$

เมื่อ $AMSE_{EM}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของวิธี EM

$AMSE_{\star}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของ 4 วิธีที่เหลือ

วิธีการประมาณค่าสูญหายที่นำมาเปรียบเทียบ

วิธี K-Nearest Neighbor (KNN)

เป็นวิธีการประมาณค่าสูญหายด้วยการแทนที่ค่าเฉลี่ยของข้อมูลส่วนสมบูรณ์ที่มีความคล้ายกับข้อมูลที่สูญหายมากที่สุดเป็นจำนวน K ค่า ซึ่งเป็นจำนวนคี่ที่มีค่าใกล้เคียงกับรากที่สองของจำนวนข้อมูลที่สมบูรณ์ (อ้างอิง: Josson and Wohlin [6]) โดยพิจารณาความคล้ายจากระยะทางยูคลิด (Euclidean distance) ของแต่ละตัวแปร คำนวนได้ดังสูตร

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{p=1}^3 (X_{ip} - X_{jp})^2 + (Y_i - Y_j)^2} ; i = 1, 2, \dots, m \text{ และ } j = m + 1, \dots, n$$

เมื่อ m คือ จำนวนข้อมูลที่สมบูรณ์

โดยวิธีการ KNN มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 : คำนวน D_{ij} ค่าที่ i สำหรับข้อมูลสูญหายค่าที่ j ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามดังสมการด้านบน

ขั้นตอนที่ 2 : เลือกค่า D_{ij} ที่น้อยที่สุดจำนวน K ตัว พิจารณาแถวที่เลือกและทำการหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่เกิดการสูญหาย

ขั้นตอนที่ 3 : นำค่าเฉลี่ยไปแทนที่ข้อมูลสูญหายค่าที่ j

วิธี Expectation Maximization (EM)

เป็นวิธีการประมาณค่าสูญหายด้วยค่าประมาณภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดของพารามิเตอร์โดยอาศัยกระบวนการทำซ้ำซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นได้ 2 ขั้นตอน คือ E-Step (Expectation Step) เป็นการหาค่าคาดหวังของข้อมูลสูญหายภายใต้เงื่อนไขของชุดข้อมูลที่ไม่สูญหาย เพื่อนำค่านี้ไปเติมข้อมูลสูญหาย ส่วนขั้นตอน M-step (Maximization Step) เป็นขั้นตอนที่ประมาณค่าภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดของพารามิเตอร์ ทำจนกระทั่งได้ตัวพารามิเตอร์ที่คงที่คือตัวประมาณภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (อ้างอิง: Little and Rubin [7])

โดยวิธีการ EM มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 : แบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ไม่มีข้อมูลสูญหายและชุดที่มีข้อมูลสูญหาย รูปแบบดังนี้

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} \tilde{\beta} + \tilde{\epsilon}$$

เมื่อ Y_1 คือ เวกเตอร์ตัวแปรตามจากชุดข้อมูลที่สมบูรณ์ ขนาด $m \times 1$

Y_2 คือ เวกเตอร์ตัวแปรตามจากชุดข้อมูลที่เกิดการสูญหาย ขนาด $(n - m) \times 1$

X_1 คือ เมทริกซ์ตัวแปรอิสระจากชุดข้อมูลที่สมบูรณ์ ขนาด $m \times (p + 1)$

X_2 คือ เมทริกซ์ตัวแปรอิสระจากชุดข้อมูลที่เกิดการสูญหาย ขนาด $(n - m) \times (p + 1)$

$\tilde{\beta}$ คือ เวกเตอร์พารามิเตอร์

$\tilde{\epsilon}$ คือ เวกเตอร์ค่าความคลาดเคลื่อน

ขั้นตอนที่ 2 : ประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธี OLS จากชุดข้อมูลที่สมบูรณ์ เรียกว่า สัมประสิทธิ์การถดถอยเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 3 : เข้าสู่ E-Step รอบที่ 1 นำตัวแบบการถดถอยที่แทน ด้วยสัมประสิทธิ์การถดถอยเริ่มต้น ไปประมาณค่าข้อมูลสูญหายและนำไปแทนที่ที่จะได้ชุดข้อมูลที่สมบูรณ์

ขั้นตอนที่ 4 : เข้าสู่ M-Step รอบที่ 1 นำชุดข้อมูลที่สมบูรณ์ที่ได้จากการทำ E-Step รอบที่ 1 ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธี OLS จะได้ สัมประสิทธิ์การถดถอยรอบที่ 1

ขั้นตอนที่ 5 : นำตัวแบบการถดถอยที่แทนด้วย สัมประสิทธิ์การถดถอยรอบที่ 1 ไปประมาณค่าข้อมูลสูญหายใหม่อีกรอบ โดยจะดำเนินการขั้นตอนที่ 3 และ 4 วนซ้ำเช่นนี้ไปจนกระทั่งได้ค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างสัมประสิทธิ์การถดถอยของทุกค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 จึงจะหยุดดำเนินการซ้ำ แล้วจึงนำตัวแบบการถดถอยตัวแบบสุดท้ายไปประมาณค่าข้อมูลสูญหาย

วิธี Predictive Mean Matching (PMM)

เป็นวิธีการประมาณค่าสูญหายที่อาศัยการรวมของ 2 แนวคิดเข้าด้วยกัน คือ การหาค่าคาดหวังและการแทนที่ มีวิธีการคือการหาค่าคาดหวังของข้อมูลที่สูญหายจากข้อมูลที่ทราบค่าและพารามิเตอร์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน แล้วทำการแทนที่ข้อมูลสูญหายด้วยค่าคาดหวังที่ใกล้เคียงกับค่าคาดหวังที่สูญหายมากที่สุด

โดยวิธีการ PMM มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 : คำนวณ D_{ij} ค่าที่ i สำหรับข้อมูลสูญหายค่าที่ j ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามเหมือนขั้นตอนใน วิธี KNN

ขั้นตอนที่ 2 : เลือกค่า D_{ij} ที่น้อยที่สุดจำนวนเพียง 1 ตัว ซึ่งจะแตกต่างกันวิธี KNN หลังจากนั้นพิจารณาแถวที่เลือกและแทนที่ตัวแปรที่เกิดการสูญหายจะทำให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ชุดที่ 1

ขั้นตอนที่ 3 : นำข้อมูลที่สมบูรณ์ชุดที่ 1 ไปประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธี OLS

ขั้นตอนที่ 4 : นำตัวแบบการถดถอยที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ไปประมาณค่าข้อมูลสูญหายใหม่อีกรอบ จะทำให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ชุดที่ 2 ซึ่งก็คือผลที่ต้องการ

วิธี Expected Regression Imputation (ERI)

วิธีการแรกที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นวิธีการใส่ค่าข้อมูลสูญหายที่พัฒนามาจากการรวมไอเดียของ 2 วิธีการ คือ วิธี Mean กับ วิธี RI

โดยวิธีการ ERI มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 : หาค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่เกิดการสูญหายเฉพาะส่วนข้อมูลที่สมบูรณ์ แล้วนำค่าเฉลี่ยไปเติมข้อมูลที่สูญหายจะทำให้ข้อมูลที่สูญหายทุกค่าของตัวแปรแต่ละตัวมีค่าเดียวกัน ซึ่งในส่วนขั้นตอนนี้คือเหมือนวิธี Mean

ขั้นตอนที่ 2 : นำชุดข้อมูลสมบูรณ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ไปสร้างตัวแบบการถดถอยด้วยวิธี OLS

ขั้นตอนที่ 3 : นำตัวแบบการถดถอยที่ได้ไปประมาณค่าตัวแปรที่สูญหายอีกครั้งซึ่งจะเห็นว่าขั้นตอนที่ 2 และ 3 จะคล้ายกับวิธี RI แต่ในวิธี RI เป็นการสร้างตัวแบบการถดถอยด้วยวิธี OLS จากชุดข้อมูลที่ไม่ได้เกิดการสูญหายโดยไม่ได้ทำการประมาณค่าข้อมูลสูญหายเบื้องต้นมาก่อน

วิธี Conditional Expected Regression Imputation (CERI)

วิธีการสองที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นวิธีการใส่ค่าข้อมูลสูญหายที่พัฒนามาจาก ERI ขึ้นอีกชั้น ไอเดียของวิธีการนี้เกิดจากความเชื่อที่ว่าทุกตัวแปรในชุดข้อมูลต้องมีความสัมพันธ์กันไม่มากก็น้อย เลยทำให้ในเบื้องต้นก่อนจะทำการสร้างตัวแบบที่ใช้ประมาณค่าสูญหายจะเลือกเติมข้อมูลสูญหายด้วย ค่าคาดหวังแบบมีเงื่อนไข (Conditional Expectation) เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ตัวแปรอิสระทุกตัวมีการแจกแจงปกติเลยสามารถคำนวณได้ดังสูตร

$$E(X_i | X_j = x_j) = \mu_{X_i} + \sigma_{X_i} \rho \left(\frac{x_j - \mu_{X_j}}{\sigma_{X_j}} \right)$$

เมื่อ ρ คือ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระตัวที่ i และ j

โดยวิธีการ CERI มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 : หาค่าคาดหวังแบบมีเงื่อนไขของตัวแปรที่เกิดการสูญหายตามดังสมการด้านบนแล้วนำเติมข้อมูลที่สูญหายจะทำให้ข้อมูลที่สูญหายทุกค่าของตัวแปรแต่ละตัวมีค่าที่แตกต่างกัน

ขั้นตอนที่ 2 : นำชุดข้อมูลสมบูรณ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ไปสร้างตัวแบบการถดถอยด้วยวิธี OLS

ขั้นตอนที่ 3 : นำตัวแบบการถดถอยที่ได้ไปประมาณค่าตัวแปรที่สูญหายอีกครั้งจะเห็นว่าขั้นตอนที่ 2 และ 3 จะคล้ายกับวิธี RI เช่นกัน

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแต่ละวิธีการพิจารณาจากค่า AMSE โดยวิธีการที่ให้ค่า AMSE ต่ำสุดจะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และค่า RE จะช่วยให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนมากขึ้น โดยจะอาศัยวิธี EM เป็นหลักในการเปรียบเทียบถ้าวิธีการที่ให้ค่า RE สูงสุดจะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยในงานวิจัยมีกรณีศึกษาดังนี้

1. รูปแบบชุดข้อมูลตัวแปรอิสระ 2 รูปแบบ คือ ความแปรปรวนเท่ากันในตัวแปรอิสระ และความแปรปรวนในตัวแปรอิสระมีขนาดเล็ก กลาง และใหญ่
2. รูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ 2 รูปแบบ คือ ความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกัน และ ความสัมพันธ์เชิงลบต่อกัน
3. ระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ 3 ระดับ คือ สูง, กลาง และ ต่ำ
4. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน 3 ค่า คือ 10, 30 และ 90
5. ขนาดตัวอย่าง 3 ขนาด คือ 50, 100 และ 200
6. ร้อยละการสูญหาย 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30
7. ระดับ Nonignorability 3 ระดับ คือ ไม่มี, ปานกลาง และ สูง

ซึ่งพบว่า รูปแบบชุดข้อมูลตัวแปรอิสระความแปรปรวนเท่ากันในตัวแปรอิสระกับความแปรปรวนในตัวแปรอิสระมีขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ให้ผลลัพธ์ในแตละขนาดตัวอย่างแตกต่างกันบางกรณีการศึกษา โดยเมื่อถ้าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 30 และ 90 แล้วนั้น วิธี KNN จะมีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับทุกกรณีการศึกษา แต่ถ้าหากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10 วิธี KNN จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดในทุกกรณีศึกษาเท่านั้น คือตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกันในระดับสูง ที่ร้อยละการสูญหายต่ำกว่า 30 และขนาดตัวอย่างมากกว่า 100 แต่ถ้าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกันในระดับกลางหรือต่ำวิธีที่พัฒนาขึ้นมาคือ ERI จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดในเมื่อมีร้อยละการสูญหายต่ำกว่า 30 และทุกขนาดตัวอย่าง แต่ถ้าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงลบต่อกันในทุกระดับความสัมพันธ์ วิธีที่พัฒนาขึ้นมาวิธีที่สองคือ CERI จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดในเมื่อมีร้อยละการสูญหายต่ำกว่า 30 และทุกขนาดตัวอย่างเช่นกัน แต่ถ้าร้อยละการสูญหายสูงกว่า 30 วิธี EM จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดในเมื่อระดับ Nonignorability สูงในทุกกรณีการศึกษา

โดยเพิ่มเติมในการนำเสนอผลการวิจัยจะแสดงในรูปแบบของตารางที่แสดงค่า AMSE ของวิธีการทั้ง 5 วิธี และกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้ง 5 วิธีการด้วยค่า RE แต่จะนำเสนอเพียงบางกรณีการศึกษาเท่านั้น

Table 1 Shows the AMSE value of the case of equal variance in the independent variable, the independent variable has a high positive correlation and the standard deviation of the error is 10.

Sample Size	Nonignorability Level	Missing Proportion	AMSE				
			ERI	CERI	KNN	EM	PMM
50	None	10	18.045	17.129	14.722*	18.057	17.228
		20	29.677	28.184	23.684*	29.744	28.208
		30	41.838	40.987	35.413*	42.935	41.143
	Medium	10	27.048	25.423	21.215*	26.939	25.652
		20	44.057	41.952	38.861*	43.331	41.748
		30	60.377	58.497	61.822	58.085	56.321*
	High	10	39.050	35.737	32.933*	36.530	35.388
		20	62.807	59.069	65.612	54.891	54.147*
		30	89.424	86.144	117.622	68.171*	69.842
100	None	10	14.686	14.267	11.046*	14.736	14.330
		20	26.118	25.701	19.487*	26.603	25.794
		30	38.749	38.698	30.551*	39.709	38.736
	Medium	10	23.174	22.057	16.841*	22.802	22.136
		20	40.714	39.480	31.655*	39.856	39.093
		30	58.046	56.551	51.343*	54.950	54.242
	High	10	36.299	33.623	27.553*	33.602	32.973
		20	60.795	56.990	54.723	51.932	51.745*
		30	85.879	82.724	92.765	64.175*	65.666
200	None	10	12.546	12.339	8.645*	12.604	12.375
		20	24.062	23.956	16.609*	24.431	24.030
		30	36.203	36.551	26.612*	37.073	36.578
	Medium	10	21.758	21.145	14.498*	21.477	21.176
		20	39.254	38.187	28.298*	38.129	37.747
		30	54.861	53.710	43.304*	51.795	51.312
	High	10	34.067	31.376	23.186*	31.058	30.737
		20	58.999	55.552	46.834*	49.934	49.941
		30	85.046	81.840	77.766	62.419*	63.558

Remark: * means the lowest AMSE value of each case studied

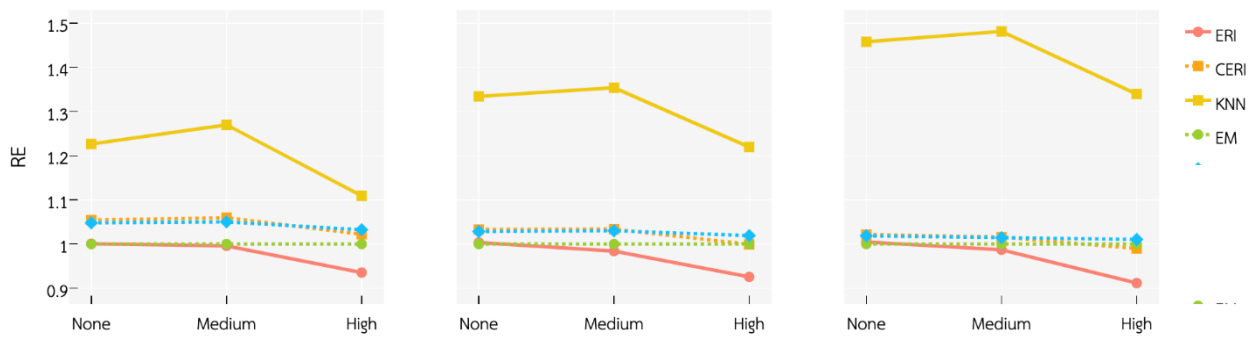


Figure 1 Shows a comparison of the performance of all 5 methods with RE value of equal variance in the independent variable, independent variable has a high positive relationship, standard deviation of the error is 10 and 10% missing proportion, which is shown at sample size 50, 100 and 200 respectively.

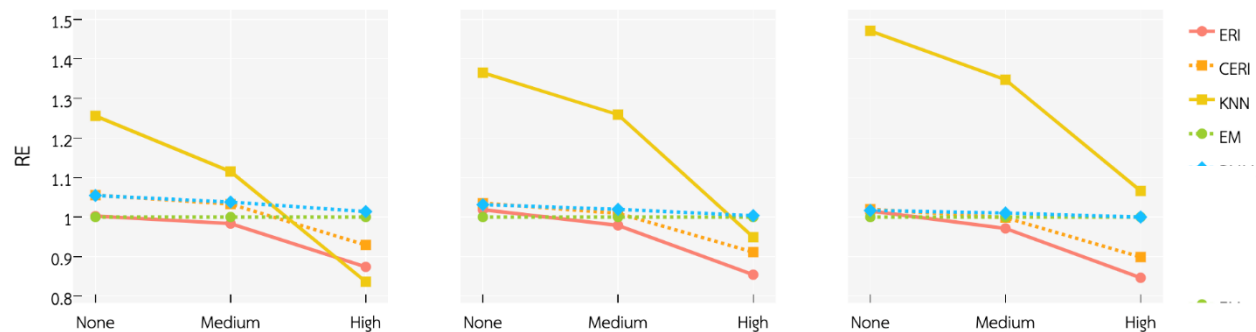


Figure 2 Shows a comparison of the performance of all 5 methods with RE value of equal variance in the independent variable, independent variable has a high positive relationship, standard deviation of the error is 10 and 20% missing proportion, which is shown at sample size 50, 100 and 200 respectively.

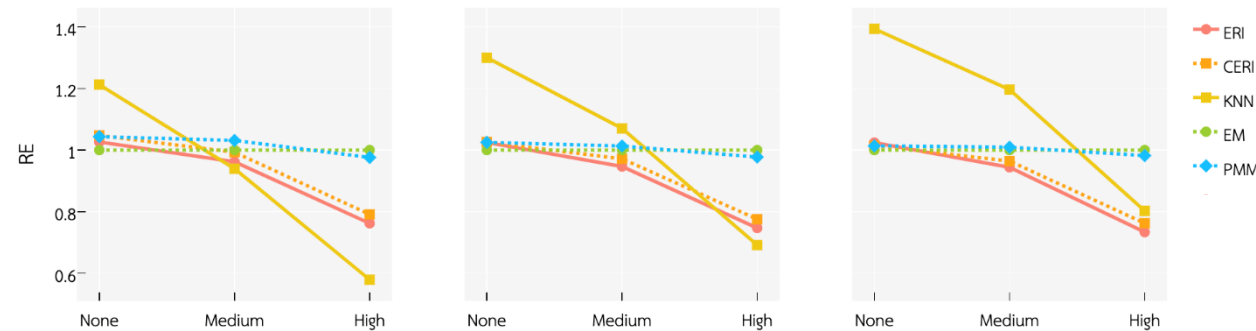


Figure 3 Shows a comparison of the performance of all 5 methods with RE value of equal variance in the independent variable, independent variable has a high positive relationship, standard deviation of the error is 10 and 30% missing proportion, which is shown at sample size 50, 100 and 200 respectively.

สรุปผลการวิจัย

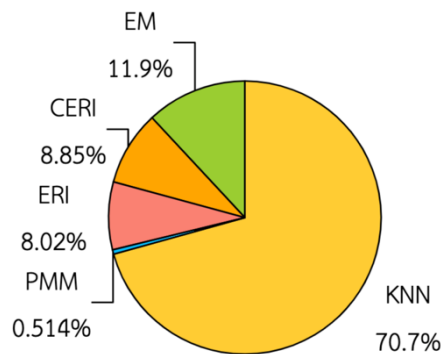


Figure 4 Shows the number of each method studied that provides the lowest AMSE from a total of 972 case studies.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการประมาณค่าสูญหายทั้ง 5 วิธีการ โดยแต่ละวิธีการจะมีขั้นตอนในการประมาณค่าที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพของแต่ละวิธีการมีความแตกต่างกันด้วย ทั้งนี้ประสิทธิภาพของแต่ละวิธีการขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านโดยเฉพาะลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยขอบเขตที่ใช้ในการจำลองข้อมูลจากการวิจัยครั้งนี้มีกรณีศึกษาอยู่ทั้งหมด 972 กรณี โดยที่วิธี KNN ให้ค่า AMSE น้อยที่สุดถึง 687 กรณี (คิดเป็น 70.7%) ซึ่งเป็นกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายตัวสูงในทุกกรณีที่ศึกษาหรือถ้ามีการกระจายตัวต่ำประสิทธิภาพดีเมื่อตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกันในระดับสูง รองลงมาคือวิธี EM ให้ค่า AMSE น้อยที่สุดถึง 116 กรณี (คิดเป็น 11.9%) ซึ่งเป็นกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายตัวต่ำ ร้อยละการสูญหายสูงและความสัมพันธ์ของการสูญหายระหว่างตัวแปรสูง (ระดับ Nonignorability สูง) ต่อมาคือ วิธี CERI ให้ค่า AMSE น้อยที่สุดเป็นจำนวน 86 กรณี (คิดเป็น 8.85%) ซึ่งเป็นกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายตัวต่ำ ตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงลบต่อกันในทุกระดับ ร้อยละการสูญหายต่ำ และขนาดของข้อมูลเล็ก ต่อมาคือ วิธี ERI ให้ค่า AMSE น้อยที่สุดเป็นจำนวน 78 กรณี (คิดเป็น 8.02%) ซึ่งเป็นกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายตัวต่ำ ตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกันในระดับกลางลงไปและร้อยละการสูญหายต่ำ สุดท้ายคือวิธี PMM ให้ค่า AMSE น้อยที่สุดเพียง 5 กรณี (คิดเป็น 0.514%) จากการตรวจสอบพบว่า ค่าเฉลี่ยผลต่างค่า AMSE ทั้ง 5 กรณีนี้ของวิธี KNN และ PMM มีเพียง 0.032 หรือกล่าวคือผลลัพธ์ของทั้ง 2 วิธีการไม่ได้แตกต่างกันมาก สาเหตุอาจจะมาจากการประมาณค่าของทั้ง 2 วิธีการมีความคล้ายคลึงกันมาก

การเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัย อุษณีย์ วงศ์อำมาตย์ [3] และ วิชากรากนิกันต์ [4] คือ วิธี EM จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อข้อมูลมีการกระจายตัวต่ำ (ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 10) ร้อยละการสูญหาย 30 และ ระดับ Nonignorability สูง วิธี KNN จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อข้อมูลมีการกระจายตัวสูง (ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 30 และ 90) ร้อยละการสูญหาย 10 ในทุกระดับ Nonignorability ในทุกกรณีที่ศึกษา ข้อแตกต่างก็คือ งานวิจัยทั้ง 2 ข้างต้นไม่ได้มีการตรวจสอบปัจจัยความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ ไม่มีวิธีการประมาณค่าสูญหายวิธี ERI กับ วิธี CERI และไม่มีกรณีศึกษาที่วิธี PMM จะมีประสิทธิภาพสูงสุดสาเหตุก็อาจจะมาจากงานทั้ง 3 ไม่ได้มีหลักการประมาณค่าสูญหายในวิธี PMM ที่คล้ายคลึงกันมากเท่าไร

แนวทางในการนำวิธีการประมาณค่าสูญหายจากงานวิจัยไปประยุกต์ใช้หากเกิดปัญหาข้อมูลสูญหาย จำเป็นต้องทำการตัดสินใจดำเนินการระหว่างการพิจารณาเลือกใช้เฉพาะข้อมูลส่วนสมบูรณ์หรือเลือกแทนที่ข้อมูลสูญหายด้วยวิธีการต่างๆ มีขั้นตอนดังนี้ ลำดับแรกพิจารณาจากลักษณะการสูญหายว่าเกิดขึ้นอย่างสุ่มหรือไม่ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม ข้อมูลชุดสมบูรณ์และข้อมูลชุดที่สูญหาย แล้วทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม ถ้าพบว่าข้อมูลไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกันแสดงว่าลักษณะการสูญหายเป็นแบบสุ่ม แต่ถ้าเกิดข้อมูลมีนัยสำคัญทางสถิติกันแสดงว่าอาจจะเกิดการสูญหายแบบ Nonignorable จึงควรทำการทดสอบต่อด้วยการเขียนกราฟเพื่อหาแนวโน้มการกระจายของข้อมูลแล้วพิจารณาลักษณะของการสูญหายของตัวแปรมีความสัมพันธ์กับตัวมันเองหรือไม่ หากมีความสัมพันธ์แสดงว่าเป็นการสูญหายแบบ Nonignorable ลำดับต่อมา ควรทำการตรวจสอบ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความคลาดเคลื่อนมาขนาดไหนรูปแบบและระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับร้อยละของการสูญหายของข้อมูล เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกวิธีการ

ประมาณค่าสูญหายที่เหมาะสม โดยงานวิจัยนี้ขอแนะนำวิธีการประมาณค่าสูญหายที่คิดว่าเหมาะสมในกรณีต่าง ๆ ที่อ้างอิงจากผลการวิจัย อย่างไรก็ตามวิธีที่แนะนำก็อาจจะไม่ได้ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเสมอไปแต่ก็สามารถใช้อ้างอิงเพื่อประกอบการตัดสินใจต่อไป

Table 2 Shows imputation methods that the research has recommended in various cases.

Distribution of Data	Type of Correlation	Correlation Level	Missing Proportion of Data		
			10	20	30
Low	Positive	High	KNN	KNN	EM
		Medium	ERI	ERI	EM
		Low	ERI	ERI	EM
	Negative	High	CERI	CERI	EM
		Medium	CERI	CERI	EM
		Low	CERI	CERI	EM
High	Positive	High	KNN	KNN	KNN
		Medium	KNN	KNN	KNN
		Low	KNN	KNN	KNN
	Negative	High	KNN	KNN	KNN
		Medium	KNN	KNN	KNN
		Low	KNN	KNN	KNN

ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารณีเฉพาะบางกรณีเท่านั้นซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ปัญหาที่พบอาจจะอยู่นอกเหนือจากขอบเขตและข้อสรุปของงานวิจัยนี้ เช่น ในการศึกษาที่เป็นข้อมูลภาคตัดขวาง (Cross Section Data) ซึ่งตัวแปรทุกตัวเป็นข้อมูลเชิงปริมาณเท่านั้น ในแต่ละกรณีที่ศึกษาความน่าจะเป็นในการสูญหายของตัวแปรทั้ง 2 ยังมีขนาดเท่ากันและการสูญหายของข้อมูลยังเกิดขึ้นที่ตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันเท่านั้น ควรศึกษาเพิ่มเติมในกรณีที่ข้อมูลเป็นอนุกรมเวลา (Time Series Data) และการสูญหายของชุดข้อมูลที่มีทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและข้อมูลเชิงปริมาณที่มีความสัมพันธ์กันด้วย เพื่อศึกษาว่าการเปลี่ยนแปลงของเวลาจะส่งผลกระทบต่อค่าสูญหายและวิธีการประมาณค่าสูญหายหรือไม่ ส่วนวิธีการที่ใช้ในการประมาณค่าสูญหายอาจมีการปรับเปลี่ยน ตามความเหมาะสมของชุดข้อมูลที่ได้ทำการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] จริยา แสงสุวรรณ 2551. การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหายในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: 98 หน้า
- [2] รุติกานต์ จอมประพันธ์ และวัชรินทร์ ศิริพานิช. 2558. การประมาณค่าสูญหายในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ. NIDA Development Journal, 55(1), 183-202.
- [3] อุษณีย์ วงศ์อำมาตย์. 2555. การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิลในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุ. วิทยานิพนธ์ปริญญา สถิติศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ: 104 หน้า.
- [4] วริษฐา กณิกนันต์. 2556. การเปรียบเทียบวิธีการประมาณสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุเมื่อตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีการสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิล. ใน: การประชุมมหาดใหญ่วิชาการครั้งที่ 4 10 พฤษภาคม 2556. มหาวิทยาลัยมหาดใหญ่ สงขลา หน้า 43-49
- [5] สุปรียา สระโสม และธิดาเดียว มยุรีสุวรรณ. 2562. การเปรียบเทียบวิธีการเติมข้อมูลสูญหายในตัวแปรตามที่เกิดการสูญหายแบบสุ่ม สำหรับการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ. KCU Science Journal, 47(4), 737-748.
- [6] P. Jonsson and C. Wohlin. 2006 Benchmarking k-nearest neighbor Imputation with Homogeneous likert data. Empirical Software Engineering 11, 3(2006): 463-489.
- [7] Little, R. J., & Rubin, D. B. 2019. *Statistical analysis with missing data* (Vol. 793). John Wiley & Sons.

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง Seed Morphology Characteristics of Local Upland Rice

หัตถชัย คำบุญมา¹ อนุภาพ นิยมแก้ว¹ วาสนา อยู่เปี่ยม¹ ภัทรวดี ไหมจุน¹ โสภิษา พรหมมณี¹ ธิรายุทธ์ วิจิตรภาพ¹
ร่วมจิตร นกเขา¹ นรารอร สว่างวงศ์² และ ศศิคารา เจริญศิริ^{2*}

Hattachai Cumbunma¹, Anupap Niyomkaew¹, Watsana Youpiam¹, Pattarawadee Maichun¹, Sopicha Prommanee¹,
Thirayut Wijitpap¹, Raumjit Nokkoul¹, Naraon Sawangwong² and Sasidara Charoensiri^{2*}

¹ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ชุมพร

²สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ชุมพร

¹Department of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon

²King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon

*Corresponding author: Hattachai Cumbunma, e-mail address: kcsasidara@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง 37 พันธุ์จากงานมหกรรมข้าวไร่ 4 ภาค ผลการศึกษาพบว่า เมล็ดข้าวเปลือกมีสีฟาง สีฟางกระน้ำตาล สีฟางแถบน้ำตาล สีฟางกระม่วง สีฟางแถบม่วง และสีน้ำตาล มีความกว้างเฉลี่ย 2.08-3.76 มิลลิเมตร มีความยาวเฉลี่ย 6.02-11.17 มิลลิเมตร และมีความหนาเฉลี่ย 1.75-2.41 มิลลิเมตร กลีบรวงดอกของเมล็ดข้าวไร่จำแนกได้ 3 ลักษณะ คือ พันธุ์ที่มีกลีบรวงดอกสั้นมี 5 พันธุ์ พันธุ์ที่มีกลีบรวงดอกปานกลางมี 2 พันธุ์ และพันธุ์ที่มีกลีบรวงดอกยาวมี 30 พันธุ์ ทั้ง 3 ลักษณะมีความยาวเฉลี่ย 1.73-4.37 มิลลิเมตร ขณะที่เมล็ดข้าวกล้องมีสีขาว สีขาวขุ่น สีน้ำตาล สีน้ำตาลต่าง สีน้ำตาลอ่อน สีม่วง และสีม่วงดำ เมล็ดมีความกว้างเฉลี่ย 1.79-3.21 มิลลิเมตร มีความยาวเฉลี่ย 4.34-8.11 มิลลิเมตร และมีความหนาอยู่ระหว่าง 1.54-2.56 มิลลิเมตร เมล็ดส่วนใหญ่มีรูปร่างปานกลาง

คำสำคัญ: สัณฐานวิทยา ข้าวไร่พื้นเมือง

Abstract

The objective of this research was to study the morphological characteristics of 37 varieties local upland rice, which were collected from the Upland Rice 4 Regions Fair. The study found that the paddy grains are straw colored, straw with brown spots, straw with brown stripes, straw with purple spots, straw with purple stripes and brown, with an average width of 2.08-3.76 millimeters, an average length of 6.02-11.17 millimeters, and an average thickness of 1.75-2.41 millimeters. There are 3 types of sterile lemmas of the upland rice seeds: 5 varieties with short sterile lemmas, 2 varieties with medium sterile lemmas, and 30 varieties with long sterile lemmas. All of 3 characteristics have an average length of 1.73-4.37 millimeters. On the other hand, the colors of brown rice grains are white, opaque white, brown, speckled brown, tawny, purple and purple-black. The seeds have an average width of 1.79-3.21 millimeters. The average length is 4.34-8.11 millimeters and the thickness is between 1.54-2.56 millimeters. Most of the shape of seeds are medium.

Keywords: morphology characteristics, local upland rice

1. บทนำ

ข้าวไร่เป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้า (Annual grass) จัดอยู่ในสกุลออไรซา (Genus *Oryza*) วงศ์เกรมินี (Family Gramineae) เจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อน (Tropical zone) และเขตอบอุ่น (Temperate zone) พันธุ์ข้าวไร่ที่มนุษย์นิยมปลูกไว้เพื่อบริโภคมี 2 กลุ่ม ส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มออไรซาซาไทวา (*O. sativa* Linn.) และออไรซา กลาเบอร์ริมา (*O. glaberrima* Strud) ส่วนใหญ่มีโครโมโซม 2 ชุดแบบดิพลอยด์ (Diploid : $2n=24$) และมี โครโมโซม 4 ชุดแบบเทตราพลอยด์ (Tetraploid : $2n=48$) ข้าวที่นิยมปลูกในทวีปเอเชีย เป็นชนิด ออไรซาซาไทวา ส่วนออไรซา กลาเบอร์ริมา เป็นข้าวที่ปลูกเฉพาะเขตร้อนในทวีปแอฟริกา [1] ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวเปลือกข้าวไร่ สามารถจำแนกของแต่ละส่วนโดยใช้วิธีการของ Naivikul [2] ประกอบด้วย แกลบ ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palea) ขั้วเมล็ด (rachilla) ขนหาง และ กลีบรองดอก (sterile lemmas) ซึ่งเชื่อมต่อกับก้าน (pedicel) โดยมีการจำแนกตามขนาดความยาวของเมล็ดข้าว (grain size) วัดจากขนาดความยาวของเมล็ดข้าว กว้าง เปรียบเทียบตามมาตรฐานของ IRRI [3] แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ ข้าวเมล็ดสั้น (short grain) ยาวน้อยกว่า 5.5 มิลลิเมตร ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง (medium-long grain) ยาว 5.51-6.6 มิลลิเมตร ข้าวเมล็ดยาว (long grain) ยาว 6.6-7.5 มิลลิเมตร และข้าวเมล็ดยาวมาก (extra-long grain) ยาวมากกว่า 7.5 มิลลิเมตร ในการวัดสัดส่วนความยาวต่อความกว้าง และรูปร่างเมล็ดข้าวกล้องเป็นลักษณะประจำแต่ละพันธุ์ เพื่อจำแนกพันธุ์ข้าว และใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการซื้อขายข้าวของไทย โดยวัดขนาดเป็นความยาว (วัดระยะจากปลายยอดสุดของเมล็ดถึงโคนเมล็ด) วัดรูปร่างจากสัดส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (วัดระยะที่กว้างที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ถึงเปลือกเล็ก) และการวัดความหนาของเมล็ด (วัดระยะที่มากที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง) [2] สำหรับรูปร่างของเมล็ดข้าวกล้อง จำแนกได้จากสัดส่วน ความยาวต่อความกว้างของเมล็ด เปรียบเทียบตามมาตรฐานของ IRRI [3] เป็น 4 ระดับ ดังนี้ เรียว (slender) ปานกลาง (medium) บอมน (bold) และกลม (round) มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง มากกว่า 3.0 2.1-3.0 1.1-2.0 และน้อยกว่า 1.1 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ข้าวไร่แต่ละพันธุ์มีลักษณะที่แตกต่างกัน เนื่องจากข้าวไร่มีวิวัฒนาการมาจากข้าวป่าปีเดียว และข้าวป่าข้ามปี จึงมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง ทั้งขนาดเมล็ด สีเมล็ด มีหางสั้นหรือยาวหรือไม่มีหางขึ้นอยู่กับลักษณะของพันธุ์ [4],[5] ส่วนน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ความยาว ความกว้าง และความหนาของเมล็ดข้าวเปลือก ความยาว ความกว้าง และความหนาของเมล็ดข้าวกล้อง ผันแปรไปตามลักษณะทางพันธุกรรม และสภาพแวดล้อม [6] ซึ่งขนาดเมล็ดเป็นลักษณะที่ได้จากต้นแม่ ปริมาณธาตุอาหารและความชื้นในดินขณะที่เมล็ดพันธุ์พัฒนาจึงมีอิทธิพลต่อขนาดของเมล็ด [7] ส่วนใหญ่สีเปลือกเมล็ด สีปลายยอดเมล็ด และสีของกลีบรองดอก มีความหลากหลายมากที่สุด ส่วนรูปร่างเมล็ดมีความหลากหลายน้อยสุด สภาพแวดล้อม [8] สีเปลือกของเมล็ดข้าวมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง ส่วนรูปร่างเมล็ดมีความหลากหลายทางพันธุกรรมน้อย จึงทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่มีลักษณะภายนอกของเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกันออกไป [7]-[10] ซึ่งลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นลักษณะเด่น ที่ช่วยให้เกษตรกร สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการคัดแยกลักษณะของเมล็ดพันธุ์ เพื่อควบคุมความบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์สำหรับใช้ปลูกในฤดูกาลต่อไป อย่างไรก็ตาม การใช้ลักษณะภายนอกในการจำแนกเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่ไม่ควรใช้ พันธุ์ที่ผ่านการคัดพันธุ์บริสุทธิ์มาแล้ว และผู้ที่จำแนกลักษณะภายนอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่ต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านข้าวไร่มาเป็นอย่างดี [10] การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองจึงเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากบางครั้งข้าวที่เป็นพันธุ์เดียวกันแต่เมื่อมีการย้ายถิ่นที่เพาะปลูกจะมีการเรียกชื่อที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง เพื่อเป็นข้อมูลไว้สำหรับระบุลักษณะประจำพันธุ์

2. วิธีการศึกษา

2.1 ดำเนินการรวบรวมเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองจากงานนิทรรศการข้าวไร่ 4 ภาค ครั้งที่ 1 พ.ศ.2561 และครั้งที่ 2 พ.ศ.2562 ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร มาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

2.2 บันทึกข้อมูล

2.2.1 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกตามมาตรฐานของ IRRI [3] ได้แก่ สีเปลือกหุ้มเมล็ด สีปลายยอดเมล็ด สีกลีบรองดอก การมีขนบนเปลือกเมล็ด การมีหางของเมล็ด ขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาเมล็ดข้าวเปลือก

2.2.2 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวกล้องตามมาตรฐานของ IRRI [3] ได้แก่ สีเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นนอก ขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาของเมล็ดข้าวกล้อง รูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง สัดส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวกล้อง เปรียบเทียบสัดส่วนความยาวต่อความกว้างตามมาตรฐานของ IRRI [3]

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ย พันธุ์ละ 20 เมล็ด หน่วยเป็นมิลลิเมตร ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเมล็ดพันธุ์พืช สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 การดำเนินการรวบรวมเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองจากงานมหกรรมข้าวไร่ 4 ภาค

จากการดำเนินการรวบรวมเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองจากงานมหกรรมข้าวไร่ 4 ภาค ครั้งที่ 1 ปี พ.ศ.2561 และครั้งที่ 2 ปี พ.ศ.2562 ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร พบว่ามีเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง จำนวน 37 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์หอมนางฟ้า (Hom Nang Fah), หอมนิลไร่ (Hom Nil Rai), หอมดอกไม้ (Hom Dok Mai), หอมตง (Hom Dong), เหลืองใหญ่ (Leuang Yai), ย่างกุ้ง (Yhang Kung), ดอญวน (Daw Yuan), ดอน้อย (Daw Noi), เหนียวดำเปลือกขาว (Niawdam Pleuak Khao), เสียนโอน (Sian Own), พญาลิ้มแกง (Phaya Luem Kaeng), ปลาชิวทอง (Plah Sew Thong), กาบดำ (Kap Dam), อีต้าง (E-Dhang), ดอกตู (Dawk Du), จ่านอนะ (Jha Nor Nah), ปัดหิน (Pat Hin), หน่วยเขือ (Nuai khuea), จ่านองี (Cha Nor Ngee), ดุกงุยโสธร (Dook Ngoo Yasothon), จ่านาสีค้อย (Cha Na Si Khoi), จ่านอแต่ไม้ะ (Cha Nor Tae Mo), อสิตะ (Asita), ลิ้มฝัว (Leum Pua), เปาลุง (Pao Lung), ปือพะทอ (Bue Pa Taw), ปือปือชู (Bue-Pi-E-Zoo), ปือเกอชอแม (Bue Ker Chor Mae), ปือกิโม (มิโซ) (Bue Kimo (mizo)), เหลืองกำแมด (Leuang Kam Mad), ป้องแ้ว (Plawng-aew), กำเปลือกขาว (Gum Pleuak Khao), กำกัญญา (Gum Kanya), หมี่ (Mhee), นิมสามเดือน (Nim Sahn Duen), แข็งสี่เดือน (Keng Si Duen) และ พันธุ์เจ้ายำ (Jao Yum)

3.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดข้าวไร่พื้นเมือง 37 พันธุ์

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของข้าวไร่พื้นเมือง 37 พันธุ์ โดยการบันทึกข้อมูลลักษณะ สีเปลือกเมล็ด สีปลายยอดเมล็ด สีกลีบรองดอก สามารถจำแนกลักษณะสีของเปลือกเมล็ดตามมาตรฐานของ IRRI [3] ได้ทั้งหมด 6 ลักษณะ ได้แก่ สีฟาง สีฟางแถบน้ำตาล สีฟางกระน้ำตาล สีฟางกระม่วง สีฟางแถบม่วง สีน้ำตาล สีปลายยอดเมล็ดที่พบ คือ สีเหลือง สีน้ำตาลเข้ม สีม่วง สีเหลืองเข้ม สีน้ำตาล สีฟางและสีดำ สีกลีบรองดอก ที่พบ คือสีเหลืองอ่อน สีเหลือง สีฟาง สีแดง และสีม่วง สีกลีบรองดอก มีความยาวเฉลี่ย 1.73–4.37 มิลลิเมตร สีเยื่อหุ้มเมล็ดที่พบ คือ มีสีขาว สีขาวขุ่น สีน้ำตาล สีน้ำตาลดำ สีน้ำตาลอ่อน สีม่วง และสีม่วงดำ เมล็ดข้าวเปลือกมีความกว้างเฉลี่ย 2.08–3.68 มิลลิเมตร ความยาวเฉลี่ย 6.02–11.17 มิลลิเมตร ความหนาเฉลี่ย 1.75-2.41 มิลลิเมตร เมล็ดข้าวกล้องมีความกว้างเฉลี่ย 1.89–3.21 มิลลิเมตร ความยาวเฉลี่ย 4.34–10.97 ความหนาเฉลี่ย 1.54-2.56 มิลลิเมตร

ขนาดและรูปร่างเมล็ดข้าวกล้องสามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เมล็ดรูปร่างเรียวยาว ได้แก่ พันธุ์หอมนางฟ้า หอมนิลไร่ หอมดอกไม้ หอมตง ดอน้อย เหนียวดำเปลือกขาว จ่านองี ดุกงุยโสธร เปาลุง ปือเกอชอแม เหลืองกำแมด ป้องแ้ว และพันธุ์เจ้ายำ กลุ่มที่ 2 เมล็ดรูปร่างปานกลาง ได้แก่ พันธุ์เหลืองใหญ่ ย่างกุ้ง ดอญวน เสียนโอน พญาลิ้มแกง ปลาชิวทอง กาบดำ อีต้าง ดอกตู จ่านอนะ ปัดหิน จ่านาสีค้อย จ่านอแต่ไม้ะ อสิตะ ลิ้มฝัว ปือพะทอ ปือปือชู ปือกิโม (มิโซ) กำเปลือกขาว กำกัญญา หมี่ และพันธุ์นิมสามเดือน และกลุ่มที่ 3 เมล็ดรูปร่างป้อม ได้แก่ พันธุ์หน่วยเขือ และพันธุ์แข็งสี่เดือน

เมล็ดส่วนใหญ่มีลักษณะรูปร่างเมล็ดปานกลาง และ รองลงมาคือรูปร่างเมล็ดเรียวยาว ยกเว้น พันธุ์หน่วยเขือและพันธุ์แข็งสี่เดือน มีขนาดรูปร่างเมล็ดป้อม (Table 1-2 and Figure 2) ซึ่งสอดคล้องกับ [8] [10] ที่ได้รายงานว่าสีของเปลือกเมล็ดมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง และรูปร่างเมล็ดมีความหลากหลายทางพันธุกรรมน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวผันแปรไปตามลักษณะทางพันธุกรรมสภาพแวดล้อม จึงทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่มีลักษณะภายนอกที่แตกต่างกันไป ดังนั้นลักษณะภายนอกของเมล็ดจึงเป็นลักษณะเด่นที่สำคัญที่เกษตรกรสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการคัดแยกลักษณะ เพื่อควบคุมความบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์

Table 1 The morphology characteristics of rice seeds (paddy grain and pericarp) of 37 local upland rice varieties were collected from Upland Rice 4 Regions Fair.

Varieties	Sterile lemmas length (mm.)	Awning	Hair on lemma	Color			
				Apiculus of lemma and palea at ripening	Sterile lemmas	Lemma and palea	Pericarp
Hom Nang Fah	Long (2.79)	absent	pubescent	Yellow	Light yellow	Straw	White
Hom Nil Rai	Medium (2.54)	absent	pubescent	Dark brown	Yellow	Brown	Speckled brown
Hom Dok Mai	Long (3.60)	absent	glabrous	Brown	Yellow	Brown furrow on straw	Purple
Hom Dong	Long (2.83)	absent	pubescent	purple	Yellow	Straw	White
Leuang Yai	Long (3.06)	absent	glabrous	yellow	Yellow	Straw	White
Yhang Kung	Long (2.78)	absent	pubescent	Dark yellow	Yellow	Straw	White
Daw Yuan	Long (2.82)	absent	pubescent	Purple	Yellow	Purple Spot on straw	Opaque
Daw Noi	Medium (2.20)	absent	pubescent	Straw	Yellow	Brown furrow on straw	Opaque
Niawdam Pleuak Khao	Long (2.94)	Partly owned	pubescent	Purple	Yellow	Purple furrow on straw	Purple
Sian Own	Long (2.56)	absent	pubescent	brown	Yellow	Straw	White
Phaya Luem Kaeng	Long (3.55)	absent	pubescent	Purple	Yellow	Purple furrow on straw	Opaque
Plah Sew Thong	Long (3.37)	absent	pubescent	brown	Yellow	Brown spot on straw	Opaque

Table 1 The morphology characteristics of rice seeds (paddy grain and pericarp) of 37 local upland rice varieties were collected from Upland Rice 4 Regions Fair (continued).

Varieties	Sterile lemmas length (mm.)	Awning	Hair on lemma	Color			
				Apiculus of lemma and palea at ripening	Flower petals	Paddy grain	Pericarp
Kap Dam	Short (2.20)	absent	pubescent	brown	Yellow	Straw	Opaque
E-Dhang	Long (3.62)	absent	pubescent	brown	Straw	Straw	Opaque
Dawk Du	Long (3.00)	absent	pubescent	Yellow	Straw	Straw	Opaque
Jha Nor Nah	Long (3.94)	absent	glabrous	Yellow	Straw	Brown furrow on straw	Black purple
Pat Hin	Long (3.92)	Partly owned	pubescent	Purple	Yellow	Purple furrow on straw	Opaque
Nuai Khuea	Short (1.73)	absent	pubescent	Yellow	Yellow	Straw	White
Cha Nor Ngee	Long (3.10)	absent	glabrous	Brown	Red	Brown furrow on straw	Opaque
Dook Ngoo Yasothon	Short (2.34)	absent	pubescent	Straw	Straw	Straw	Opaque
Cha Na Si Khoi	Long (3.16)	absent	glabrous	Purple	Red	Straw	Opaque
Cha Nor Tae Mo	Long (3.37)	absent	glabrous	Brown	Yellow	brown furrow on straw	White
Asita	Long (3.39)	absent	pubescent	Straw	Yellow	Brown furrow on straw	White
Leum Pua	Long (4.37)	absent	glabrous	Straw	Yellow	Brown furrow on straw	Black purple
Pao Lung	Short (2.46)	absent	pubescent	Black	Purple	Purple spot on straw	Black purple
Bue Pa Taw	Long (3.17)	absent	glabrous	Brown	Yellow	Straw	White

Table 1 The morphology characteristics of rice seeds (paddy grain and pericarp) of 37 local upland rice varieties were collected from Upland Rice 4 Regions Fair (continued).

Varieties	Sterile lemmas length (mm.)	Awning	Hair on lemma	Color			
				Apiculus of lemma and palea at ripening	Flower petals	Paddy grain	Pericarp
Bue-Pi-E-Zoo	Long (4.05)	absent	glabrous	Straw	Straw	brown furrow on straw	White
Bue Ker Chor Mae	Long (3.50)	absent	glabrous	Straw	Straw	brown furrow on straw	Speckled brown
Bue Kimo (mizo)	Long (3.35)	Partly owned	glabrous	Red brown	Red	Straw	White
Leuang Kam Mad	Long (3.26)	absent	pubescent	Straw	Yellow	Brown spot on straw	tawny
Plawng-aew	Long (3.37)	absent	pubescent	Straw	straw	straw	opaque
Gum Pleuak Khao	Long (2.88)	absent	pubescent	Straw	Straw	Brown furrow on straw	Purple
Gum Kanya	Long (2.88)	absent	pubescent	Brown	Purple	Brown furrow on straw	Brown
Mhee	Long (3.24)	Partly owned	pubescent	Purple	Yellow	Straw	White
Nim Sahm Duen	Long (2.60)	absent	pubescent	Straw	Yellow	Straw	White
Keng Si Duen	Long (2.71)	absent	pubescent	Dark brown	Yellow	Straw	Opaque
Jao Yum	Short (2.20)	absent	pubescent	Brown	Straw	Brown furrow on straw	Brown

Table 2 Characteristics of seed size and shape (paddy grain and pericarp) of 37 local upland rice varieties were collected from the Upland Rice 4 Regions Fair.

varieties	paddy grain			pericarp				shape
	width (mm.)	length (mm.)	thickness (mm.)	width (mm.)	length (mm.)	thickness (mm.)	length/width ratio (mm.)	
Hom Nang Fah	2.73	10.97	2.07	2.34	8.06	1.83	3.44	Slender
Hom Nil Rai	2.35	10.92	1.89	1.89	6.64	1.70	3.51	Slender
Hom Dok Mai	3.20	10.82	2.02	2.60	7.90	1.72	3.04	Slender
Hom Dong	2.76	10.27	2.02	2.40	7.57	1.80	3.15	Slender
Leuang Yai	2.92	9.23	2.02	2.67	6.46	1.83	2.42	Medium
Yhang Kung	2.63	8.46	1.85	2.33	6.07	1.63	2.61	Medium
Daw Yuan	3.26	9.75	2.18	2.68	6.68	1.90	2.49	Medium
Daw Noi	2.27	9.94	1.85	1.92	6.93	1.67	3.61	Slender
Niawdam Pleuak Khao	2.56	9.39	1.75	2.15	6.61	1.54	3.07	Slender
Sian Own	2.61	8.96	1.89	2.27	6.45	1.65	2.84	Medium
Phaya Luem Kaeng	3.60	9.07	2.36	3.02	6.54	2.15	2.16	Medium
Plah Sew Thong	2.89	10.53	2.10	2.52	7.45	1.89	2.96	Medium
Kap Dam	2.55	7.87	1.91	2.26	5.81	1.75	2.57	Medium
E-Dhang	3.32	10.53	2.35	2.72	7.54	2.04	2.77	Medium
Dawk Du	3.76	9.39	2.24	3.12	6.73	2.06	2.16	Medium
Jha Nor Nah	3.47	10.78	2.13	2.74	7.71	1.89	2.81	Medium
Pat Hin	3.66	9.63	2.12	2.70	6.75	1.93	2.5	Medium
Nuai khuea	2.35	6.02	1.79	2.10	4.34	1.62	2.07	Bold
Cha Nor Ngee	3.61	11.01	2.30	2.91	7.86	2.15	2.70	Slender
Dook Ngoo Yasothon	2.38	9.55	1.86	1.99	6.85	1.61	3.44	Slender
Cha Na Si Khoi	2.96	8.84	2.11	2.60	6.61	1.92	2.54	Medium
Cha Nor Tae Mo	3.68	9.39	2.15	3.21	6.70	1.97	2.09	Medium
Asita	3.14	10.63	2.04	2.48	7.24	1.80	2.92	Medium
Leum Pua	3.43	11.17	1.94	2.74	7.89	1.64	2.88	Medium
Pao Lung	2.08	10.50	1.79	1.79	8.11	1.61	4.53	Slender
Bue Pa Taw	3.21	9.40	2.14	2.71	7.06	1.91	2.60	Medium
Bue-Pi-E-Zoo	3.14	10.23	2.18	2.60	7.41	1.86	2.85	Medium
Bue Ker Chor Mae	2.79	11.00	2.18	2.42	7.93	2.08	3.28	Medium

Table 2 Characteristics of seed size and shape (paddy grain and pericarp) of 37 local upland rice varieties were collected from the Upland Rice 4 Regions Fair (continued).

varieties	paddy grain			pericarp				shape
	width (mm.)	length (mm.)	thickness (mm.)	width (mm.)	length (mm.)	thickness (mm.)	Length/width ratio (mm.)	
Bue Kimo (mizo)	3.03	8.64	1.95	2.60	5.74	2.16	2.21	Medium
Leuang Kam Mad	2.54	9.83	1.77	2.17	6.77	1.55	3.12	Slender
Plawng-aew	2.41	9.85	1.87	2.05	6.84	1.66	3.34	Slender
Gum Pleuak Khao	3.09	9.58	1.89	2.36	6.58	1.60	2.79	Medium
Gum Kanya	3.38	8.87	2.10	2.69	5.74	1.91	2.13	Medium
Mhee	3.05	9.23	1.99	2.60	6.68	1.76	2.57	Medium
Nim Sahn Duen	2.94	8.58	1.92	2.62	6.32	1.72	2.41	Medium
Keng Si Duen	3.52	7.68	2.41	3.01	5.57	2.09	1.85	Bold
Jao Yum	2.29	10.24	2.04	2.03	7.79	2.56	3.84	Slender

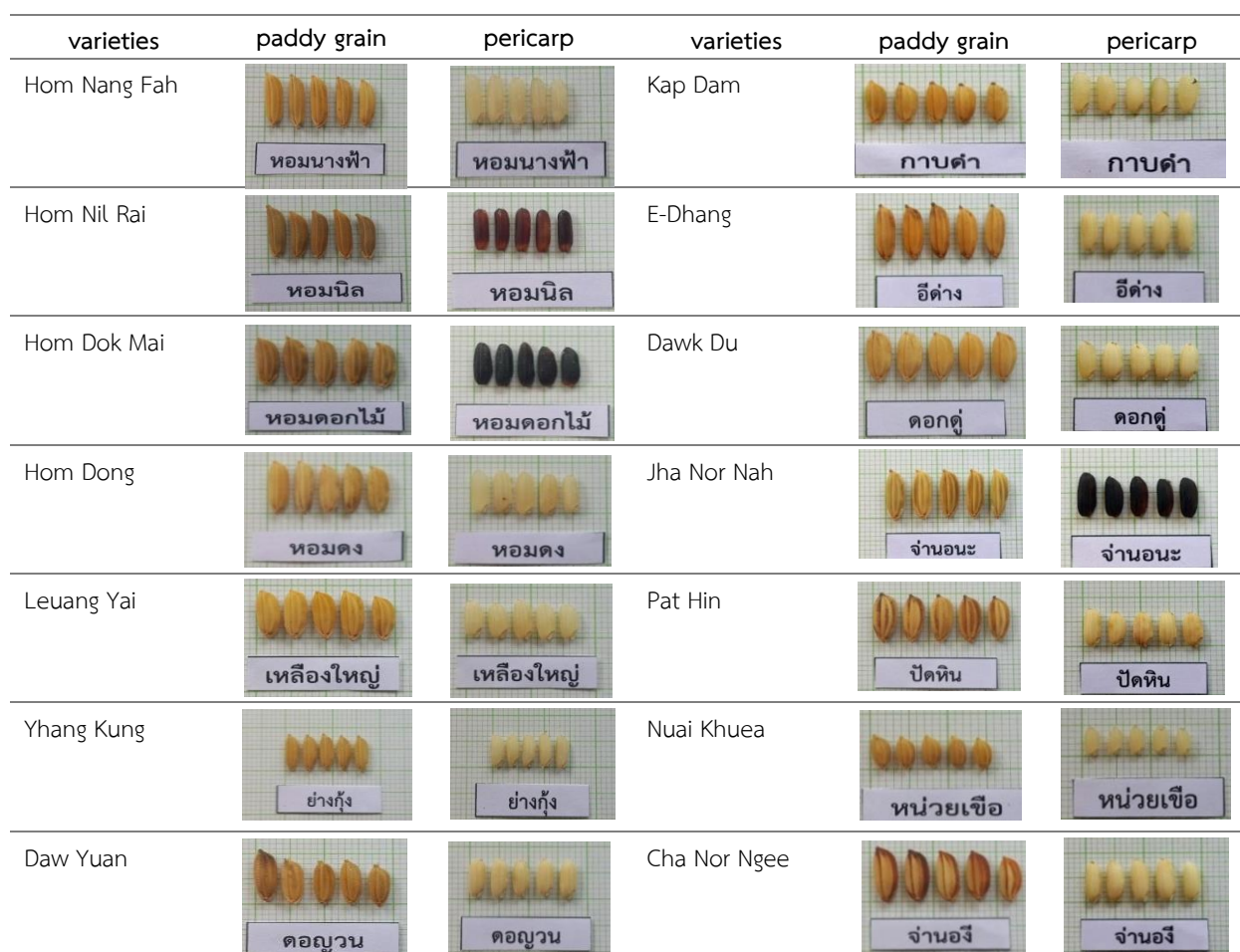


Figure 1 Characteristics of rice seeds (paddy grain and pericarp)

















varieties	paddy grain	pericarp	varieties	paddy grain	pericarp
Daw Noi	 คอน้อย	 คอน้อย	Bue-Pi-E-Zoo	 บือปือชู	 บือปือชู
Niawdam Pleuak Khao	 เหนียวดำเปลือกขาว	 เหนียวดำเปลือกขาว	Bue Ker Chor Mae	 บือเก๋อจอมแม	 บือเก๋อจอมแม
Sian Own	 เสียนโอน	 เสียนโอน	Bue Kimo (mizo)	 บือกิโม(มิโซ)	 บือกิโม(มิโซ)
Phaya Luem Kaeng	 พญาลิ้มแกง	 พญาลิ้มแกง	Leuang Kam Mad	 เหลื่องกำแมด	 เหลื่องกำแมด
Plah Sew Thong	 ปลาชิวทอง	 ปลาชิวทอง	Plawng-aew	 ป็องแอ้ว	 ป็องแอ้ว
Dook Ngoo Yasothon	 ดุกงุยโสธร	 ดุกงุยโสธร	Gum Pleuak Khao	 กำเปลือกขาว	 กำเปลือกขาว
Cha Na Si Khoi	 จ่านาสีค้อย	 จ่านาสีค้อย	Gum Kanya	 กำกัญญา	 กำกัญญา
Cha Nor Tae Mo	 จ่านอแต่ไม้ะ	 จ่านอแต่ไม้ะ	Mhee	 หมี	 หมี
Asita	 อสีตะ	 อสีตะ	Nim Sahn Duen	 นึมสามเดือน	 นึมสามเดือน
Leum Pua	 ลิ้มผัว	 ลิ้มผัว	Keng Si Duen	 แข็งสี่เดือน	 แข็งสี่เดือน
Pao Lung	 เปาลุง	 เปาลุง	Jao Yum	 เจ้าย่า	 เจ้าย่า
Bue Pa Taw	 บือพะทอ	 บือพะทอ			

Figure 1 Characteristics of rice seeds (paddy grain and pericarp) (continued).

4. สรุป

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง 37 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์หอมนางฟ้า หอมนิลไร่ หอมดอกไม้หอมตง เหลืองใหญ่ อย่างกึ่ง ดอญวน ดอน้อย เหนียวดำเปลือกขาว เสี้ยนโอน พญาสิมแกง ปลาชิวทอง กาบดำ อีต้าง ดอกคู่ จ่านอนะ ปัดหิน หน่วยเชื้อ จ่านองี ดูกงโยโสธร จ่านาสีค้อย จ่านอแต่ไม้ะ อสิตะ สิมผัว เปาลุง บือพะทอ บือปือชู บือเก๋อขอแม บือกิโม (มิโซ) เหลืองกำแมต ป่องแอ้ว กำเปลือกขาว กำกัญญา หมี นิมสามเดือน แข็งสีเดือน และ พันธุ์เจ้าย่า สามารถจำแนกลักษณะสีของเปลือกเมล็ดตามมาตรฐานของ IRRI [3] ได้ทั้งหมด 6 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 มีสีเปลือกเมล็ดเป็นสีฟาง จำนวน 17 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์หอมนางฟ้า หอมตง เหลืองใหญ่ อย่างกึ่ง เสี้ยนโอน กาบดำ อีต้าง ดอกคู่ หน่วยเชื้อ ดูกงโยโสธร จ่านาสีค้อย บือพะทอ บือกิโม(มิโซ) ป่องแอ้ว นิมสามเดือน แข็งสีเดือน และพันธุ์หมี กลุ่มที่ 2 มีสีเปลือกเมล็ดเป็นสีฟางแถบน้ำตาล จำนวน 12 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์หอมดอกไม้ ดอน้อย จ่านอนะ จ่านองี จ่านอแต่ไม้ะ อสิตะ สิมผัว บือปือชู บือเก๋อขอแม กำเปลือกขาว กำกัญญา และพันธุ์เจ้าย่า กลุ่มที่ 3 มีสีเปลือกเมล็ดเป็นสีฟางกระน้ำตาล จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ ปลาชิวทอง และพันธุ์เหลืองกำแมต กลุ่มที่ 4 มีสีเปลือกเมล็ดเป็นสีฟางกระม่วง จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ดอญวน และพันธุ์เปาลุง กลุ่มที่ 5 มีสีเปลือกเมล็ดเป็นสีฟางแถบม่วง จำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เหนียวดำเปลือกขาว พญาสิมแกง และพันธุ์ปัดหิน กลุ่มที่ 6 มีสีเปลือกเมล็ดเป็นสีน้ำตาล จำนวน 1 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์หอมนิลไร่ และเมื่อพิจารณารูปร่างของเมล็ดข้าวกล้อง สามารถจำแนกกลุ่มของเมล็ดตามมาตรฐานของ IRRI ได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 เมล็ดรูปร่างเรียวยาว จำนวน 13 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์หอมนางฟ้า หอมนิลไร่ หอมดอกไม้ หอมตง ดอน้อย เหนียวดำเปลือกขาว จ่านองี ดูกงโยโสธร เปาลุง บือเก๋อขอแม เหลืองกำแมต ป่องแอ้ว และพันธุ์เจ้าย่า กลุ่มที่ 2 เมล็ดรูปร่างปานกลาง จำนวน 22 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เหลืองใหญ่ อย่างกึ่ง ดอญวน เสี้ยนโอน พญาสิมแกง ปลาชิวทอง กาบดำ อีต้าง ดอกคู่ จ่านอนะ ปัดหิน จ่านาสีค้อย จ่านอแต่ไม้ะ อสิตะ สิมผัว บือพะทอ บือปือชู บือกิโม (มิโซ) กำเปลือกขาว กำกัญญา หมี และพันธุ์นิมสามเดือน กลุ่มที่ 3 เมล็ดรูปร่างป้อม จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์หน่วยเชื้อ และพันธุ์แข็งสีเดือน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญหงษ์ จงคิด. 2549. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [2] Naivikul, O. 2017. Rice: Science and technology. (4th ed). Kasetsart University, Bangkok.
- [3] IRRI. 2002. Standard Evaluation System for Rice. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
- [4] Arraudeau, M.A. and B.S. Vergara. 1988. A farmer's primer on growing upland rice. International Rice Research Institute and French Institute for Tropical Food Crops Research, Los Baños, Laguna, Philippines.
- [5] Agnoun, Y., Samadori, S. H., Biaou, M., Sié, R. S., Vodouhè and A. Ahanchédé. 2012. The African rice *Oryza glaberrima* Steud: knowledge distribution and prospects. International Journal of Biology. 4:158-179.
- [6] ธีรยุทธ์ วิจิตรภาพ และร่วมจิตร นกเขา. 2559. การจำแนกลักษณะภายนอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่. ใน: การประชุมเมล็ดพันธุ์พืชแห่งชาติ ครั้งที่ 13 21-25 มิถุนายน 2559. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, สุรินทร์. หน้า 360-367.
- [7] นันทิยา พนมจันทร์ และวิจิตรา อมรรวิริยะชัย. 2554. ความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพื้นเมืองบริเวณลุ่มน้ำทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ด. วารสารหาดใหญ่วิชาการ. 9:25-31.
- [8] อรรวรรณ สมใจ จรัสศรี นวลศรี และ ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2553. ความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพื้นเมือง บริเวณลุ่มน้ำนาทวี จังหวัดสงขลา โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดและเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41: 89-97.
- [9] วิชิตา ต๊ะใจ และดำเนิน กาละดี. 2549. การใช้ลักษณะเมล็ดเพื่อแยกพันธุกรรมบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์ ข้าวไร่ก่อนปลูก ที่บ้านอาไย๊ะใหม่ อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 37 : 183-186.
- [10] ร่วมจิตร นกเขา. 2560. การปลูกและการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่ความมั่นคงทางอาหารของชุมชน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.

ผลของการตัดแต่งกิ่งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของโสนกินดอก Effects of Pruning on the Growth and Yield of Sano (*Sesbania javanica* Miq.)

กฤตเมธ วรณิกกร^{1*} ร่วมจิตร นกเขา¹ และ กนกพร บุญญะอดิชาติ¹
Krittamet wannikorn^{1*}, Raumjit Nokkoul¹ and Kanokpon Bunya-atichart¹

¹ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ชุมพร

¹Department of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon

*Corresponding author: Krittamet wannikorn, e-mail address: 65206014@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การตัดแต่งกิ่งเป็นวิธีการควบคุมทรงพุ่มของต้นพืชที่ถูกนำมาใช้เพื่อความสะดวกต่อการเก็บเกี่ยวและเพิ่มผลผลิตของพืชต้นโสนกินดอก (*Sesbania javanica* Miq.) ที่ปลูกเพื่อการค้าได้มาจากการเพาะเมล็ด ทำให้ต้นมีลักษณะสูงชะลูด ลำต้นแตกกิ่งค่อนข้างน้อย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการตัดแต่งกิ่งต้นโสนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของดอกโสน วางแผนการทดลองสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) ประกอบด้วย 4 ทรีทเมนต์ คือ การตัดยอดของกิ่งแขนงให้เหลือ 1 2 และ 4 คู่ตาต่อกิ่ง ทำ 4 ซ้ำ โดย 1 ซ้ำ คือ 6 ต้น บันทึกเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นและทรงพุ่ม ความสูงลำต้น อายุการออกดอกของต้น และน้ำหนักดอกรวมต่อต้น ผลการทดลองพบว่า ต้นโสนที่ได้จากการตัดยอดและแต่งกิ่งแขนงให้เหลือ 1 2 และ 4 คู่ตาต่อกิ่ง มีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น ความสูงและความกว้างทรงพุ่มของต้นไม่แตกต่างจากต้นโสนที่ไม่ตัดยอดและกิ่งแขนง ต้นที่ผ่านการตัดยอดและแต่งกิ่งแขนงให้เหลือตา 1 2 และ 4 คู่ตาต่อกิ่ง และต้นที่ไม่ตัดแต่งมีอายุการให้ดอกของต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีอายุ 15.3 24.0 23.3 และ 29.3 วัน ตามลำดับ ปริมาณน้ำหนักดอกรวมต่อต้นจากต้นโสนที่ไม่ตัดยอดและที่ตัดยอดและกิ่งแขนงไม่แตกต่างกันทางสถิติ

คำสำคัญ: โสน, ผลผลิต, การตัดแต่งกิ่ง, การเติบโตของพืช,

Abstract

Pruning is a practical method of controlling the canopy of plants that are used to facilitate harvesting and increase plant yields. An edible flower species known as *Sesbania javanica* Mig (Sano) has been commercially cultivated; it is grown from seeds. They had a high stem and few branches. Therefore, this research aimed to study the effect of pruning on the growth and yield of *S. javanica*. The study was conducted in a randomized complete block design (RCBD) with four treatments and four replications (six plants for replications) by cutting back the tips of the main branches (all branches) to 1, 2, and 4 bud pairs. The stem diameter, stem height, canopy width, first flowering time, and total yield per tree were recorded. The stem diameter, height, and canopy width of Sano after top pruning at 1, 2, and 4 bud pairs were not different from the unpruned treatment. For the first flowering time, there were non-significant differences in all treatments. The first flowering time of unpruned top pruning at 1, 2, and 4 bud pairs was 15.3, 24.0, 23.3, and 29.3 days after pruning, respectively. There was no difference in total yield per tree between the unpruned treatment and the yield of all pruning treatments.

Keywords: *Sesbania*, yield, pruning, plant growth

1. บทนำ

โสนเป็นพืชที่ใช้ดอกสำหรับการรับประทานมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า (*Sesbania javanica* Miq.) เป็นพืชท้องถิ่นทั่วไปในทวีปเอเชีย ตั้งแต่อินเดีย ไปจนถึงเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ โดยเฉพาะประเทศไทย สามารถพบได้ทุกภูมิภาค สามารถขึ้นเองได้ตามธรรมชาติในพื้นที่ที่มีน้ำขัง [10,18] ดอกโสนมีสารฟลาโวนอยด์ เป็นสารสำคัญ สามารถต้านแบคทีเรีย ไวรัส รักษาการอักเสบ ต้านการแข็งตัวของหลอดเลือด ช่วยแก้ปวด ลดอาการแพ้ ป้องกันความเสียหายต่อตับ ยับยั้งการแบ่งตัวและการทำลายของเซลล์มะเร็ง อีกทั้งยังเกี่ยวข้องกับฮอร์โมนเอสโตรเจนที่พบในพืชหญิง [2] และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ [7] ซึ่งถือว่ามีสรรพคุณทางยาที่หลากหลาย ในการแพทย์แผนไทยโบราณ ใช้เป็นยาแก้ไออักเสบ แผลงัดต่อย ล้างพิษ รักษาฝีในลำไส้ บรรเทาไข้ และแก้กระหายน้ำ [14] โสนชนิดอื่นๆ โสนอัฟริกัน (*S. rostrata*) นิยมใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้เป็นปุ๋ยพืชสด [12] ส่วนโสนอินเดีย (*S. speciosa*), โสนจีนแดง (*S. cannabina*), โสนคางคก (*S. aculeata*), โสนไต้หวัน (*S. sesban*) ซึ่งโสนเหล่านี้นิยมนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น เยื่อไม้ของต้นโสนบางชนิดเป็นเนื้อเยื่อบาง เบา และเหนียว จึงนิยมนำไม้โสนไปใช้ประดิษฐ์เป็นของเล่นเด็ก หรือดอกไม้ประดิษฐ์ พบมากในจังหวัดอยุธยา [13]

การตัดแต่งกิ่ง คือ การควบคุมการเจริญเติบโตของพืชไม่ให้พืชเจริญเติบโตมากเกินไป และช่วยลดความหนาแน่นของต้นพืชภายในแปลงได้ [5,16] โดยการตัดแต่งกิ่งสามารถกระตุ้นกลไกการทำงานในระบบต่างๆของพืช ให้ผลผลิตกิ่งก้านใบ ดอก และผลได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ [16] นอกจากนี้การตัดแต่งกิ่งช่วยให้พืชลดความเครียดต่ออาการขาดน้ำ โดยเฉพาะในต้นกล้าที่ย้ายปลูก [5]

ปัจจุบันมีการปลูกต้นโสนเพื่อการค้าโดยเกษตรกรปลูกกลางแจ้งในสภาพแปลงปล่อยให้มีการเจริญเติบโตตามธรรมชาติ เก็บดอกจำหน่าย จนกระทั่งดอกเริ่มหมดจากต้นจึงตัดต้นที่เหลือครึ่งหนึ่งแล้วปล่อยให้แตกยอดใหม่ [15] นอกจากนี้ยังมีการทดลองผลิตดอกโสนในสภาพโรงเรือนเพื่อศึกษาผลของวัสดุปลูกที่มีต่อการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตดอกโสนในสภาพโรงเรือน พบว่า การผลิตดอกโสนในโรงเรือนมีปัญหาการเจริญเติบโตทางลำต้น คือ ต้นสูง และมีกิ่งยาว ทำให้ลำต้น และกิ่งสูงเกินกว่าระดับความสูงของหลังคาโรงเรือนทำให้ลำต้นและกิ่งเกิดการโค้งงอ จำเป็นต้องโน้มกิ่ง และทำให้ยากต่อการเก็บดอกโสน เนื่องจากดอกโสนจะออกดอกจากบริเวณกิ่งแขนงที่แตกใหม่บริเวณปลายกิ่ง [9] เพื่อการแก้ปัญหาดังกล่าวการตัดแต่งยอด และการตัดแต่งกิ่งให้สั้นลงน่าจะเป็นวิธีการที่ช่วยให้เก็บดอกโสนได้สะดวกขึ้น

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเตรียมต้นโสน

เมล็ดพันธุ์โสนที่ใช้สำหรับการทดลองคือเมล็ดพันธุ์โสนจากบริษัทภูเขาทอง หยอดเมล็ดพันธุ์ลงหลุมปลูก หลุมละ 3-4 เมล็ด เมื่อต้นกล้ามีใบจริง 2 คู่ ถอนต้นกล้าที่เหลือ 1 ต้นต่อหลุม ระยะปลูกระหว่างต้นและระหว่างแถว 2 × 2 เมตร รองกันหลุมด้วยปุ๋ยคอกหลุมละ 500 กรัม

หลังเมล็ดโสนงอก 60 วัน ตัดยอดต้นโสนวัดจากโคนต้น 1 เมตร ตัดกิ่งแขนงต้นโสนที่เหลือ 10 กิ่ง นับจากยอดลงมา และตัดปลายกิ่งแขนงแบ่งเป็น 4 วิธีการได้แก่

วิธีการที่ 1 ไม่ตัดแต่งกิ่ง

วิธีการที่ 2 ตัดยอด และกิ่งแขนงที่เหลือ 1 คู่ต่อกิ่ง

วิธีการที่ 3 ตัดยอด และกิ่งแขนงที่เหลือ 2 คู่ต่อกิ่ง

วิธีการที่ 4 ตัดยอด และกิ่งแขนงที่เหลือ 4 คู่ต่อกิ่ง

วางแผนการทดลองสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) ต้นโสนแต่ละวิธีการจำนวน 4 ซ้ำๆละ 6 ต้น วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

2.2 การดูแลและรักษา

ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 จำนวน 12 กรัมต่อต้น ทุกสัปดาห์ และให้น้ำผ่านสปริงเกอร์วันละ 10 นาที ตลอดระยะเวลาการทดลอง

2.3 การบันทึกผลการทดลอง

2.3.1 การเจริญเติบโตของต้นโสน

- เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร) โดยวัดที่ตำแหน่งลำต้นสูงจากโคนต้นขึ้นมาจากดิน 10 เซนติเมตร ด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier caliper) เริ่มบันทึกข้อมูลหลังตัดแต่งกิ่ง
 - ความสูงต้น (เซนติเมตร) วัดต้นหลักจากโคนต้นเหนือพื้นดินถึงยอดด้วยตลับเมตร (Tape measure) ต้นที่ได้รับการตัดยอดจะแตกยอดใหม่ จึงทำสัญลักษณ์ที่ยอดนั้นและทำการบันทึกความสูงของยอดดังกล่าว
 - เส้นผ่าศูนย์กลางทรงพุ่ม (เซนติเมตร) วัดช่วงที่ทรงพุ่มกว้างที่สุด โดยวัดจากปลายกิ่งด้านหนึ่งไปยังปลายกิ่งฝั่งตรงข้ามด้วยตลับเมตร (Tape measure)
- เริ่มบันทึกข้อมูลหลังตัดแต่งกิ่งทุก 14 วัน และสิ้นสุดการบันทึกหลังตัดแต่งกิ่ง 84 วัน

2.3.2 อายุการให้ดอก

- อายุการให้ดอก (วัน) นับตั้งแต่เริ่มตั้งดอกจนถึงโสนต้นแรกในแปลงออกดอก รวมทั้งบันทึกระยะที่ให้ดอกหลังตัดแต่งกิ่ง

2.3.3 ปริมาณและคุณภาพผลผลิตของดอกโสน

- น้ำหนักรวมดอกโสนต่อต้น (กรัม) บันทึกน้ำหนักดอกโสนรวมทั้งหมดเป็นระยะเวลา 90 วัน
- ความยาวช่อดอกโสน (เซนติเมตร) และ จำนวนดอกต่อช่อ สุ่มวัดช่อดอกทุกเดือนจำนวน 30 ช่อ แบ่งความยาวเป็น 3 ระยะความยาวช่อ ระยะสั้นคือ 10 ช่อที่สั้นที่สุด ระยะยาวคือ 10 ช่อที่ยาวที่สุด และ 10 ช่อที่เหลือคือระยะกลาง
- ความยาว ความกว้าง และความหนา ของดอก (มิลลิเมตร) วัดขนาดดอกย่อยระยะดอกตูมดอกแรกของช่อ (โคนช่อ) โดย ความยาวของดอกวัดตั้งแต่ฐานดอกไปถึงปลายกลีบดอก ความกว้างของดอกวัดความกว้างของดอกตูมในส่วนที่กว้างที่สุด และความหนาของดอกวัดตามความกว้างของฐานดอกตำแหน่งตั้งฉากกับความกว้างของดอก

2.4 สถานที่ทดลอง

แปลงทดลองหลักสูตรเทคโนโลยีการจัดการผลิตพืช ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 การเจริญเติบโตของต้นโสน

จากการทดลองปลูกต้นโสนและทำการตัดยอดไว้กิ่งแขนงให้เหลือ 10 กิ่ง นับจากยอด จากนั้นตัดปลายกิ่งแขนง โดยวิธีการที่ 1 ไม่ตัดแต่งกิ่ง วิธีการที่ 2 ตัดยอด และกิ่งแขนงให้เหลือ 1 คู่ต่อกิ่ง วิธีการที่ 3 ตัดยอด และกิ่งแขนงให้เหลือ 2 คู่ต่อกิ่ง วิธีการที่ 4 ตัดยอด และกิ่งแขนงให้เหลือ 4 คู่ต่อกิ่ง

เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น

ต้นโสนมีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นในทุกวิธีการทดลอง หลังตัดแต่งกิ่งที่อายุ 14 28 42 56 70 และ 84 วัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) โดยทุกวิธีการมีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นอยู่ในช่วง 1.9-4.5 เซนติเมตร (Figure 1) สอดคล้องกับขนาดลำต้นโสนที่ปลูกในโรงเรือนมีขนาด 3.9-4.1 เซนติเมตร [9] จากทั้ง 2 ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าลำต้นหลักของต้นโสนกินดอกขยายขนาดสูงสุดไม่เกิน 5 เซนติเมตร โดยทั่วไปการตัดแต่งยอดหรือกิ่งแขนงของต้นพืชทำให้พืชมีเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นมากกว่าต้นพืชที่ไม่ได้ตัดแต่ง [5] แต่สำหรับต้นโสนมีผลในทางตรงกันข้ามคือต้นที่ได้รับการตัดแต่งยอดและกิ่งแขนงให้สั้นลง กลับมีแนวโน้มทำให้ต้นโสนมีขนาดเล็กกว่าการไม่ตัดแต่ง สอดคล้องกับรายงานของ [1,6] พบว่าการยิ่งตัดแต่งกิ่งโสนอย่างหนักหรือมีความถี่รอบการตัดแต่งกิ่งมากสามารถทำให้การเจริญเติบโตของต้นโสนลดลง

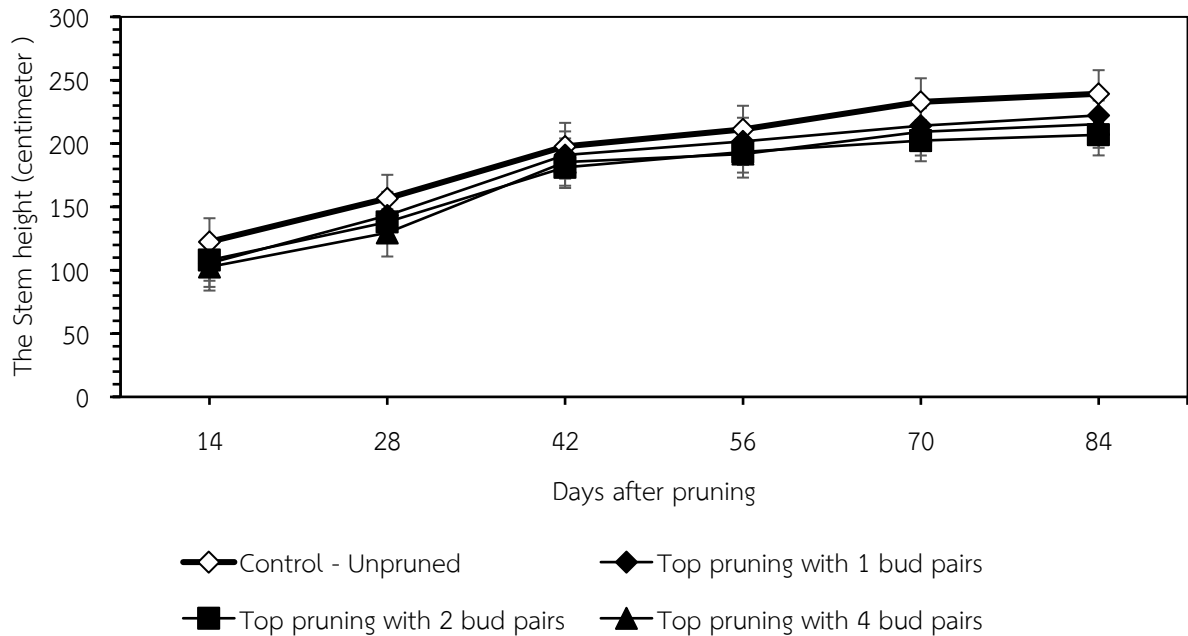
ความสูงต้น

ต้นโสนมีความสูงต้นในทุกวิธีการทดลอง หลังตัดแต่งกิ่งที่อายุ 14 28 42 56 70 และ 84 วัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีความสูงต้นอยู่ในช่วง 102.6-239.3 เซนติเมตร (Figure 2) ซึ่งต่ำกว่าโสนตามธรรมชาติในการศึกษาของ [12,13,14] พบว่าความสูงต้นของต้นโสนตามธรรมชาติที่มีความสูงอยู่ในช่วง 200-400 เซนติเมตร

เส้นผ่าศูนย์กลางทรงพุ่ม

เส้นผ่าศูนย์กลางทรงพุ่มหลังการตัดแต่งกิ่งที่อายุ 14 และ 28 วัน ของต้นที่ไม่ได้ตัดยอดมีเส้นผ่าศูนย์กลางทรงพุ่มมากกว่าต้นที่ตัดแต่ง หลังการตัดแต่งกิ่งที่อายุ 42 56 70 และ 84 วัน เส้นผ่าศูนย์กลางทรงพุ่มต้นโสนทุกวิธีการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ

($P>0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 135.2-197.2 เซนติเมตร (Figure 3) เส้นผ่าศูนย์กลางทรงพุ่มต้นโสนในวิธีการตัดยอดและกิ่งแขนงให้เหลือ 4 คู่ตาต่อกิ่ง มีขนาดใกล้เคียงกับวิธีไม่ตัดแต่งกิ่งมากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ [8] ที่กล่าวว่า การตัดแต่งกิ่งพืชสามารถลดขนาดของต้นพืชได้ชัดเจนแต่ในพืชที่มีอายุมาก เมื่อเวลาผ่านไปต้นที่ได้รับการตัดแต่งสามารถแตกกิ่งแขนงยืดยาวจนขนาด



ใกล้เคียงกับต้นที่ไม่ได้รับการตัดแต่ง

Figure 1 Stems diameter of *S. javanica* Miq. after pruning at 14, 28, 42, 56, 70 and 84 days

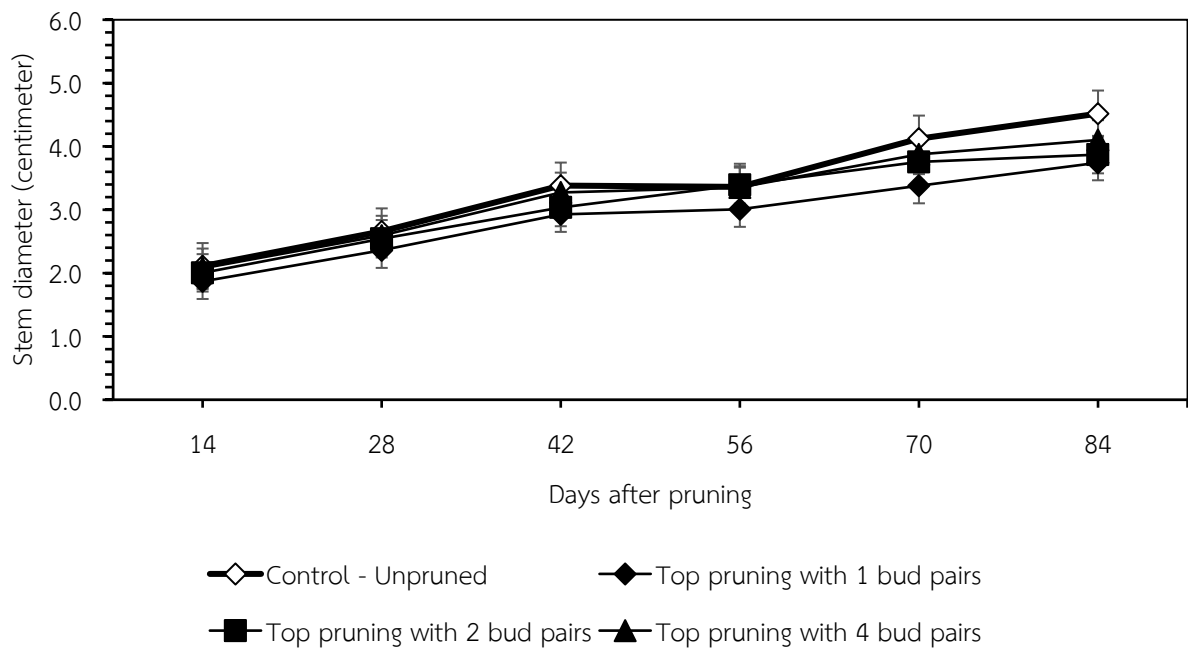


Figure 2 The stems hight of *S. javanica* Miq after pruning at 14, 28, 42, 56, 70 and 84 days

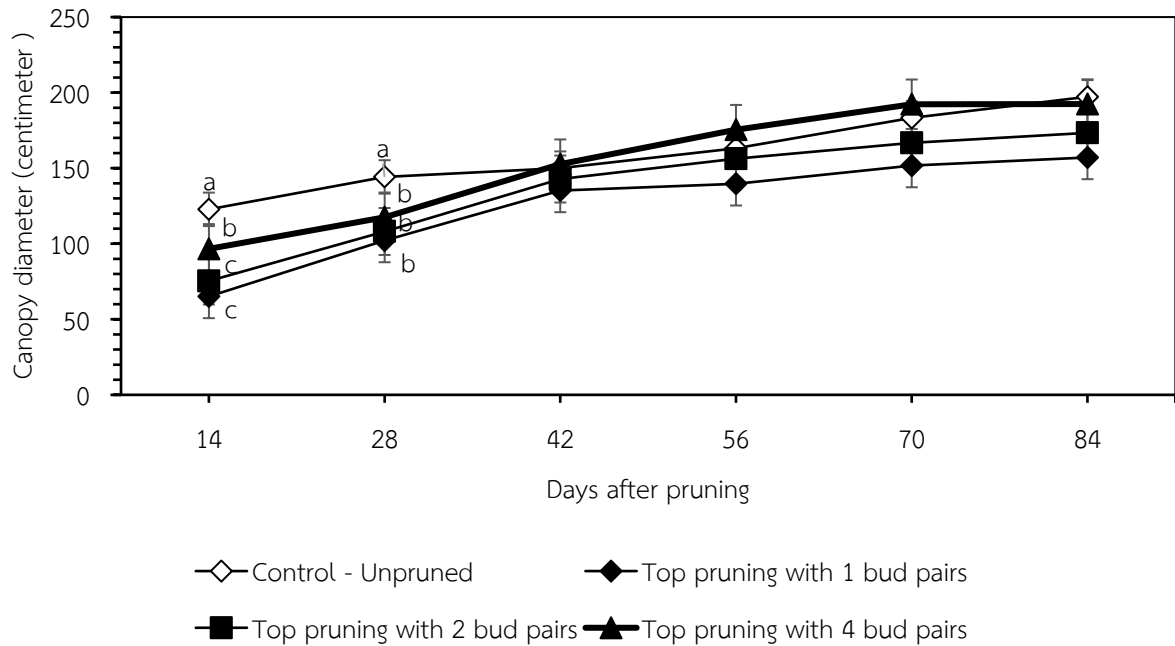


Figure 3 The canopy diameter of *S. javanica* Miq after pruning at 14, 28, 42, 56, 70 and 84 days

3.2 อายุการให้ดอก

เมื่อต้นเริ่มออกดอกลักษณะทางสรีรวิทยาของต้นโสนจะเปลี่ยนแปลงไปคือ กิ่งยืดยาวเพิ่มมากขึ้น กิ่งมีขนาดเล็กลง ใบมีขนาดเล็กลง หลังจากนั้นตาดอกจึงแตกบริเวณซอกใบของปลายยอด ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อสังเกตของการเริ่มต้นที่อายุการออกดอกของพืชพันธุ์นี้ การนับวันออกดอกของโสนที่ใช้อายุวันหลังเมล็ดงอก หรือหลังการตัดแต่งกิ่งต้นโสนนั้น ต้นโสนมีอายุออกดอกของต้นไม่แตกต่างกันสถิติกับต้นที่ไม่ตัดแต่ง ($P>0.05$) (การนับวันออกดอกเช่นเดียวกับวิธีการตัดยอดและกิ่งแขนง) (Table 1) อย่างไรก็ตามการตัดยอดรวมกับการตัดกิ่งแขนงให้เหลือ 2 และ 4 คู่ตาดอก มีแนวโน้มชะลออายุออกดอกของต้น ซึ่งมีอายุการออกดอกหลังเมล็ดงอก 82.2 83.0 และ 83.3 วัน ตามลำดับ หรือหลังตัดแต่งกิ่ง 22.3 23.0 และ 28.3 วัน ตามลำดับ สำหรับการไม่ตัดยอดและกิ่งแขนงนั้นต้นโสนมีอายุการให้ดอกเร็วสุดหลังเมล็ดงอก 77.8 วัน หรือหลังตัดแต่งกิ่ง 17.7 วัน ตรงกับรายงานของ [8] กล่าวว่าการตัดแต่งกิ่งของพืชในระยะการเจริญเติบโตสามารถชะลอการออกดอกของพืช พืชที่ให้ดอกส่วนใหญ่จะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบริเวณปลายยอดเพื่อพัฒนาเป็นดอกหรือช่อดอก [15] โดยลักษณะเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของต้นโสนสอดคล้องกับ [11] รายงานว่าเมื่อพืชเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ ต้นพืชจะชะลอการเจริญเติบโต และสะสมสารอาหารเพื่อสร้างดอกและผล

Table 1 The flowering time of *S. javanica* Miq. After seed germination and top pruning treatments

Treatments	Days after seed germination	Days after pruning
Control – Unpruned	77.8	17.7
top pruning with 1 bud pairs	83.0	23.0
top pruning with 2 bud pairs	82.3	22.3
top pruning with 4 bud pairs	88.3	28.3
F-test	ns	ns
c.v.%	0.1	0.3

Means in a same column followed by the different letters are significantly different by DMRT at ($P\leq 0.05$)

ns = not significantly different

3.3 ปริมาณและคุณภาพผลผลิตของดอกโสน

น้ำหนักผลผลิตรวมดอกโสนต่อต้น

ต้นโสนในทุกวิธีการทดลองมีน้ำหนักดอกรวมต่อต้นไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) มีน้ำหนักดอกรวมต่อต้นระหว่าง 92.4-184.8 กรัม (Table 2) แม้วิธีไม่ตัดแต่งกิ่งให้ผลผลิตสูงที่สุด แต่ต้นโสนในวิธีตัดยอดและกิ่งแขนงให้เหลือ 4 คู่ตาต่อกิ่งให้ผลผลิตใกล้เคียงกว่าวิธีตัดยอด และกิ่งแขนงให้เหลือ 1 และ 2 คู่ตาต่อกิ่ง โดยมีน้ำหนักผลผลิตไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ [4] รายงานการทดสอบผลของการตัดแต่งกิ่งต่อปริมาณผลผลิตในต้นมะเขือเทศพบว่า ผลผลิตของต้นที่ตัดแต่งกิ่งและไม่ตัดแต่งกิ่งให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.01$) และไม่สอดคล้องกับการทดลองของ [3] รายงานการทดสอบผลของการตัดแต่งกิ่งต่อปริมาณผลผลิตของต้นท้อพันธุ์ snow queen พบว่ายิ่งตัดแต่งกิ่งมากขึ้นผลผลิตที่ได้ก็จะน้อยลง แต่หากปลูกต้นโสนที่ปลูกภายในโรงเรือน พบว่าต้นโสนสามารถให้น้ำหนักดอกโสนรวมต่อต้นอยู่ระหว่าง 7.5-13.3 กรัม [9] นอกจากนี้รายงานของ [15] กล่าวว่าต้นโสนที่ปลูกในพื้นที่ที่มีความชื้นสูงหรือใกล้แหล่งน้ำให้ปริมาณผลผลิตต่อต้น 25 กรัมต่อวัน

คุณภาพผลผลิต

โสนออกดอกเป็นช่อ แต่ละช่อมีความยาวไม่เท่ากัน การทดลองนี้ สุ่มดอกโสนจากแปลง 30 ช่อ แบ่งความยาวช่อดอกโสนได้ 3 ขนาด คือช่อยาวมีความยาว 13.3-14.7 เซนติเมตร จำนวนดอก 7.9-8.5 ดอกต่อช่อ น้ำหนักช่อดอก 1.1-1.6 กรัม ช่อกลางมีความยาว 9.6-11.6 เซนติเมตร จำนวนดอก 6.2-7.1 ดอกต่อช่อ น้ำหนักช่อดอก 0.9-1.1 กรัม และช่อสั้นมีความยาว 6.7-9.3 เซนติเมตร จำนวนดอก 3.4-5.6 ดอกต่อช่อ น้ำหนักช่อดอก 0.6-0.8 กรัม สำหรับดอกย่อยซึ่งงานทดลองนี้บันทึกเฉพาะดอกตูมมีขนาดของดอกใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 22.4-25.6 มิลลิเมตร ความกว้างอยู่ระหว่าง 9.2-11.4 มิลลิเมตร และความหนาดอกอยู่ระหว่าง 2.4-3.1 มิลลิเมตร (Table 3) โดยทั่วไปช่อดอกของต้นโสนที่ขึ้นเองตามธรรมชาติมีจำนวนดอกต่อช่ออยู่ระหว่าง 10-15 ดอก ความยาวช่ออยู่ระหว่าง 10-12 เซนติเมตร และดอกยาว 50 มิลลิเมตร [14,18] เมื่อพิจารณาคุณภาพผลผลิตของดอกโสนแต่ละช่วงเดือนตลอดระยะ 3 เดือน พบว่า คุณภาพช่อดอกด้านน้ำหนักช่อและความยาวช่อในเดือนพฤศจิกายนและมกราคมสูงกว่าเดือนธันวาคมเนื่องจาก เดือนพฤศจิกายนเป็นฤดูฝนซึ่งเป็นช่วงที่มีความชื้นสูงจากปริมาณน้ำฝน และช่วงเดือนมกราคมเป็นช่วงที่สภาพอากาศหนาวเหมาะแก่การพัฒนาของช่อดอกซึ่งตรงข้ามกับเดือนธันวาคมที่ปริมาณน้ำฝนน้อย และอุณหภูมิสูงกว่า เดือนพฤศจิกายน และมกราคม [18] อย่างไรก็ตามน้ำหนักช่อดอกและความยาวช่อดอกใกล้เคียงกัน

Table 2 Total yield of *S. javanica* Miq. after pruning

Treatments	Total yield (grams per tree)
Control – Unpruned	184.8
top pruning with 1 bud pairs	92.4
top pruning with 2 bud pairs	100.8
top pruning with 4 bud pairs	142.2
F-test	ns
c.v.%	0.8

Means in a same column followed by the different letters are significantly different by DMRT at ($P\leq 0.05$)

ns = not significantly different

Table 3 Quality of *S. javanica* Miq. flower yield from November 2022 to January 2023

Months/ Years		Inflorescence			Flower size (millimeters)		
		number of flowers	weight (grams)	inflorescence length (centimeter)	flower length	flower width	flower thickness
November 2022	short	5.5±1.1	0.8±0.1	9.3±0.9	23.6±1.5	9.7±1.0	2.7±0.2
	medium	7.1±1.4	1.1±0.2	11.6±0.7	23.1±0.8	10.8±1.0	2.8±0.2
	long	7.5±1.6	1.2±0.2	14.7±1.1	24.1±1.3	10.1±0.9	2.7±0.3
December 2022	short	5.6±1.2	0.8±0.2	8.8±0.7	24.2±1.2	10.6±1.7	2.8±0.3
	medium	6.2±1.4	0.9±0.2	11.1±0.6	22.4±1.0	9.2±1.5	2.8±0.3
	long	7.5±1.6	1.1±0.3	13.3±1.2	24.6±1.3	11.3±1.4	3.1±0.4
January 2023	short	3.4±1.0	0.6±0.1	6.7±1.2	24.7±1.3	11.4±1.8	2.4±0.2
	medium	6.5±2.3	1.1±0.4	9.6±1.1	24.3±1.2	10.9±1.3	2.7±0.4
	long	8.9±2.0	1.6±0.4	12.6±0.8	25.6±1.3	10.8±1.4	2.7±0.4

4. สรุป

จากการศึกษาผลของการตัดแต่งกิ่งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของดอกโสน พบว่า การเจริญเติบโตของต้นโสน และปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามถ้าต้องการผลิตโสนเพื่อการตัดดอก หากต้องการควบคุมความสูงของต้นโสนควรตัดยอดและตัดกิ่งแขนงให้เหลือ 4 คู่ตาต่อกิ่งซึ่งเป็นวิธีที่มีแนวโน้มดีสำหรับการควบคุมความสูงต้นโสน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.วรรยา สุธรรมชัย กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ผู้สนับสนุนเมล็ดพันธุ์โสนอัฟริกัน และเอกสารการปลูกโสน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Duguma, B., Kang, B.T. and Okali, D.U.U. 1998. Effect of pruning intensities of three woody leguminous species grown in alley cropping with maize and cowpea on an alfisol. *Agroforest Syst.* 6, 19–35. <https://doi.org/10.1007/BF02344743>
- [2] Hodek P., Trefil P., Stiborova, M., 2002. Flavonoids-potent and versatile biologically active compounds interacting with cytochromes. *Chem Biol Interact* 139: 1-2.
- [3] Hussain S., Dar K.R., Kumar A., Maqbool S., Mehdi Z. and Dar M.A. 2019. Effect of different pruning intensities on growth and yield of nectarine (*Prunus persica* L.var. nucipersica) cv. snow queen international *Journal of Current microbiology and applied sciences* 8(5): 639-643
- [4] Lhamoj T., Gyalmoj T., Pemj T. and Bajgaij Y. 2022. Effect of different pruning systems on yield and quality of tomato grown under greenhouse. *Agriculture* 5(1), 71-82
- [5] Landis, T. D. 2005. Top pruning. In: Dumroese, R. Kastm; Landis, Tom D.; Watson, Rae. *Forest Nursery Notes*. R6-CP-TP-06-2005. Portland, OR: USDA Forest Service, Pacific Northwest Rgion, State and Private Forestry, Cooperative Pmgmm: 13- 16.
- [6] Makhubedu, T.I.; Letty, B.A.; Mafongoya, P.L.; Scogings, P.F. 2022. Unraveling the effects of pruning frequency on biomass productivity, Nonstructural carbohydrates and nitrogen fixation rates of sesbania sesban. *Forests* 13, 2035. <https://doi.org/10.3390/f13122035>
- [7] Pietta P.G., 2000. Flavonoids as antioxidants. *J. Nat. prod.* 63 (7): 42-1035.
- [8] Stiles W.C. 1984. Effects of pruning on growth and size of tree. *Acta horticulturae*, (146), 225–230. doi:10.17660/Actahortic.1984.146.25
- [9] กฤตเมธ วรณิก 2565. การผลิตดอกโสน (*Sesbania javanica* Miq.) ในสภาพโรงเรือน. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร, ชุมพร.
- [10] นิจศิริ เรื่องรังสี และ ธวัชชัย มังคละคุปต์. 2547. โสนกินดอก (Sano Kin Dok). พิมพ์ครั้งที่ 1. หนังสือสมุนไพรไทย เล่ม 1, กรุงเทพมหานคร.
- [11] นิตย ศกุนรักษ์. (2541). การลำเลียงอินทรีย์สาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. ศรีรวิทยาของพืช, เชียงใหม่.
- [12] ประชา นาคะประเวศ ปรัชญา ธัญญดี และ พิรัชฌา วาสนานุกุล. 2544. การใช้ปุ๋ยพืชสดบำรุงบำรุงดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. ความสำคัญและประโยชน์ของปุ๋ยพืชสด, กรุงเทพมหานคร.
- [13] รวีวรรณ เต็มขั้นณมณี. 2561. แผนพัฒนาพืชโสนจังหวัดพระนครศรีอยุธยาอย่างยั่งยืน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, พระนครศรีอยุธยา.
- [14] สถาบันการแพทย์แผนไทย. 2542. โสน. พิมพ์ครั้งที่ 3. ผักพื้นบ้านภาคกลาง, กรุงเทพมหานคร.
- [15] สรศักดิ์ ทับทิมพราย. 2555. ปุ๋ยพืชสดที่ได้ดีที่บ้านหมี่. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.komchadluek.net/kom-lifestyle/131661> (เข้าถึงเมื่อ 7 มีนาคม 2566)
- [16] สัมฤทธิ์ เพ็ญจันทร์. 2556. การจัดทรงพุ่มและการตัดแต่งกิ่ง. พิมพ์ครั้งที่ 2 หลักวิชาพืชสวน. ขอนแก่น.
- [17] อมรธัช อุณจะนำ. 2512. การออกดอกและติดผลของต้นไม้. วารสารพืชสวน ปีที่ 5 ฉบับที่ 1.
- [18] อุไร จิรมงคลการ. 2547. โสน. พิมพ์ครั้งที่ 3. ผักพื้นบ้าน 2, กรุงเทพมหานคร.

ผลของการให้แสงคืนในช่วงกลางคืนต่อการออกดอกของกระบองเพชร *Gymnocalycium mihanovichii* Effects of Night-Breaking Treatment on Flowering in *Gymnocalycium mihanovichii* Cactus

สุนิสา สังข์สม^{1*}, ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์², ร่วมจิตร นกเขา¹ และ กนกพร บุญญะอดิชาติ¹

Sunisa Sangsom^{1*}, Ladawan Lerslerwong², Raumjit Nakkoul¹ and Kanokpon Bunya-atichart¹

¹ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

²สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา

¹Department of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon

²Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla

*Corresponding author: Sunisa Sangsom, e-mail address: 65206025@kmit.ac.th

บทคัดย่อ

กระบองเพชรยิมโนคาไลเซียม มิฮาโนวิชอัย (*Gymnocalycium mihanovichii*) สามารถออกดอกได้น้อยในสภาพธรรมชาติโดยเฉพาะช่วงเวลานอกฤดู การชักนำการออกดอกของกระบองเพชรซึ่งเป็นพืชวันยาวสามารถทำได้โดยการให้แสงคืนในช่วงกลางคืน (night-breaking) งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการให้แสงคืนในช่วงกลางคืนต่อการชักนำการออกดอกของกระบองเพชรชนิดนี้ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Randomize Completely Design, CRD) ประกอบด้วย การให้ทริทเมนต์แสงคืนในช่วงกลางคืน 4 ทริทเมนต์แก่ต้นกระบองเพชรอายุ 2 ปี ด้วยแสงสีขาวจากหลอด light emitting diode (LED) ตั้งแต่เวลา 22.00 น. นาน 0 2 4 และ 6 ชั่วโมง ทุกวัน เป็นระยะเวลา 60 วัน บันทึกเปอร์เซ็นต์ต้นที่ออกดอก จำนวนดอกต่อต้น ระยะเวลาการพัฒนาดอกไปเป็นดอกบานและดอกบานบนต้น ผลการทดลองพบว่า การให้แสงคืนในช่วงกลางคืนนาน 2 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์ต้นที่ออกดอกสูงสุดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ต้นที่ไม่ได้รับแสงคืนในช่วงกลางคืนมีเปอร์เซ็นต์ต้นที่ออกดอกต่ำสุดที่ 6.67 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ การให้แสงคืนในช่วงกลางคืนนาน 2 ชั่วโมง มีผลทำให้ต้นกระบองเพชรมีจำนวนต่มดอกต่มเท่ากับ 7.50 ดอกต่อต้น ส่วนในระยะเวลาการพัฒนาดอกไปเป็นดอกบานและระยะเวลาดอกบานบนต้น 20.29 และ 5.73 วัน ตามลำดับ ดังนั้นการให้แสงคืนในช่วงกลางคืน 2 ชั่วโมงมีประสิทธิภาพในการชักนำ กระบองเพชรยิมโนคาไลเซียม มิฮาโนวิชอัยให้ ออกดอกได้

คำสำคัญ: กระบองเพชร, ไม้อวบน้ำ, ไฟเทียม, ช่วงแสง, พืชวันยาว

Abstract

A *Gymnocalycium mihanovichii* cactus yields a flower with a few numbers under natural conditions, especially during the off-season period. Flowering in cactus, a long-day plant, can be achieved using night-breaking treatment. Thus, this research aimed to study the effect of night-breaking treatment on flowering in this cactus. The completely randomized design (CRD) was performed with four night-breaking treatments for 0, 2, 4, and 6 h. The two-year-old *G. mihanovichii* plants were exposed to white LED light daily, from 10:00 pm for 60 days. The percentage of flowering plants, number of flower buds per plant, period time of floral buds formation to open flower, and duration of flower opening were recorded. It found that the 2 h night-breaking treatment showed the best results with the highest flowering percentage, 100%, while the 0 h night-breaking treatment gave the lowest flowering percentage, 6.67%. Besides, the 2 h night-breaking treatment yielded flower bud, 7.50 flower buds per plant, and the flower development from floral bud to open flower and the extended duration of flower opening, 20.29 and 5.73 days, respectively. In conclusion, the 2 h night-breaking treatment for 60 days effectively induced the flowering of *G. mihanovichii*.

Keywords: cactus, succulent, artificial light, photoperiod, long day plant

1. บทนำ

กระบองเพชร (cactus) เป็นไม้อวบน้ำ ที่มีการวิวัฒนาการเพื่อการอยู่รอดในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้ง โดยการลดรูปของใบกลายเป็นหนาม เพื่อลดการคายน้ำ และการสะสมน้ำไว้ในลำต้น ซึ่งพื้นที่ตามธรรมชาติโดยทั่วไปของกระบองเพชร มักเจริญเติบโตอยู่ในพื้นที่ทะเลทราย ถิ่นกำเนิดส่วนใหญ่อยู่ในทวีปอเมริกา เป็นพืชที่มีความหลากหลายถึง 118 สกุล มากกว่า 1,200 ชนิด และปัจจุบันได้มีกระจายพันธุ์ไปทั่วโลก ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่มีความนิยมในการปลูกเลี้ยงกระบองเพชร เนื่องจากกระบองเพชรสามารถปรับตัวให้ดำรงชีวิต และเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย [3] โดยเฉพาะกระบองเพชร ยิมโนคาไลเซียม มิฮานอวิชอย (*Gymnocalycium mihanovichii*) ซึ่งนำเข้ามาปลูกเลี้ยงในประเทศไทย มีการปรับปรุง คัดเลือก จนได้สายพันธุ์ใหม่ที่สวยงาม และมีการนำกระบองเพชรในสกุลนี้ไปประกวดหาต้นที่มีลักษณะประจำพันธุ์ที่ดีในระดับประเทศ ทั้งยังเป็นกระบองเพชรที่ปลูกเลี้ยง และขยายพันธุ์ได้ง่าย [2] ซึ่งการออกดอกของกระบองเพชรสายพันธุ์นี้ โดยปกติจะออกดอกในช่วงเดือนมีนาคมถึงมิถุนายน ซึ่งเป็นช่วงที่ได้รับแสงธรรมชาติยาวนานกว่า 8 ชั่วโมง หลังจากผ่านฤดูการออกดอกไปแล้ว จะได้รับแสงน้อยกว่า 8 ชั่วโมง จำนวนในการออกดอกจะลดน้อยลง หรืออาจไม่มีการออกดอกเลย เนื่องจากมีการพักตัว [10] ในการปรับปรุงพันธุ์ต้นกระบองเพชรให้ได้ลักษณะที่ดี จำเป็นต้องคัดเลือกต้นพ่อแม่พันธุ์ที่มีลักษณะที่ดี รวมถึงการออกดอก ต้องมีการบานของดอกในเวลาที่เหมาะสมของต้นพ่อแม่พันธุ์ ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการออกดอก คือ แสง กระบองเพชรจัดเป็นพืชวันยาว [2] แสงจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญในการบวนการสร้างสะสมอาหารเป็นแหล่งพลังงานของการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนสภาพจากใบเป็นตาดอก หากได้รับแสงไม่เพียงพอ จะส่งผลต่อการออกดอก [4] เช่น การเพิ่มการให้แสงในการกระตุ้นการออกดอกนอกฤดูของ red pitaya (*Hylocereus* sp.) โดยการให้ Night Break (NB) ด้วยแสงประดิษฐ์ในฤดูที่ไม่มีการออกดอกใน 1-4 ชั่วโมง เพื่อศึกษาการกระตุ้นการออกดอก และการบานของดอกที่สมบูรณ์ [7] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการให้แสงคั่นในช่วงกลางคืน (NB) เป็นการให้ได้รับแสงคั่นเป็นระยะเวลาสั้นๆ ในช่วงกลางคืน เพื่อกระตุ้นการออกดอกในพืชวันยาว (Long Day Plants) (LDPs) [9] เช่น ดอกลิ้นมังกร หรือ snapdragon (*Antirrhinum majus*) ซึ่งส่งผลให้เกิดการออกดอกเร็วขึ้น และการออกดอกจะช้าลงเมื่อเจริญเติบโตอยู่ภายใต้วันสั้น (Short Day Plants) (SDs) [11] หรือ คาร์เนชั่น (*Dianthus caryophyllus* L.) สายพันธุ์ william sim เป็นพืชวันยาว เมื่อได้รับแสงคั่นในช่วงกลางคืนจากแสงไฟเทียม เพิ่มเป็นระยะเวลา 0, 4, 8, 12 ชั่วโมง หลังจากที่ดินพืชได้รับแสงธรรมชาติตามปกติไปแล้ว 8 ชั่วโมง ทำให้การออกดอกเพิ่มขึ้น และมีกลีบดอกมากขึ้น [6] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพืชวันยาวต้องได้รับแสงมากเพียงพอจึงจะเกิดการออกดอก [12] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษผลของการออกดอกของกระบองเพชรยิมโนคาไลเซียม มิฮานอวิชอย (*Gymnocalycium mihanovichii*) หลังการได้รับแสงคั่นในช่วงกลางคืน

2. วิธีการศึกษา

ต้นกระบองเพชรยิมโนคาไลเซียม มิฮานอวิชอย ที่ใช้ในการทดลอง ชื้อจากร้านจำหน่ายกระบองเพชรทางออนไลน์ในพื้นที่ของตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร คัดเลือกต้นที่มีอายุต้น 2 ปีขึ้นไป ปลูกเลี้ยงภายใต้โรงเรือนของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จำนวน 300 ต้น โดยมีการย้ายปลูกเมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2565 เปลี่ยนวัสดุปลูกใหม่ ซึ่งวัสดุปลูกประกอบไปด้วย ดินใบก้ามปู (ร่อนแล้ว) ขุยมะพร้าว ทรายก่อสร้าง/ทรายแม่น้ำ (ร่อนแล้ว) เพอร์ไลท์ เวอร์มิคูไลท์ หินภูเขาไฟเบอร์ ในอัตราส่วน 1: 1: 1: 1: 1 และหินภูเขาไฟเบอร์ 02 ใช้รองก้นกระถาง 1 ใน 3 ของกระถาง ตัดแต่งราก และย้ายลงปลูกในกระถางขนาด 4 นิ้ว ดูแลให้น้ำสัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง

คัดเลือกต้นที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ปลูกในสภาพโรงเรือน เป็นโรงเรือนหลังคาหน้าจั่วสองชั้น คลุมด้วยเมทัลชีสโปร่งแสง และมุงด้วยตาข่ายกันแมลง ขนาดความกว้าง 6 เมตร ยาว 12 เมตร สูง 5 เมตร โดยอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28.5 ± องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 78.87 ± % วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ทำการทดลองโดยการให้แสงคั่นในช่วงกลางคืน (NB) ประกอบด้วยการให้แสงคั่นในช่วงกลางคืนเป็นระยะเวลา 0, 2, 4, 6 ชั่วโมง ตามลำดับ (Figure 1) แต่ละการให้แสง มี 5 ซ้ำๆ ละ 3 ต้น จัดเรียงภายในกล่องไม้อัด 1 กล่องต่อ 1 ระยะเวลาการให้แสง แต่ละกล่องมีการติดตั้งหลอดไฟ (Light Emitting Diode; LED) แสงสีขาว ขนาด 9 วัตต์ ความเข้มแสง 1089 Lux/Fc ความสูงของแสงสว่างอยู่เหนือต้น 33 เซนติเมตร ช่วงเวลาที่เริ่มเปิดไฟให้แสงคือ 22.00 น. ของทุกวัน รวมระยะเวลาให้แสง 60 วัน (24 สิงหาคม ถึง 24 ตุลาคม 2565)

2.1 บันทึกผลการทดลอง

2.1 เปอร์เซ็นต์ต้นที่ออกดอก

บันทึกต้นที่ออกดอกทุกวัน จากนั้นนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ ด้วยสมการ ด้านล่าง

$$\frac{\text{จำนวนต้นที่ออกดอก}}{\text{จำนวนต้นทั้งหมด}} \times 100$$

2.2 จำนวนตุ่มตาดอกต่อต้น (ดอก)

บันทึกตุ่มตาดอกเมื่อเห็นตุ่มตาดอกชัดเจนทุกวัน จากแต่ละต้น

2.3 ระยะเวลาการพัฒนาจากตุ่มตาดอกจนดอกบานวันแรก (วัน)

บันทึกจำนวนวันที่สังเกตเห็นตุ่มตาดอกของต้นกระบองเพชร จนถึงวันที่ดอกบานวันแรก

2.4 ระยะเวลาการบานของดอกบานบนต้น (วัน)

บันทึกจำนวนวันที่ดอกบานวันแรกจนถึงวันสุดท้ายที่ดอกเหี่ยว

2.5 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ของข้อมูลตามแผนการทดลองแบบ CBD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistics Package for Social Sciences (SPSS)



3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 เปอร์เซ็นต์ต้นที่ออกดอก

การให้แสงคั่นในช่วงกลางวันในกระบองเพชรยิมโนคาไลเซียม มิฮานิวชิอาย ตลอดระยะเวลา 2 เดือน เปอร์เซ็นต์การออกดอกจากการให้ NB เป็นระยะ 4 และ 6 ชั่วโมง ให้ต้นที่ออกดอกภายหลัง 15 วัน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การออกดอกอยู่ที่ 6.67% (1 ต้น) การให้ NB ระยะ 2 ชั่วโมง และ ชุดควบคุม มีต้นที่ออกดอกเมื่อมีการทดลองไปแล้ว 30 วัน และมีเปอร์เซ็นต์การออกดอกอยู่ที่ 73.33% (10 ต้น) และ 6.67% (1 ต้น) ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) (Table 1) เมื่อให้แสงคั่นในช่วงกลางวันไปเป็นระยะเวลา 45 วัน และสิ้นสุดการทดลองที่ 60 วัน พบว่า การให้ NB 2 ชั่วโมง ให้เปอร์เซ็นต์ต้นที่ออกดอกดีที่สุด รองลงมา คือ การให้ NB 6 และ 4 ชั่วโมง ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ต้นที่ออกดอก 100 (15 ต้น), 73.33 (10 ต้น) และ 46.67% (7 ต้น) ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ที่มีเปอร์เซ็นต์ต้นที่ออกดอกเพียง 6.67% แสดงให้เห็นว่าการให้แสงคั่นในช่วงกลางวัน สามารถกระตุ้นการออกดอกได้ เช่นเดียวกับการทดลองใน pitaya (*Hylocereus* sp.) ที่มีการออกดอกซ้ำอีกครั้งได้ อีกทั้งเปอร์เซ็นต์ของต้นที่มีการออกดอกจะเพิ่มขึ้น เมื่อผ่านการทดลองไปแล้วเป็นระยะเวลา 35 วัน ในการให้แสงคั่นในช่วงกลางวัน ตั้งแต่ 1-4 ชั่วโมง [7] และมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการให้แสงคั่นในช่วงกลางวัน นอกจากนี้ ยังมีรายงานการทดลองผลิตไม้ผลนอกฤดูในปี พ.ศ. 2554 ทางตอนใต้ของไต้หวัน ว่ามีการออกดอกจำนวนมากในช่วงใกล้สิ้นสุดการทดลองโดยการให้ Night-Breaking เป็นเวลา 3 เดือน [8] การได้รับแสงสว่างรวมต่อวันของต้นกระบองเพชรจากการทดลองนี้ ประกอบด้วย 1) ได้รับแสงธรรมชาติตามปกติในช่วงกลางวันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 ชั่วโมง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า มีการเปอร์เซ็นต์การออกดอกเพียง 6.67 % เพราะกระบองเพชรเป็นพืชวันยาว ต้องการแสงมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน [7] และ 2) มีการให้แสงคั่นในช่วงกลางวัน ทำให้ต้นกระบองเพชรได้รับแสงรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 10, 12, 14 และ 16 ชั่วโมง ตามลำดับ จากผลการทดลองจึงชี้ให้เห็นว่า การออกดอกของกระบองเพชรสกุลยิมโนคาไลเซียม มีฮาโนวิชอยาย ต้องการแสงสว่างไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมงต่อวัน จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การออกดอกสูงขึ้นได้ ลักษณะตามที่แสดงในภาพที่ 1 (Figure 1)

Table 1 The percentage of flowering plants of *G. mihanovichii* flowering after NB for 15, 30, 45, and 60 days at 0, 2, 4 and 6 h

Treatments	The flowering plants (%)			
	15	30	45	60
NB 0 h	0	6.67 c	6.67 d	6.67 d
NB 2 h	0	73.33 a	93.33 a	100.00 a
NB 4 h	6.67	40.00 b	40.00 c	46.67 c
NB 6 h	6.67	46.67 b	66.67 b	73.33 b
F-Test	ns	**	**	**
C.V. (%)	3.00	0.71	0.70	0.68

Means within a column followed by the same letters are not significant different ($P < 0.01$)

** = significant at $P < 0.01$ by DMRT

ns = non-significant

3.2 จำนวนตุ่มตาดอกต่อต้น

โดยทั่วไปลักษณะการออกดอกของกระบองเพชรจะแตกต่างกันไปตามแต่ละสกุล โดยดอกของกระบองเพชรยิมโนคาไลเซียม มีฮาโนวิชอยาย จะออกดอกจากตุ่มหนามบริเวณยอด หรือด้านบนของต้น [3] เป็นตุ่มหนามที่มีการเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ หรือมีอายุน้อยกว่าตุ่มหนามล่าง [9] ซึ่งโดยปกติต้นที่มีการเพาะเมล็ด และนำมาปลูกเลี้ยงในกระถาง ไม่ใช่ไม้ที่เลี้ยงบนตอของกระบองเพชรสายพันธุ์อื่น จำนวนตุ่มตาดอกที่มีการพัฒนาในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกันจะอยู่ที่ประมาณ 1-2 ดอก และต้นจะมีการพักการออกดอกในระยะหนึ่งก่อนที่จะมีการออกดอกในรอบต่อไป ผลจากการทดลองภายหลังการให้แสงคั่นนั้นพบตุ่มตาดอกออกวนรอบยอดของต้น จำนวนเฉลี่ย 4 ดอกขึ้นไป และไล่จากล่างขึ้นบนยอด นอกจากนี้หน่อที่แตกใหม่ก็ยังสามารถมีการออกดอกได้เช่นกัน แต่ดอกที่บานจะมีขนาดเล็กกว่าปกติเล็กน้อย อาจเนื่องด้วยขนาดของหน่อที่ยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ซึ่งการเพิ่มจำนวนของตุ่มตาดอกมากขึ้น เป็นประโยชน์ต่อต้นกระบองเพชรไม้เมล็ดที่ปลูกเลี้ยงในกระถาง สามารถคัดเลือกเป็นพ่อแม่พันธุ์ เพื่อการผสมเกสรให้ติดฝัก และนำไปคัดเลือกพันธุ์ที่ตรงตามความต้องการได้มากขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองใน *pitaya* (*Hylocereus* sp.) หรือแก้วมังกร ได้รับแสงคั่นช่วงมืด 1-4 ชั่วโมง กระตุ้นให้มีการพัฒนาเป็นดอกตูมเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามดอกที่ได้จะมีขนาดเล็กมากจนเกินไปเนื่องจากการกระตุ้นให้เกิดการออกดอก มีวัตถุประสงค์เพื่อให้แก้วมังกรมีการติดผลนอกฤดูการผลิต ดังนั้นในกรณีของแก้วมังกรควรรักษาเปอร์เซ็นต์การออกดอกให้ต่ำกว่า 50 % หรือให้มีจำนวนดอกให้มากกว่าพอที่จะคัดเลือกดอกที่สมบูรณ์ที่สามารถพัฒนาไปเป็นผลที่สมบูรณ์ และได้คุณภาพที่ดีที่สุด [7]

จากการทดลองพบว่า การให้แสงคั่นในช่วงกลางวัน (NB) ส่งผลต่อจำนวนการออกดอกของกระบองเพชร โดยจำนวนดอกต่อต้นที่มีจำนวนมากที่สุด คือ การให้ NB 2 ชั่วโมง มีจำนวนดอกต่อต้น คือ 7.50 ดอก รองลงมาคือ การให้ NB 6 ชั่วโมง มีจำนวนดอกต่อต้น คือ 6 ดอก และการให้ NB 4 ชั่วโมง มีจำนวนดอกต่อต้น คือ 4 ดอก ซึ่งมีจำนวนใกล้เคียงกับการทดลองในชุดควบคุมที่มีจำนวนดอกต่อต้น คือ 4.50 ดอก (Table 2) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าแสงมีผลต่อการเพิ่มจำนวนดอกของกระบองเพชร เมื่อได้รับแสงในปริมาณที่พอดีต่อการออกดอก หากได้รับในปริมาณที่น้อยกว่าความ

ต้องการจะไม่มีผลกระตุ้นให้เกิดการออกดอก โดยการทดลองใน pitaya (*Hylocereus* sp.) ได้รับแสงคั่นในช่วงกลางคืน 0.5 ชั่วโมง กระตุ้นให้มีการพัฒนาเป็นดอกตูมดอกแรกเกิดขึ้นช้ามาก โดยมีดอกที่ออกเพียง 13 % เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ให้ได้รับแสงคั่นในช่วงกลางคืนเป็นระยะเวลาเวลานานมากขึ้น คือ 1-4 ชั่วโมง ส่งผลทำให้มีการออกดอกมากกว่า 80 % จึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการได้รับแสงในปริมาณที่ไม่เพียงพอสำหรับการกระตุ้นให้เกิดออกดอก จะไม่ส่งเสริมให้มีการออกดอกจำนวนมากได้ [7] ซึ่งผลการทดลองที่ได้ ชี้ให้เห็นว่าการได้รับแสงคั่นในช่วงกลางคืน (NB) ในกระบองเพชรสกุลยิมโนคาไลเซียม สามารถเพิ่มจำนวนดอกต่อต้นได้

Table 2 The numbers of flower buds per plant of *G. mihanovichii* flowering after NB at 0, 2, 4 and 6 h

Treatments	The numbers of flower bud (buds/plant)
NB 0 h	4.50 ab
NB 2 h	7.50 a
NB 4 h	4.00 b
NB 6 h	6.00 a
F-Test	*
C.V. (%)	1.14

Means within a column followed by the same letters are not significant different ($P < 0.05$)

* = significant at $P < 0.05$ by DMRT

3.3 ระยะเวลาการพัฒนาจากตุ่มตาดอกไปเป็นดอกบาน

เมื่อได้รับแสงคั่นในช่วงกลางคืน ส่งผลต่อการพัฒนาของตุ่มตาดอก ดังนี้ คือ การให้ NB 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ทำให้ระยะเวลาในการพัฒนาตุ่มตาดอกจนกระทั่งดอกบาน โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 20.29, 23.14 และ 24.09 วัน ตามลำดับ (Table 3) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าการให้แสงคั่นในช่วงกลางคืน ไม่ส่งผลต่อระยะเวลาในการพัฒนาของตุ่มตาดอก ซึ่งระยะเวลาในการพัฒนาของตุ่มตาดอกกระบองเพชรยิมโนคาไลเซียม มิฮาโนวิชิอาย ที่ได้จากการทดลองพบว่า จะอยู่ที่ประมาณ 21-28 วัน ซึ่งโดยทั่วไปกระบองเพชรสายพันธุ์ *opuntia ficus-indica* มีระยะเวลาในการออกดอกที่ใกล้เคียงกันกับ กระบองเพชรยิมโนคาไลเซียม มิฮาโนวิชิอาย คือ 21-35 วัน หรือประมาณ 30 วัน [5]

ซึ่งจากผลการทดลองในชุดควบคุมมีระยะเวลาการพัฒนาจากตุ่มตาดอกจนดอกบานอยู่ที่ 26 วัน เมื่อเทียบกับการทดลองที่มี การให้ NB ทำให้ผลของระยะเวลาการพัฒนาของดอกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จึงถือว่าผลการทดลองที่ได้ทำให้กระบองเพชรยิมโนคาไลเซียม มิฮาโนวิชิอาย สามารถพัฒนาตุ่มตาดอกจนกระทั่งดอกบาน ให้เป็นไปตามปกติของสายพันธุ์ ไม่ทำให้เกิดการพัฒนาของดอกที่ล่าช้า หรือเร่งการบานของดอกให้เร็วมากจนเกินไป

Table 3 The period of time for floral buds formation to open flower of *G. mihanovichii* flowering after NB at 0, 2, 4 and 6 h

Treatments	The period of time for floral buds formation (Days)
NB 0 h	26.00
NB 2 h	20.29
NB 4 h	23.14
NB 6 h	24.09
F-Test	ns
C.V. (%)	0.94

Means within a column followed by the same letters are not significant different ($P < 0.05$)

ns = non-significant

3.4 ระยะเวลาการบานของดอก ตั้งแต่ดอกบานวันแรกจนถึงวันแสดงอาการดอกเหี่ยว

ระยะเวลาในการบานของดอกกระบองเพชรยิมโนคาไลเซียม มิฮาโนวิชอัย จะอยู่ที่ประมาณ 3-4 วัน [1] เมื่อได้รับให้แสงคั่นในช่วงกลางคืน มีผลในการยืดระยะเวลาในการบานของดอกให้ยาวนานมากขึ้น โดยการให้ NB 2, 4 และ 6 ชั่วโมงไม่มีผลต่อระยะเวลาในการบานของดอก โดยมีระยะเวลาการบานของดอกเฉลี่ยอยู่ที่ 5.73, 6.43 และ 5.82 วัน ตามลำดับ (Table 4) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีระยะเวลาการบานของดอกอยู่ที่ 6 วัน ซึ่งเป็นไปตามระยะเวลาการบานปกติของสายพันธุ์ แสดงให้เห็นว่าการแสงคั่นในช่วงกลางคืน แม้ระยะเวลาการให้แสงในช่วงกลางคืนจะแตกต่างกัน แต่ไม่มีผลต่อระยะเวลาในการบานของดอก ซึ่งโดยปกติดอกของกระบองเพชรยิมโนคาไลเซียม มิฮาโนวิชอัย ดอกบานตอนกลางวันและหุบกลางคืน และแต่ละดอกบานได้นาน 3-4 วัน [1]

Table 4 The duration of flower opening of *G. mihanovichii* flowers from first-day bloom until the flowers wither after NB experiment

Treatments	The duration of flower opening (Days)
NB 0 h	6.00
NB 2 h	5.73
NB 4 h	6.43
NB 6 h	5.82
F-Test	ns
C.V. (%)	1.02

Means within a column followed by the same letters are not significant different ($P < 0.05$)

ns = non-significant

4. สรุป

จากการศึกษาผลของการให้แสงคั่นในช่วงกลางคืน (night break) ต่อการออกดอกของกระบองเพชรยิมโนคาไลเซียม มิฮาโนวิชอัย พบว่า การให้แสงเพิ่มคั่นในช่วงกลางคืนเป็นระยะ 2 ชั่วโมง มีผลทำให้มีจำนวนต้นที่มีการออกดอกมากที่สุดคือ มีเปอร์เซ็นต์ต้นที่ออกดอก 100% มีจำนวนตุ่มตาดอกต่อต้นมากที่สุดมากกว่า 7.5 ดอกต่อต้น การให้แสงเพิ่มคั่นในช่วงกลางคืนไม่มีผลทำให้ระยะการพัฒนามาจากตุ่มตาดอกไปเป็นดอกบาน และระยะเวลาการบานดอกบนต้น แตกต่างจากระยะการพัฒนามาจากตุ่มตาดอกไปเป็นดอกบาน และการบานดอกบนต้นกับการไม่ให้แสงเพิ่มคั่นในช่วงกลางคืน จึงแสดงให้เห็นว่าการให้แสงเพิ่มคั่นในช่วงกลางคืนมีการกระตุ้นให้เกิดการออกดอกเพิ่มมากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ฉัตรทริกา ฤทธิรงค์ และคณะ. 2563. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการผลิตสารแอนโทไซยานินจากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนยอดของกระบองเพชรสายพันธุ์อิมโนแม่ลูกตก. สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ และสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. หน้า. 116-128.
- [2] ภาพล ศุภนันถนันทน์. 2562. รวมพันธุ์ใหม่ แคคตัส และไม้อวบน้ำ Top Hit Cactus & Succulents. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์บ้านและสวน.
- [3] ภาพล ศุภนันถนันทน์. 2564. แคคตัส Cactus. (พิมพ์ครั้งที่ 8). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์บ้านและสวน.
- [4] สมบุญ เตชะภิชชาวัฒน์. 2544. สรีรวิทยาของพืช. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [5] Arba, M., Falisse, A., Choukr-Allah, R., and Sindic, M. 2017. Biology, Flowering and Fruiting of the Cactus *Opuntia* spp.: A Review and Some Observations on Three Varieties in Morocco. Hassan II Institute of Agronomy and Veterinary Medicine, Horticultural Complex of Agadir, Morocco, Veterinary Medicine, Cluj, Romania. University of Liège, Belgium. pp. 1-11.
- [6] DAHAB A. M. AB. 1967. Effects of light and temperature on growth and flowering of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). Publication 298, Laboratory of Horticulture, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.
- [7] Jiang, Y.L. 2020. Seasonal response of night-breaking on floral bud formation in red pitaya (*Hylocereus* sp.) in a noninductive period. Department of Horticulture, National Chiayi University, 300 Syuefu Rd., Chiayi City, 60004, Taiwan, ROC. 270: 1-7.
- [8] Jiang Y.L., Liao Y.Y., Lin Tz. Sh., and Lee Ch. L., Yen Ch. R. and Wen J.Y. 2012. The Photoperiod-regulated Bud Formation of Red Pitaya (*Hylocereus* sp.). Taiwan R.O.C. 47 (8): 1063–1067.
- [9] Pilbeam, J. 1995. GYMNOCALYCIUM A Collector's Guide. 1st edn. A.A. Balkema, Rotterdam; Netherlands. 1-191.
- [10] Putnam, E.W. 1978. Gymnocalyciums. 1st edn. The ational cactus and succulent society. Oxford USA.
- [11] Runkle R.E. and Heins R.D. 2003. Photocontrol of flowering and extension growth in the long day plant pansy. Department of Horticulture, Michigan State University, East Lansing, USA.
- [12] Taiz, L., and Zeiger, E. 2002. Plant Physiology. 3rd edn. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts USA.

ฤทธิ์ต้านเชื้อราของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์แบบเคมีสีเขียวต่อ
เชื้อรา *Fusarium* sp. สาเหตุโรครากแห้งของทุเรียน
Antifungal activity of green synthesized silver nanoparticles on
Fusarium sp. causing durian dieback disease

นวมินทร์ ทองศรี^{1*} อุษา สุขชา² สิริฉัตรณ์ช กักดีพรหมมา² และ พรประพา คงตระกูล¹
Nawamin Tongsril^{1*}, Usa Sukkha², Sirichatnakh Pakdeepromma² and Pornprapa Kongtragoul¹

¹ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
²ภาควิชาพื้นฐานทั่วไป สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

¹Department of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon

²Department of General Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon

*Corresponding author: Nawamin Tongsril, e-mail address: 65206019@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

โรครากแห้งเป็นปัญหาสำคัญในแปลงปลูกทุเรียนส่งผลให้ทุเรียนยืนต้นตาย งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการแยกเชื้อราสาเหตุโรครากแห้งด้วยวิธี tissue transplanting บนอาหาร water agar แยกเชื้อราได้ 1 ไอโซเลท คือ FUC2_7 ทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาบนอาหาร potato dextrose agar พบลักษณะเส้นใยมีผนังกันใสไม่มีสี สร้างสปอร์ 2 แบบ คือ macroconidia และ microconidia จัดจำแนกเป็นเชื้อรา *Fusarium* sp. และทำการทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อราของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์แบบเคมีสีเขียวในรูปแบบของสารแขวนลอย ที่ระดับความเข้มข้น 10, 100, 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และในรูปแบบของผง ที่ระดับความเข้มข้น 10, 100, 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าฤทธิ์ต้านเชื้อราของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในรูปแบบของสารแขวนลอย ที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยได้ดีที่สุด คือ 82.97 เปอร์เซ็นต์ มีค่า half maximal effective concentration 50 เปอร์เซ็นต์ (EC₅₀) และ maximal effective concentration 90 percent (EC₉₀) เท่ากับ 87.10 และมากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนฤทธิ์ต้านเชื้อราอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในรูปแบบของผง ที่ระดับความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยได้เพียง 15.87 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า EC₅₀ และ EC₉₀ มากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

คำสำคัญ: ฤทธิ์ต้านเชื้อรา, โรครากแห้ง, *Fusarium* sp., การสังเคราะห์เคมีสีเขียว, อนุภาคนาโนซิลเวอร์

Abstract

Dieback disease is a significant problem in durian plantations. It caused the death of the durian tree. In this research, the fungal pathogen was isolated by tissue transplanting on water agar. One isolate was successfully isolated as FUC2_7. Morphology was studied on potato dextrose agar. It was found 2 forms of spores; macroconidia, and microconidia, classified as *Fusarium* sp. The antifungal activity of green synthesized silver nanoparticles in suspension form at concentrations of 10, 100, and 500 mg/L and in powder form at concentrations of 10, 100, and 1,000 mg/L was tested on *Fusarium* sp. *in vitro*. It was found that the green synthesized silver nanoparticles in suspension form at the concentration of 500 mg/L showed the highest inhibition on mycelial growth of FUC2_7 at 82.97 percent. The half maximal effective concentration 50 percent (EC₅₀) and effective concentration 90 percent (EC₉₀) are 87.10 and more than 500 mg/L, respectively. Meanwhile, the green synthesized silver nanoparticles in powder form at concentrations of 1,000 mg/L could inhibit the mycelial growth of FUC2_7 at 15.87 percent, and the EC₅₀ and EC₉₀ are above 1,000 mg/L

Keywords: antifungal activity, dieback, *Fusarium* sp., green synthesized, silver nanoparticles

1. บทนำ

ทุเรียน (*Durio zibethinus*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เพราะมีการส่งออกเป็นอันดับ 1 ในกลุ่มผลไม้ โดยมีตลาดหลักในการส่งออก คือ จีน ฮองกง และเวียดนาม ซึ่งในปี 2565 มีพื้นที่ปลูกทุเรียนทั่วประเทศประมาณ 914,635 ไร่ ผลผลิต 1,321,648 ตัน และผลผลิตต่อไร่ 1,445 กิโลกรัม มีการส่งออกทุเรียนสด และผลิตภัณฑ์ทุเรียนของไทยปริมาณ 961,670,093 ตัน แบ่งเป็น ทุเรียนสด 827,090,168 ตัน รวมเป็นมูลค่า 110,144.22 ล้านบาท ทุเรียนแช่แข็ง 88,762,144 ตัน รวมเป็นมูลค่า 15,232.66 ล้านบาท ทุเรียนอบแห้ง 676,531 ตัน มูลค่า 382.72 ล้านบาท และทุเรียนกวน 141,250 ตัน รวมเป็นมูลค่า 27.60 ล้านบาท [1] แต่ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการปลูกทุเรียน คือ การเกิดโรคจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Fusarium* sp. ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อระบบการผลิตทุเรียน โดยสร้างความเสียหายทั้งในด้านของคุณภาพ และปริมาณของการผลิตผลทุเรียน [2] เชื้อรา *Fusarium* sp. เป็นทั้งเชื้อราสาเหตุโรค และเชื้อราที่เข้าทำลายซ้ำเติมก่อให้เกิดโรคในทุเรียนได้ในระยะปลูกตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนถึงต้นที่เจริญเติบโตเต็มวัย ซึ่งลักษณะอาการที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Fusarium* sp. จะมีอาการใบบิดเบี้ยว บริเวณปลายยอด และเมื่อสภาพอากาศร้อน ส่งผลให้เกิดลักษณะไหม้ที่บริเวณปลาย หรือขอบใบ จากนั้นใบจะร่วง กิ่งแห้ง และลูกกลมไปส่วนล่างของกิ่ง หากอาการรุนแรง จะส่งผลให้ต้นทุเรียนตายในที่สุด เนื่องจากเชื้อรา *Fusarium* sp. พบได้ในทุกพื้นที่ที่มีการปลูกทุเรียน และสร้างความเสียหายให้แก่เกษตรกรชาวสวนทุเรียนเป็นอย่างมาก [3, 4] จึงทำให้เกษตรกรชาวสวนทุเรียนส่วนใหญ่นิยมใช้สารเคมีในการควบคุมเชื้อราชนิดนี้ เพราะสะดวกและได้ผลเร็ว ส่งผลให้เกิดการต่อต้านสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา ทั้งนี้ยังส่งผลทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในบริเวณเพาะปลูก และผลผลิต ซึ่งเป็นอันตรายต่อเกษตรกร ผู้บริโภค และเป็นปัญหาต่อสภาพแวดล้อม

ในปัจจุบันมีการนำนาโนเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายทั้งในทางการแพทย์ อุตสาหกรรม รวมทั้งการเกษตรอีกด้วย โดยนักวิจัยเริ่มมีความสนใจเกี่ยวกับการนำอนุภาคในระดับนาโนมาใช้เป็นสารป้องกันกำจัดเชื้อราสาเหตุโรคพืช เช่น อนุภาคนาโนซิลเวอร์ เนื่องจากมีคุณสมบัติต้านเชื้อรา [5, 6] และมีนักวิจัยหลายกลุ่มได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้พืชหรือจุลินทรีย์ในการสังเคราะห์ เรียกว่ากระบวนการนี้ว่าการสังเคราะห์เคมีสีเขียว (green synthesis) ซึ่งเป็นวิธีทางชีวภาพที่สามารถลดการใช้สารเคมีที่เป็นพิษจากกระบวนการทางเคมี โดยกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนดังกล่าวสามารถเตรียมได้จากเกลือของโลหะและใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติการรีดิวซ์ของสารประกอบที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพจากจุลินทรีย์ทั้งที่มีชีวิตและตายแล้ว หรือจากสารสกัดจากพืช เช่น ใบ ราก ดอกไม้ ผลไม้ เปลือกไม้ ยางไม้ เป็นต้น อนุภาคนาโนที่ได้จากวัสดุชีวภาพเรียกว่าอนุภาคนาโนชีวภาพ (Bionanoparticles) สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้สารสกัดจากพืชกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากพืชเป็นแหล่งของสารทุติยภูมิที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ โปรตีน โพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ เทอร์ปีนอยด์ แทนนิน อัลคาลอยด์ เอมีน คีโตน และอัลดีไฮด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ไอออนของซิลเวอร์ ให้เกิดเป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์ เช่น อุณหภูมิ ค่า pH ก็สามารถควบคุมได้ง่าย และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์น้อยกว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนด้วยจุลินทรีย์ [8, 9, 10] นอกจากนี้ยังมีรายงานเกี่ยวกับการนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาทดลองในการยับยั้งเชื้อรา *Fusarium* sp. เพราะคาดว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีกลไกการออกฤทธิ์ จะปล่อยไอออนของซิลเวอร์ มาสะสมบนผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ จากนั้นจะเข้าสู่ไซโตพลาสซึม และเมื่ออยู่ในเซลล์ไอออนของซิลเวอร์ จะสร้าง หรือปลดปล่อยอนุมูลอิสระของออกซิเจน (reactive oxygen species; ROS) ซึ่งเป็นสาระสำคัญในการออกฤทธิ์ต้านจุลชีพโดยมีกลไกการออกฤทธิ์ 1) การยับยั้งการสังเคราะห์ผนังเซลล์ 2) ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ 3) ยับยั้งห่วงโซ่การขนส่งอิเล็กตรอน 4) ยับยั้งการสังเคราะห์ DNA 5) ยับยั้งการสังเคราะห์ mRNA 6) ยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีน และ 7) สร้างความเสียหายต่อ mitochondrial กลไกเหล่านี้จะนำไปสู่การตายของเซลล์ในที่สุด [7] สำหรับงานวิจัยนี้จึงสนใจนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์แบบเคมีสีเขียวมาทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อราที่ทำการแยกเชื้อ *Fusarium* sp. ซึ่งเป็นสาเหตุโรคกิ่งแห้งของทุเรียน และทดสอบฤทธิ์ต้านของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จากการสังเคราะห์แบบเคมีสีเขียวในรูปแบบสารแขวนลอย และในรูปแบบผลึก ต่อเชื้อรา *Fusarium* sp.

2. วิธีการศึกษา

2.1 แยกเชื้อรา *Fusarium sp.* สาเหตุโรครุเรียน

เก็บตัวอย่างโรครุเรียนที่แสดงอาการของโรครุคั้งแห้ง (dieback) ที่คาดว่าเกิดจากเชื้อรา *Fusarium sp.* พร้อมทั้งถ่ายภาพอาการของโรค จากนั้นนำตัวอย่างโรค มาทำการศึกษา และแยกเชื้อราสาเหตุของโรคในห้องปฏิบัติการ แยกเชื้อด้วยวิธี tissue transplanting technique โดยตัดชิ้นส่วนพืชที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Fusarium sp.* ให้มีขนาด 0.5 × 0.5 เซนติเมตร ฆ่าเชื้อบริเวณพื้นผิวโดยแช่ sodium hypochlorite (Clorox 10เปอร์เซ็นต์) ประมาณ 3-5 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ ประมาณ 3-5 นาที ซับด้วยกระดาษทิชชูที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อให้แห้ง แล้วนำชิ้นส่วนพืชไปวางบนอาหาร water agar (WA) เมื่อสังเกตเห็นเส้นใยของเชื้อราที่เจริญออกมา ใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร. ที่ลนไฟฆ่าเชื้อแล้ว ตัดบริเวณปลายเส้นใยที่เจริญออกมา แล้ววางบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) และบ่มที่อุณหภูมิห้องเพื่อนำไปศึกษาต่อไป

ทำการแยกเชื้อราบริสุทธิ์ด้วยวิธี single spore isolation โดยเลี้ยงเชื้อบนอาหาร PDA เชื้อเส้นใยบริเวณที่มีสปอร์ของเชื้อราจากงานเพาะเชื้อที่มีการเกิดของสปอร์แล้ว แยกสปอร์ออกจากเส้นใย โดยนำเส้นใยที่มีสปอร์ของเชื้อราใส่ลงใน microtube ที่เติมน้ำกลั่นปริมาณ 1 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่อง vortex เพื่อแยก conidia ของเชื้อมา และนำ conidial suspension เทลงบนงานเพาะเชื้อที่มีอาหาร WA นำมาเลี้ยงไว้อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10 เท่า และจุดหรือวาดวงกลมตรงที่มีสปอร์ด้านล่างของงานเพาะเชื้อ จากนั้นใช้มีด หรือ cork borer ตัดย้ายลงบนงานเพาะเชื้อที่มีอาหาร PDA หลังจากนั้นนำมาเลี้ยงไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 5-7 วัน

2.2 ตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *Fusarium sp.*

ทำการเลี้ยงเชื้อรา *Fusarium sp.* ในงานอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อ PDA ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร และใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ตัดเส้นใยบริเวณขอบโคโลนีของเชื้อ วางให้ด้านที่มีเส้นใยของเชื้อคว่ำลงบนอาหารบริเวณกลางงานเลี้ยงเชื้อ บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องจนเชื้อเจริญเติบโตเต็มงานเลี้ยงเชื้อเป็นระยะเวลา 7 วัน หลังจากนั้นใช้เข็มเย็บเส้นใยของเชื้อรา แล้วหยดด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อบนแผ่นสไลด์ และศึกษาคูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า ตรวจสอบลักษณะเส้นใย macroconidia และ microconidia บันทึกข้อมูล ลักษณะของโคโลนีเชื้อราและตรวจสอบลักษณะเส้นใยสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

2.3 ประเมินประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์แบบเคมีสีเขียวต่อการควบคุมเชื้อรา *Fusarium sp.* สาเหตุโรครุเรียนในสภาพห้องปฏิบัติการ

ประเมินประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์แบบเคมีสีเขียว จำนวน 2 รูปแบบ คือ ในรูปแบบสารแขวนลอย และในรูปแบบผลึก ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก ดร. อูษา สุขชา ห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาพื้นฐานทั่วไป สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร โดยทำการเลี้ยงเชื้อรา *Fusarium sp.* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA เป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ชุด control และชุดที่ผสมกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ในรูปแบบสารแขวนลอย ที่ระดับความเข้มข้น 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และในรูปแบบผลึกที่ระดับความเข้มข้น 10, 100 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ตัดบริเวณขอบโคโลนีของเชื้อราไอโซเลท FUC2_7 และนำไปเลี้ยงบนอาหาร PDA ที่ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์แต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เปรียบเทียบกับการเจริญของโคโลนีเชื้อราบนชุดควบคุม คือ เชื้อราที่เลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 4 ชั่วโมง บันทึกผลการทดลองวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีเชื้อรา และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยใช้สูตร mycelial inhibition (เปอร์เซ็นต์) = $[(C - T)/C] \times 100$ (C = เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อราบนอาหารเลี้ยงเชื้อชุดควบคุม, T = เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อราบนอาหารเลี้ยงเชื้อชุดทดลอง)

นำเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยมาแสดงกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้น logarithm โดยกำหนดให้แกน X เป็นค่า log ของความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์แบบเคมีสีเขียวที่ใช้ทดสอบ และให้แกน Y เป็นค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา จากนั้นแทนค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตในแต่ละระดับความเข้มข้น เพื่อให้ได้สมการ $Y = a \ln(x) + b$ (Y = เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา, X = ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา) เพื่อนำมาคำนวณหาความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สามารถยับยั้งการ

เจริญเติบโตทางเส้นใยได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (half maximal effective concentration; EC₅₀) และความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยได้ 90 เปอร์เซ็นต์ (maximal effective concentration 90 percent; EC₉₀)

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 แยกเชื้อรา *Fusarium* sp. สาเหตุโรคทุเรียน

จากการเก็บตัวอย่างโรคกิ่งแห้งของทุเรียน ที่คาดว่าเกิดจากเชื้อรา *Fusarium* sp. พบปลายกิ่งทุเรียนมีลักษณะอาการเหี่ยวแห้ง มีกลุ่มเส้นใยสีขาวติดอยู่ที่กิ่ง (Figure 1A) เมื่อตัดตามขวาง พบวงสีน้ำตาลตรงในกิ่ง (Figure 1B) และตัดตามยาว พบตรงแกนของกิ่งเป็นสีน้ำตาล (Figure 1C) ทำการแยกเชื้อด้วยวิธี tissue transplanting technique และทำการแยกเชื้อราบริสุทธิ์ จาก single spore ได้จำนวน 1 ไอโซเลท คือ FUC2_7

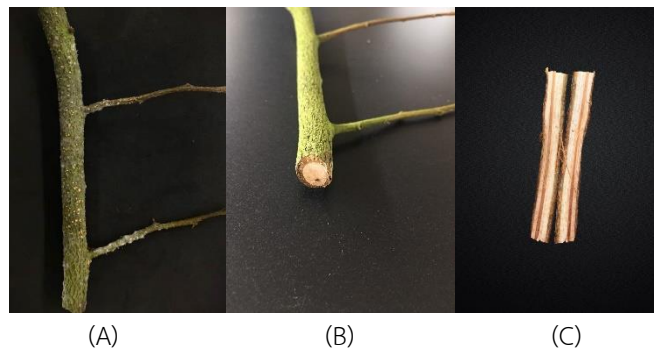


Figure 1 External symptoms and internal symptoms of dieback disease causing *Fusarium* sp.; (A) mycelium on the branches, (B) cross section, (C) longitudinal section.

3.2 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาเชื้อรา *Fusarium* sp. สาเหตุโรคทุเรียน

จากตัวอย่างเชื้อราที่แยกได้จำนวน 1 ไอโซเลท คือ FUC2_7 นำมาศึกษาลักษณะบนอาหาร PDA พบลักษณะโคโลนีมีสีขาวครีม เส้นใยฟูขึ้นมาจากอาหาร (Figure 2A) และนำไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า พบเส้นใยของเชื้อรา มีผนังกัน แต่ไม่มีสี (Figure 2B) เชื้อรา มีการสร้างสปอร์ 2 รูปแบบ คือ macroconidia มีผนังหนา ลักษณะรูปร่างเรียวยาว ถึงกระบอก ไส ไม่มีสี ส่วนปลายมีลักษณะมน มีผนังกัน 3 – 5 เซลล์ ความยาวเฉลี่ย 28 ไมโครเมตร (Figure 2C) และ microconidia มีผนังหนา มีลักษณะรูปร่างคล้ายรูปไข่ ไส มีผนังกัน 1 เซลล์ ขนาดสปอร์เฉลี่ย 10 ไมโครเมตร (Figure 2D) จากลักษณะดังกล่าวจัดจำแนกได้เป็นเชื้อรา *Fusarium* sp. ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Fourie et al. [11] และ James et al. [12] ที่ได้ทำการศึกษาอนุกรมวิธานตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาเชื้อรา *Fusarium* sp. พบว่าเชื้อราชนิดนี้มีการสร้างสปอร์ 2 แบบ คือ macroconidia และ microconidia

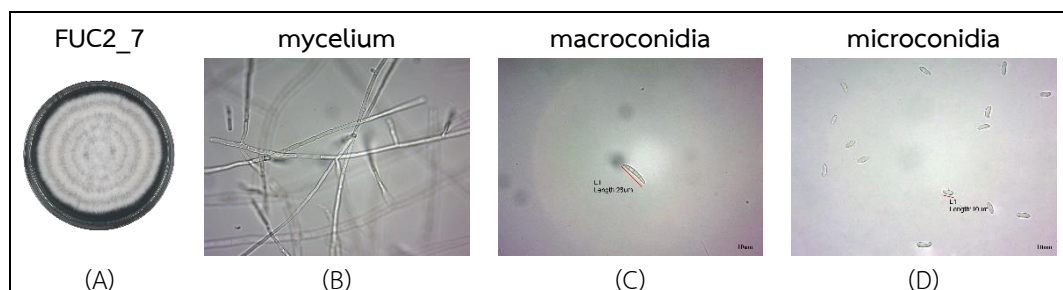


Figure 2 Morphological characteristics of *Fusarium* sp. causing durian disease; (A) colony on potato dextrose agar, (B) mycelium, (C) sickle-shaped macroconidia and (D) oval shaped microconidia (scale bar: 10 µm)

3.3 ประเมินประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการควบคุมเชื้อรา *Fusarium sp.* สาเหตุโรครุเรียน

จากการทดสอบประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์แบบเคมีสีเขียว จำนวน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบผลึกและรูปแบบสารแขวนลอย ในการควบคุมเชื้อรา *Fusarium sp.* (FUC2_7) บนอาหาร PDA พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ในรูปแบบสารแขวนลอย ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อราได้ดีที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่ 82.97 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาที่ความเข้มข้น 100 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่ 44.70 และ 26.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 3)

จากกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้น logarithm ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ รูปแบบสารแขวนลอย ดังแสดงจาก Figure 4 โดยแทนค่าให้แกน Y คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา และแกน X คือค่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ จะได้สมการ $Y = 15.543\ln(x) - 18.034$ โดยมีค่า R^2 อยู่ที่ 0.9448 นำมาคำนวณหาความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อรา 50 เปอร์เซ็นต์ และ 90 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่า EC_{50} และ EC_{90} ที่ 87.10 และ มากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

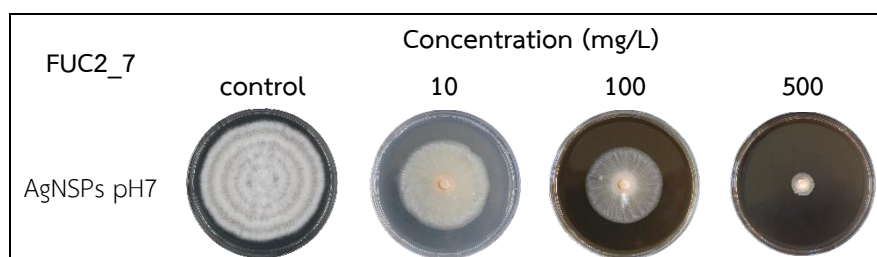


Figure 3 Effect of silver nanoparticles suspension on the mycelium growth of *Fusarium sp.* on PDA.

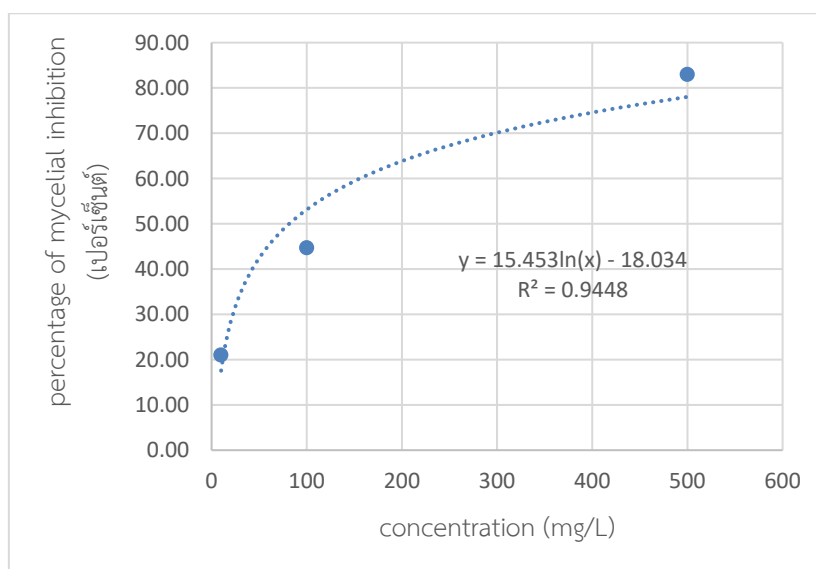


Figure 4 Silver nanoparticles suspension, regression equation, coefficient of determination (R^2), sensitivity of mycelium growth of *Fusarium sp.* causing durian disease

ในขณะที่อนุภาคนาโนซิลเวอร์ รูปแบบผลึก ที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อราได้ 15.87 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาที่ความเข้มข้น 100 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่ 8.84 และ 6.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 5)

จากกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้น logarithm ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ รูปแบบผลึก ดังแสดงจาก Figure 6 โดยแทนค่าให้ แกน Y คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา และแกน X คือค่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ จะได้สมการ $Y = 1.9369\ln(x) + 1.6357$ โดยมีค่า R^2 อยู่ที่ 0.9004 นำมาคำนวณหาความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยของ เชื้อรา 50 เปอร์เซ็นต์ และ 90 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่า EC_{50} และ EC_{90} มากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

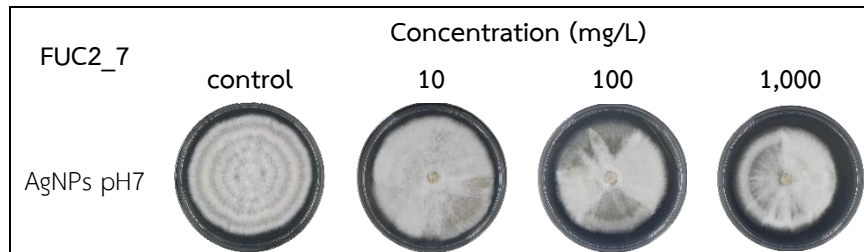


Figure 5 Effect of silver nanoparticles powder on the mycelium growth of *Fusarium* sp. on PDA.

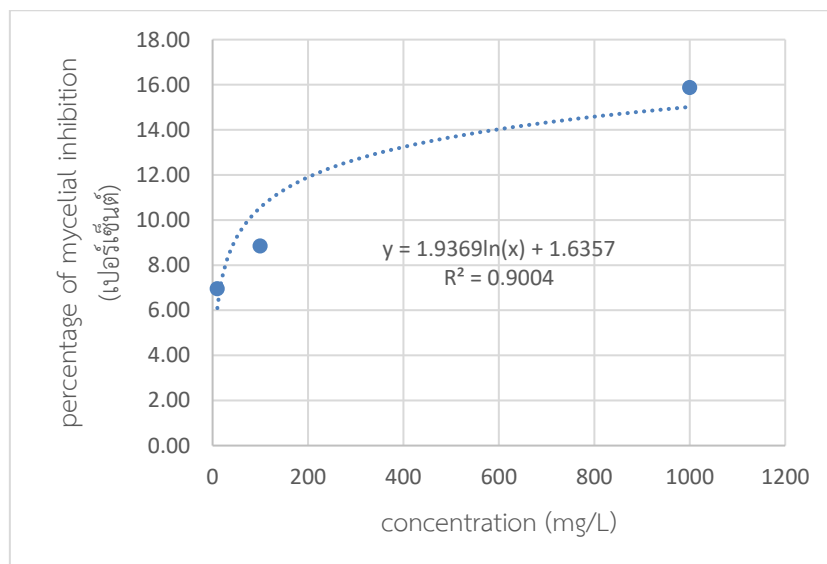


Figure 6 silver nanoparticles powder, regression equation, coefficient of determination (R^2), sensitivity of mycelium growth of *Fusarium* sp. causing durian disease

จากผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับรายงานของ adkhoo and Panieheh, 2016. [13] ที่ได้ทำการประเมินฤทธิ์ต้านเชื้อราของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ขนาด 1 – 10 นาโนเมตร ที่สังเคราะห์จากสารสกัดของเมล็ด *Satureja hortensis* ต่อเชื้อรา *Fusarium oxysporum* ที่ระดับความเข้มข้น 1,000, 2,500 และ 5,000 ppm จากการทดลองพบว่า อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 5000 ppm สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อราเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นแต่ไม่สามารถยับยั้งได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และยังสอดคล้องกับรายงานของ Ashraf et al., 2020 [14] ที่ได้ทำการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโน จากสารสกัดของใบ *Melia azedarach* อนุภาคเฉลี่ย 12 – 46 นาโนเมตร เพื่อใช้ทดสอบการยับยั้งเชื้อรา *Fusarium oxysporum* ซึ่งเป็นสาเหตุโรคเหี่ยวของมะเขือเทศ ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 20, 60, 80, 100, 120 และ 140 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า อนุภาคนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 60 – 140 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา 79-98เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีกลไกในการออกฤทธิ์จะปล่อยไอออนของซิลเวอร์ มาสะสมบนผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อรา จากนั้นจะเกิดการทำลายผนังเซลล์เข้าสู่ไซโตพลาสซึม และเมื่ออยู่ภายในเซลล์ ไอออนของซิลเวอร์จะสร้าง หรือปลดปล่อยอนุมูลอิสระของออกซิเจน (reactive oxygen species; ROS) ซึ่งเป็นสารสำคัญ ในการออกฤทธิ์ต้านจุลชีพ โดยจะก่อให้เกิดการยับยั้งการสังเคราะห์ผนังเซลล์ เกิดการยับยั้งห่วงโซ่การขนส่งอิเล็กตรอน ยับยั้งการสังเคราะห์ DNA และ mRNA ยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีน และยังสร้างความเสียหายต่อไมโทคอนเดรีย

4. สรุป

แยกเชื้อราสาเหตุโรครากแห้งทุเรียนได้ไอโซเลท FUC2_7 จัดจำแนกเป็นเชื้อรา *Fusarium* sp. ทำการทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อราของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์แบบเคมีสีเขียว รูปแบบผลึก และรูปแบบสารแขวนลอย พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์รูปแบบสารแขวนลอย ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อรา *Fusarium* sp. ได้ดีที่สุด คือ 81.83 เปอร์เซ็นต์ มีค่า EC₅₀ และ EC₉₀ อยู่ที่ 87.10 และ มากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่อนุภาคนาโนซิลเวอร์รูปแบบผลึก ที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อราได้เพียง 15.87 เปอร์เซ็นต์ มีค่า EC₅₀ และ EC₉₀ มากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. ระบบฐานข้อมูลและการให้บริการข้อมูลการค้าเกษตรต่างประเทศของประเทศไทย. (ระบบออนไลน์) เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://impexpth.oae.go.th> (เข้าถึงเมื่อ 22 มีนาคม 2566)
- [2] นิพนธ์ วิสารทานนท์. 2542. โรคทุเรียน. โครงการบรรเทาผลกระทบทางสังคมจากวิกฤติการณ์เศรษฐกิจ. ฉบับที่ 4.
- [3] รติยา พงศ์พิสุทธา, ชัยณรงค์ รัตนกริฑากุล, สันฐิติ บินคาเตอร์, กนกพร ฉัตรไชยศิริ และพัชรี บุญเรืองรอด. 2563. การตรวจสอบเชื้อราสาเหตุของโรครกั๊กแห่งของทุเรียน. แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 4. 703-714
- [4] Piasai R., Chalmers P., Piasai O and Khewkhom N. 2021. Postharvest fungicide dips to control fruit rot of 'Monthong' durian (*Durio zibethinus*). Eur J Plant pathol. 160:325-336.
- [5] Mehrdad K., Iraj S., Marcos, A. L. N., Niloofar Z. and Mohammad, R. A. 2018. Waste-grass-mediated green synthesis of silver nanoparticles and evaluation of their anticancer, antifungal and antibacterial activity. GREEN CHEMISTRY LETTERS AND REVIEWS, 125–134.
- [6] Ezzeldin I., Zhang M., Zhang Y., Afsana H., Qiu W., Chen Y., Wang Y., Wu W., Sun G. and Li B. 2020. Green-Synthesization of Silver Nanoparticles Using Endophytic Bacteria Isolated from Garlic and Its Antifungal Activity against Wheat Fusarium Head Blight Pathogen *Fusarium graminearum*. Nanomaterials, 10, 219. doi:10.3390/nano10020219
- [7] Ashvi, S. J., Pranita, S. P., Aira S., Vijayabhaskarreddy J., and Sathish D. 2021. Bionanofactories for Green Synthesis of Silver Nanoparticles: Toward Antimicrobial Applications. International Journal of Molecular sciences <https://doi.org/10.3390/ijms222111993>
- [8] Zhang, X. F., Liu, Z. G., Shen W. and Sangiliyandi G. 2016. Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches. International Journal of Molecular sciences. 17: 1534. doi:10.3390/ijms17091534
- [9] Anu R., Krishna Y. and Jagadevan S.. 2020. A comprehensive review on green synthesis of nature-inspired metal nanoparticles: Mechanism, application and toxicity. Journal of Cleaner Production. 272.
- [10] Hemlata, Prem, R. M., Arvind, P. S., and Kiran, K. T. Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Cucumis prophetarum Aqueous Leaf Extract and Their Antibacterial and Antiproliferative Activity Against Cancer Cell Lines. ACS Omega. 5520–5528; <https://dx.doi.org/10.1021/acsomega.0c00155?ref=pdf>
- [11] Fourie G., Steenkamp, E. T., Ploetz, R.C., Gordon, T. R. and Viljoen A. 2011. Current status of the taxonomic position of *Fusarium oxysporum* formae specialis cubense within the *Fusarium oxysporum* complex. Infection Genetics and Evolution. 11: 533–542. doi:10.1016/j.meegid.
- [12] Jasper, E. J., Jacinta S., Latiffah Z., Nuraini, M. R., Mariahyati, A. B., Satinee S., Jariya S., Mohd, F. A. R., Erwin L. and Richard, D. C. 2022. Morphology, Phenotype, and Molecular Identification of Clinical and Environmental *Fusarium solani* Species Complex Isolates from Malaysia. Journal of Fungi. 8: 845. <https://doi.org/10.3390/jof8080845>
- [13] Javad A., and Naser P. 2017. Evaluation of Antifungal Activity of Silver Nanoparticles on *Fusarium oxysporum*. International Journal Infection. doi: 10.5812/iji.41126
- [14] Hina A., Tehmina A., Saira R. and Shahzad N. 2020. Microwave-Assisted Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Using *Melia azedarach* for the Management of *Fusarium Wilt* in Tomato. Frontiers in Microbiology. 236.

การจำแนกลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์พื้นเมือง Identification of Local Upland Rice Varieties from Seed Morphology

ทนงเกียรติ พันแสง^{1*} ณัฐนันท์ ชมท่าไม้¹ สถาพร แก้วจันทร์¹ ณัฐพร ถิ่นวงศ์ยอด¹ ศุภกิจ แซ่หลี¹ ชุตินา เกษแก้ว¹ กัญฉิกา มุกกันต์¹
ร่วมจิตร นกเขา¹ สุมลรัตน์ จินตนาสิรินุรักษ์¹ ศศิดาร่า เจริญศิริ¹และ อภิชาติ ครุทสุวรรณ²

Thanongkiet Tansang^{1*}, Nattanan chomthamai¹, Sathaphon Kaewchan¹, Nataporn Thinwongyod¹, Suphakit Saelee¹, Chutima Katkaew¹,
Kanthika Muthukan¹, Raumjit Nokkoul¹, Sumonrut Jintanasirinuruk¹, Sasidara Charoensiri² and Apichat Crutsuan²

^{1*}ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ชุมพร

²สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ชุมพร

^{1*}Department of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon

²King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon

*Corresponding author: Thanongkiet Tansang, e-mail address: kcsasidara@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกลักษณะทางสัณฐานวิทยาของข้าวไร่พันธุ์พื้นเมือง จำนวน 21 พันธุ์ ที่รวบรวมพันธุ์จากงาน “ภูมิพลังแผ่นดิน” ระหว่างวันที่ 3-6 ธันวาคม 2565 ณ สำนักงานเกษตรเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว (องค์การมหาชน) จังหวัดปทุมธานี บันทึกข้อมูลทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ ผลการศึกษาพบว่า สีของข้าวเปลือกจำแนกได้ 6 กลุ่ม ได้แก่ สีฟาง จุดสีน้ำตาลบนฟาง ร่องสีน้ำตาลบนฟาง จุดฟางบนสีน้ำตาลแดง ร่องฟางบนสีน้ำตาลเข้ม และ ร่องฟางบนสีน้ำตาลดำ สีของเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ดจำแนกได้ 4 กลุ่ม ได้แก่ สีขาว สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแดง และ สีม่วงค่อนข้างดำ สีของปลายยอดเมล็ดระยะสุกแก่ จำแนกได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ สีน้ำตาล สีน้ำตาลดำ และ สีฟาง สีของกลีบรองดอกจำแนกได้ 4 กลุ่ม ได้แก่ สีขาวฟาง สีน้ำตาล สีน้ำตาลดำ และสีน้ำตาลแดง จำแนกความยาวของกลีบรองดอกอยู่ในกลุ่มยาว มีความยาวอยู่ในช่วง 2.60 – 3.91 มิลลิเมตร ไม่มีขน บนเปลือกเมล็ดจำนวน 9 พันธุ์ มีขนบนเปลือกเมล็ด จำนวน 12 พันธุ์ จำแนกการมีหางบนเมล็ดได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ไม่มีหางบนปลายยอดเมล็ดจำนวน 18 พันธุ์ และมีหางบนปลายยอดเมล็ดแบบ Partly owned จำนวน 3 พันธุ์ ขนาดของเมล็ดข้าวเปลือก มีขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา อยู่ในช่วง 2.54-3.83 8.22-10.84 และ 1.54- 2.48 มิลลิเมตร ตามลำดับ รูปร่างเมล็ดข้าวกล้องเป็นเมล็ดขนาดเมล็ดปานกลางสูงสุด ร่องลงมา เมล็ดเรียวยาว และ เมล็ดป้อม

คำสำคัญ: การจำแนกเมล็ดพันธุ์, ข้าวไร่พื้นเมือง, สัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์

Abstract

The purpose of this research was to characterize the morphology of 21 local upland rice cultivars that were collected from the "Phum Palang Phan Din" exhibition, between 3rd-6th December 2022 at the Golden Jubilee Museum of Agriculture Office (Public Organization), Pathum Thani Province, Thailand. Data were recorded about type of rice, seed coat color, outer seed coat color, seed tip color, flower petal color, flower petal length, hairs on the seed coat, the presence of a seed tail, grain size of paddy and brown rice, length to width ratio of brown rice grains and the shape of brown rice grains. The study found that the color of paddy can be classified into 6 groups: straw color, brown spots on the straw, brown grooves on the straw, straw spots on reddish brown, straw slits on dark brown, and straw slits on black brown. The color of the outer membrane of the seeds can be classified into 4 groups: white, light brown, reddish brown and purple towards black. The color of the tip of the seed at maturity can be classified into 3 groups: brown, black-brown and straw. The color of the secondary petals can be classified into 4 groups: straw-white, brown, black-brown and red-brown. Classify the length of the petals in the long group. There are 9 cultivars without hairs on the seed coat. There are 12 cultivars with hairs on the seed coat. There are 2 groups of tails on the seed apex, including 18 cultivars without tails on the seed apex and 3 cultivars with tails on the seed apex of the partially owned type. The size of paddy grain has a width, length, and thickness in the range of 2.54-3.83, 8.22-10.84 and 1.54-2.48 mm, respectively. The most of brown rice kernel shape was the medium kernel, followed by the slender kernel and the plump kernel. There are 2 groups of cultivars: those that have no awn on the top of the seed and those that have awns. On the tip of the partially owned seeds of 3 cultivars of paddy grain size, its width, length, and thickness were in the range of 2.54-3.83, 8.22-10.84 and 1.54-2.48 mm, respectively. The brown rice kernel shape was the largest medium kernel, followed by the slender kernel and the pom kernel.

Keywords: seed identification, local upland rice, seed morphology

1. บทนำ

ข้าวไร่พันธุ์พื้นเมือง (Local upland rice) เป็นข้าวที่ปลูกเฉพาะถิ่น จึงมีความหลากหลายของสายพันธุ์ (genetic variety) แตกต่างกันไปในพื้นที่เพาะปลูก [1] และมีบางลักษณะที่มีความจำเป็นในการปรับปรุงพันธุ์พืช เช่น การเพิ่มผลผลิต การต้านทานโรคและแมลง ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม [2] และมีสารอาหารและแร่ธาตุที่สำคัญต่อสุขภาพ ได้แก่ กรดฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ [3]-[4] ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นลักษณะพื้นฐานที่สำคัญในการนำมาใช้ในการในการจำแนกความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าว เช่น ใช้น้ำหนักเมล็ด สีของเมล็ดข้าวเปลือก สีข้าวกล้อง ขนาดและรูปร่างเมล็ด ในการประเมินราคาซื้อขาย เช่น [5] ใช้ในการจัดกลุ่มข้าวค่านาสวน [6] หรือใช้ในการจำแนกเมล็ดข้าวแดงที่ปลูกบนที่สูง [7] ในอดีตสีของข้าวเปลือกเป็นลักษณะประจำพันธุ์ จึงใช้สีของข้าวเปลือกตั้งชื่อพันธุ์ ได้แก่ ขาวพวง ขาวนางเนย เนื่องจากเปลือกมีสีฟาง หรือสีขาว หรือพันธุ์เหลืองข้างรีว เหลืองหอม เนื่องจากเปลือกมีสีน้ำตาลหรือสีเหลือง [8] นอกจากนี้ [9] ได้นำพันธุ์ข้าวพื้นเมือง 7 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ดอกพะยอม (ข้าวไร่) สังข์หยด เล็บนก เข้มทอง เหนียวดำ (ข้าวเหนียว) ฉียงพัทลุง และหอมจันทร์ ประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพื้นเมือง โดยใช้ลักษณะทาง สัณฐานวิทยาของเมล็ด พบว่า สีเปลือกเมล็ด ความยาวข้าวกล้อง สีข้าวกล้อง และรูปร่างข้าวกล้อง ความกว้างข้าวเปลือก ความยาวข้าวเปลือก ความหนาข้าวเปลือก ความกว้างข้าวกล้อง และความยาวข้าวกล้อง สามารถใช้ลักษณะดังกล่าวในการจำแนกพันธุ์ข้าวทั้ง 7 พันธุ์ได้ ข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูงที่สุดเนื่องจากมีโครงสร้างภายในประชากรในลักษณะของ Heterogeneous population [10] โดยแตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่นของแต่ละสภาพแวดล้อมที่มีความผันแปร และเมื่อเกิดการผสมข้ามพันธุ์ (outcrossing) ระหว่างพันธุ์หรือชนิดข้าวที่ปลูกไว้ จึงทำให้เกิดข้าวพื้นเมืองขึ้นเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการรักษาระดับความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพื้นเมือง และลักษณะต่างๆ ที่ข้าวพื้นเมืองสามารถปรับตัวได้ในแต่ละ ท้องถิ่นที่มีความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมที่ต่างกันั้น มีประโยชน์ในด้านของแหล่งพันธุกรรมที่สำคัญในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวในอนาคตให้เหมาะสม [11]

การจำแนกเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่ เป็นส่วนสำคัญของการทดสอบเมล็ดพันธุ์ และการปรับปรุงพันธุ์ วิธีการจำแนกเมล็ดพันธุ์ มีหลายวิธี ได้แก่ การจำแนกโดยใช้ลักษณะภายนอก การจำแนกโดยใช้ลักษณะภายในเมล็ด การจำแนกโดยลักษณะภายนอกสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างพันธุ์ของพืชชนิดเดียวกันได้ โดยดูจาก รูปร่าง ขนาด ผิวและสีเปลือกหุ้มเมล็ด และน้ำหนัก 100 เมล็ด ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถทำได้ง่าย ที่นักปรับปรุงพันธุ์ เมล็ดพันธุ์ และเกษตรกร สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์ [12] ที่สามารถช่วยให้เกษตรกร สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการคัดแยกลักษณะของเมล็ดพันธุ์ เพื่อควบคุมความบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์สำหรับใช้ปลูกในฤดูกาลต่อไป [13] ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อจำแนกลักษณะภายนอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่ 21 พันธุ์

2. วิธีการศึกษา

2.1 ตัวอย่างเมล็ดข้าว

เก็บรวบรวมเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองจากงาน “ภูมิพลังแผ่นดิน” ระหว่างวันที่ 3-6 ธันวาคม 2565 ณ สำนักงานเกษตรเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว (องค์กรมหาชน) จังหวัดปทุมธานี จำนวน 21 พันธุ์ ได้แก่ ป้อทอขอ (Beu Tor Kor) ข้าวเนียม (Khao Neum) ข้าวเงิน (Khao Ngen) ข้าวเงิน Khao Ngern) ข้าวมะลิดอก (Khao Mali Dok) ข้าวแพร่ขาว (Khao Phare Kaow) ข้าวสาย (Khao Sai) ข้าวกลอน (Khao Glon) กำไลลีมัว (Gam Lai Leum Pua) ข้าวลีมแกง (Khao Leum Gaeng) ป้อกีโพ (ป้อโซ) (Beu Gee Poh (Beu Soh)) ป้อวา (Beu Wa) ข้าวคุณ (จ.น่าน) (Khao Koon (Nan Province) ป้อซอมี (ข้าวไก่หลับ) (Beu Sor Mee (Khao Gai Lap)) แพร่สวรรค์ (Phare Sawan) ข้าวโป๊ะ (Khao Bho) ข้าวไก่น้อย (Khao Gai No) ข้าวเหนียวดำ (Khao Niew Dam) ป้อซู (Beu Soo) ข้าวแดงเล (Khao Daeng Lay) ข้าวแนะ (Khao Nae)

2.2 บันทึกลักษณะทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

2.2.1 บันทึกสีเปลือกหุ้มเมล็ด ทำการศึกษาด้วยสายตาภายใต้แว่นขยาย และแท่นวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์ ตามมาตรฐานของ IRRI [14] สีปลายยอดเมล็ด สีกลีบรองดอก การมีขนบนเปลือกเมล็ด การมีหางของเมล็ด

2.2.2 บันทึกขนาด ความกว้าง ความยาว และความหนาเมล็ดข้าวเปลือก ตามมาตรฐานของ IRRI [14] ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ทำการวัดพันธุ์ละ 20 เมล็ด บันทึกผลเป็นหน่วยมิลลิเมตร

2.2.3 บันทึกขนาดความยาวของกลีบรองดอก ตามมาตรฐานของ IRRI [12] ดังนี้

ขนาดของกลีบรองดอก	ความยาวของกลีบรองดอก (มิลลิเมตร)
ยาวมาก (Extra long)	> lemma
ยาว (Long)	> 2.5 แต่ไม่มากกว่า lemma
ปานกลาง (Medium)	1.6- 2.5
สั้น (Short)	> 1.5

2.3 บันทึกลักษณะทางกายภาพ และบันทึกขนาดความยาวของเมล็ดข้าวกล้อง

2.3.1 บันทึกสีเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นนอก ทำการศึกษาด้วยสายตาภายใต้แว่นขยาย และแท่นวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์ ตามมาตรฐานของ IRRI [14] ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ทำการวัดพันธุ์ละ 20 เมล็ด บันทึกผลเป็นหน่วยมิลลิเมตร

2.3.2 พิจารณาสัดส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวกล้อง เปรียบเทียบสัดส่วนความยาวต่อความกว้างตามมาตรฐานของ IRRI [14] เป็น 4 ระดับ ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ทำการวัดพันธุ์ละ 20 เมล็ด บันทึกผลเป็นหน่วยมิลลิเมตร ดังนี้

ขนาดของเมล็ดข้าวกล้อง	ความยาวของเมล็ดข้าวกล้อง (มิลลิเมตร)
เมล็ดยาวมาก (Extra long)	> 7.5
เมล็ดยาว (Long)	6.6 – 7.5
เมล็ดปานกลาง (Medium)	5.51 - 6.6
เมล็ดสั้น (Short)	< 5.5

2.3.3 หลังจากนั้นนำมาประเมินรูปร่างของเมล็ดข้าวกล้อง เปรียบเทียบตามมาตรฐานของ IRRI [14] เป็น 4 ระดับ ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ทำการวัดพันธุ์ละ 20 เมล็ด บันทึกผลเป็นหน่วยมิลลิเมตร ดังนี้

ขนาดของเมล็ดข้าวกล้อง	อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (มิลลิเมตร)
เรียว (Slender)	> 3.0
ปานกลาง (Medium)	2.1 – 3.0
ป้อม (Bold)	1.1 – 2.0
กลม (Round)	< 1.1

2.5 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ย ขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวกล้อง

2.6 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการเมล็ดพันธุ์พืช สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ชนิดของข้าวไร่ สีของข้าวเปลือก และ สีของเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ด

จากการรวบรวมพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองจากงาน “ภูมิพลังแผ่นดิน” ระหว่างวันที่ 3-6 ธันวาคม 2565 ณ สำนักงานเกษตรเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว (องค์กรมหาชน) จังหวัดปทุมธานี พบว่า มีข้าวเจ้า 13 พันธุ์ ได้แก่ Beu Tor Kor, Khao Neum, Khao Ngen, Khao Ngern, Khao Mali Dok, Khao Phare Kaow, Khao Sai, Khao Leum Gaeng, Beu Gee Poh (Beu Soh), Beu Wa, Beu Sor Mee (Khao Gai Lap), Beu Soo และ Khao Daeng Lay และข้าวเหนียว 8 พันธุ์ ได้แก่ Khao Glon, Gam Lai Leum Pua, Khao Koon (Nan Province), Phare Sawan, Khao Bho, Khao Gai Noi, Khao Niew Dam และ Khao Nae สามารถจัดกลุ่มจากสีของข้าวเปลือก (Lemma and palea color) ได้ 6 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มที่มีเปลือกเมล็ด สีฟาง จำนวน 10 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Beu Tor Kor, Khao Ngen, Khao Mali Dok, Khao Glon, Khao Leum Gaeng, Beu Wa, Beu Sor Mee (Khao Gai Lap), Khao Gai Noi, Khao Niew Dam และ Khao Daeng Lay 2) กลุ่มที่มีสีเปลือกเมล็ด จุดสีน้ำตาลบนฟาง จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Khao Neum และ Khao Sai 3) กลุ่มที่มีสีเปลือกเมล็ด ร่องสีน้ำตาลบนฟาง จำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ Khao Ngern, Gam Lai Leum Pua และ Beu Gee Poh (Beu Soh) 4) กลุ่มที่มีสีเปลือกเมล็ด จุดฟางบนสีน้ำตาลแดง จำนวน 1 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Khao Koon (Nan Province) 5) กลุ่มที่มีสีเปลือกเมล็ด ร่องฟางบนสีน้ำตาลเข้ม จำนวน 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Khao Phare Kaow, Phare Sawan, Khao Bho, Beu Soo และ Khao Nae และ 6) กลุ่มที่มีสีเปลือกเมล็ด ร่องฟางบนสีน้ำตาลเข้ม จำนวน 1 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Khao Bho สีเปลือกของเมล็ดข้าวมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง ส่วนรูปร่างเมล็ดมีความหลากหลายทางพันธุกรรมน้อย จึงทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่มีลักษณะภายนอกของเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกันออกไป [9], [15]-[17]

สีของเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ด (Pericarp color) แบ่งได้ 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) พันธุ์ที่มีสีของเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ดสีขาว มีพันธุ์ Beu Tor Kor, Khao Neum, Khao Ngen, Khao Ngern, Khao Mali Dok, Khao Sai, Khao Leum Gaeng, Beu Gee Poh (Beu Soh), Beu Wa, Khao Koon (Nan Province), Beu Sor Mee (Khao Gai Lap), Phare Sawan, Khao Bho, Khao Gai Noi, Beu Soo, Khao Daeng Lay และ Khao Nae 2) พันธุ์ที่มีสีของเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ดสีน้ำตาลอ่อน มี 1 พันธุ์ ได้แก่ Khao Phare Kaow 3) พันธุ์ที่มีสีของเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ดสีน้ำตาลแดง มี 1 พันธุ์ ได้แก่ Khao Glon 4) พันธุ์ที่มีสีของเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ดสีม่วงค่อนข้างดำ มี 2 พันธุ์ ได้แก่ Gam Lai Leum Pua และ Khao Niew Dam (Table 1) ตรงกับรายงานของสีของเมล็ดข้าวกล้องจะแสดงออกที่เยื่อหุ้มผล (pericarp) ซึ่งมีสีแตกต่างกัน ตั้งแต่ขาว แดง น้ำตาลเข้ม และม่วงถึงเกือบดำ ลักษณะสีที่ปรากฏความเข้มของสีเมล็ดแตกต่างกันออกไปซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ชนิด และปริมาณของรงควัตถุที่มีอยู่ในเมล็ด ธัญพืชรวมถึงความแตกต่างของสายพันธุ์การเพาะปลูก ความอ่อนแก่ และระยะเวลาการงอก ซึ่งลักษณะสีข้าวกล้องมีความหลากหลายทางพันธุกรรมรองจากสีของเปลือกเมล็ด [9]

Table 1 Type of upland rice, lemma and palea colors. and pericarp color of 21 local upland rice cultivars.

Varieties	Type of upland rice	Lemma and palea color	Pericarp color
Beu Tor Kor	Non-glutinous rice	straw	White
Khao Neum	Non-glutinous rice	brown spots on straw	White
Khao Ngen	Non-glutinous rice	straw	White
Khao Ngern	Non-glutinous rice	brown furrows on straw	White
Khao Mali Dok	Non-glutinous rice	straw	White
Khao Phare Kaow	Non-glutinous rice	straw furrows on brown	tawny
Khao Sai	Non-glutinous rice	brown spots on straw	White

Table 1 Type of upland rice, lemma and palea colors. and pericarp color of 21 local upland rice cultivars (continued).

Varieties			
	Type of upland rice	Lemma and palea color	Pericarp color
Khao Glon	Glutinous rice	straw	reddish brown
Gam Lai Leum Pua	Glutinous rice	brown furrows on straw	shades of purple, or sooty black
Khao Leum Gaeng	Non-glutinous rice	straw	White
Beu Gee Poh (Beu Soh)	Non-glutinous rice	brown furrows on straw	White
Beu Wa	Non-glutinous rice	straw	White
Khao Koon (Nan Province)	Glutinous rice	straw spots on russet	White
Beu Sor Mee (Khao Gai Lap)	Non-glutinous rice	straw	White
Phare Sawan	Glutinous rice	straw furrows on brown	White
Khao Bho	Glutinous rice	straw furrows on dark brown	White
Khao Gai Noi	Glutinous rice	straw	White
Khao Niew Dam	Glutinous rice	straw	shades of purple, or sooty black
Beu Soo	Non-glutinous rice	straw furrows on brown	White
Khao Daeng Lay	Non-glutinous rice	straw	White
Khao Nae	Glutinous rice	straw furrows on brown	White

3.2 สีของปลายยอดเมล็ด สีของกลีบรองดอก ความยาวของกลีบรองดอก และขนบนเปลือกเมล็ด

สีของปลายยอดเมล็ดระยะสุกแก่ (Apiculus of lemma and palea color at ripening) ของข้าวไร่ 21 พันธุ์ (Table 2) แบ่งได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) สีของปลายยอดเมล็ดสีน้ำตาล จำนวน 11 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Beu Tor Kor, Khao Ngern, Khao Mali Dok, Khao Phare Kaow, Khao Sai, Beu Wa, Beu Sor Mee, Phare Sawan, Khao Niew Dam, Khao Daeng Lay และ Khao Nae 2) สีของปลายยอดเมล็ดสีน้ำตาลดำ จำนวน 7 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Khao Neum, Khao Ngen, Beu Gee Poh, Khao Koon, Khao Bho, Khao Gai Noi และ Beu Soo 3) สีของปลายยอดเมล็ดสีฟาง จำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Khao Glon, Gam Lai Leum Pua และ Khao Leum Gaeng จากการทดลอง พบสีของปลายยอดเมล็ดระยะสุกสีน้ำตาลมากที่สุด 52.38 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา สีของปลายยอดเมล็ดสีน้ำตาลดำ และ สีของปลายยอดเมล็ดสีฟาง 33.33 และ 14.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สีของกลีบรองดอก (Sterile lemmas color) แบ่งได้ 4 กลุ่ม (Table 2) ได้แก่ 1) สีของกลีบรองดอกสีขาวฟาง จำนวน 14 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Beu Tor Kor, Khao Neum, Khao Ngen, Khao Ngern, Khao Phare Kaow, Khao Sai, Khao Glon, Gam Lai Leum Pua, Khao Leum Gaeng, Beu Wa, Beu Sor Mee, Khao Niew Dam, Khao Daeng Lay และ Khao Nae 2) สีของกลีบรองดอกสีน้ำตาล จำนวน 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Khao Mali Dok, Beu Gee Poh, Phare Sawan และ Khao Gai Noi 3) สีของกลีบรองดอกสีน้ำตาลแดง จำนวน 1 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Khao Koon และ 4) สีของกลีบรองดอกสีน้ำตาลดำ จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Khao Bho และ Beu Soo สีของกลีบรองดอกที่พบ จะพบสีขาวฟางมากที่สุดร้อยละ 66.66 ใกล้เคียงกับรายงานของ [18] ที่รายงานว่า สีกลีบรองดอกพบสีขาวมากที่สุด 55.7 เปอร์เซ็นต์

ความยาวของกลีบรองดอก (Sterile lemmas length) (Table 2) ของข้าวไร่ 21 พันธุ์ จำแนกความยาวของกลีบรองดอกอยู่ในกลุ่มยาว มีความยาวอยู่ในช่วง 2.60 – 3.91 มิลลิเมตร โดยพันธุ์ข้าวที่มีความยาวของกลีบรองดอก 2.60-2.98 มิลลิเมตร มีจำนวน 8 พันธุ์ คิดเป็นร้อยละ 38.10 และพันธุ์ข้าวที่มีความยาวของกลีบรองดอก 3.00-3.91 มิลลิเมตร มีจำนวน 13 พันธุ์ คิดเป็นร้อยละ 61.90

การมีขนบนเปลือกเมล็ด (Hairs on lemma) จำแนกได้ 2 กลุ่ม (Table 2) ได้แก่ 1) พันธุ์ไม่มีขน (glabrous) บนเปลือกเมล็ด จำนวน 9 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Beu Tor Kor, Khao Ngen, Khao Ngern, Khao Mali Dok, Khao Glon, Gam Lai Leum Pua, Beu Gee Poh, Beu Sor Mee และ Beu Soo และ 2) พันธุ์ที่มีขน (pubescent) บนเปลือกเมล็ด จำนวน 12 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Khao Neum, Khao Phare Kaow, Khao Sai, Khao Leum Gaeng, Beu Wa, Khao Koon, Phare Sawan, Khao Bho,

Khao Gai Noi, Khao Niew Dam, Khao Daeng Lay และ hao Nae จากการศึกษาพบการมีขนบนเปลือกเมล็ดมากกว่าการไม่มีขนบนเมล็ด คิดเป็นร้อยละ 57.14 รองลงมาไม่มีขนบนเปลือกเมล็ด 42.85 เปอร์เซ็นต์

Table 2 Apiculus of lemma and palea color at ripening, sterile lemmas color, sterile lemmas length, hairs on lemma and awning of 21 local upland rice.

Varieties	Seed morphological characteristics				
	Apiculus of lemma and palea color at ripening	Sterile lemmas color	Sterile lemmas length (mm)	Hairs on lemma	Awnness
Beu Tor Kor	brown	straw white	long	glabrous	absent
Khao Neum	dark brown	straw white	long	pubescent	absent
Khao Ngen	dark brown	straw white	long	glabrous	partly owned
Khao Ngern	brown	straw white	long	glabrous	absent
Khao Mali Dok	brown	brown	long	glabrous	absent
Khao Phare Kaow	brown	straw white	long	pubescent	absent
Khao Sai	brown	straw white	long	pubescent	absent
Khao Glon	straw	Straw white	long	glabrous	absent
Gam Lai Leum Pua	straw	straw white	long	glabrous	absent
Khao Leum Gaeng	straw	straw white	long	pubescent	absent
Beu Gee Poh (Beu Soh)	dark brown	brown	long	glabrous	absent
Beu Wa	brown	straw white	long	pubescent	absent
Khao Koon (Nan Province)	dark brown	reddish brown	long	pubescent	absent
Beu Sor Mee (Khao Gai Lap)	brown	straw white	long	glabrous	absent
Phare Sawan	brown	brown	long	pubescent	absent
Khao Bho	dark brown	dark brown	long	pubescent	absent
Khao Gai Noi	dark brown	brown	long	pubescent	absent
Khao Niew Dam	brown	Straw white	long	pubescent	absent
Beu Soo	dark brown	dark brown	long	glabrous	absent
Khao Daeng Lay	brown	straw white	long	pubescent	partly owned
Khao Nae	brown	Straw brown	long	pubescent	partly owned

3.3 การมีหางปลายยอดเมล็ด และขนาดของเมล็ดข้าวเปลือก

การมีหางบนปลายยอดเมล็ดข้าว (Awnness) ข้าวไร่ 21 พันธุ์ (Table 2) จำแนกตามลักษณะการมีหางบนเมล็ดได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มที่ไม่มีหางบนปลายยอดเมล็ด (absent) จำนวน 18 พันธุ์ ได้แก่ Beu Tor Kor, Khao Neum, Khao Ngern, Khao Mali Dok, Khao Phare Kaow, Khao Sai, Khao Glon, Gam Lai Leum Pua, Khao Leum Gaeng, Beu Gee Poh, Beu Wa, Khao Koon, Beu Sor Mee, Phare Sawan, Khao Bho, Khao Gai Noi, Khao Niew Dam และ Beu Soo และ 2) กลุ่มที่มีหางบนปลายยอดเมล็ดแบบ Partly owned จำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ Khao Ngen, Khao Daeng Lay และ Khao Nae ข้าวแต่ละพันธุ์มีหางแตกต่างกัน พันธุ์ที่มีหางบนเมล็ดแบบ Partly owned ในรวงจะมีหางและไม่มีหางอยู่ในรวงเดียวกัน ลักษณะการมีหางของเมล็ดข้าว [19] รายงานไว้ มี 4 แบบ ได้แก่ แบบที่ 1 ในรวงมีหางทุกเมล็ดแต่สั้นยาวไม่เท่ากัน แบบที่ 2 ในรวงจะมีหางและไม่มีหางอยู่ในรวงเดียวกัน แบบที่ 3 ในรวงเมล็ดมีหางปลายระแง และ แบบที่ 4 ในรวงเมล็ดไม่มีหางเลย จากการศึกษาพันธุ์ข้าวที่พบส่วนใหญ่ไม่มีหางบนปลายยอดเมล็ดคิดเป็นร้อยละ 85.71 ในขณะที่พันธุ์ที่มีหางบนปลายยอดเมล็ดแบบ Partly owned คิดเป็นร้อยละ 14.28

ขนาดของเมล็ดข้าวเปลือก (Seed size) ความกว้าง ความยาว และความหนาของเมล็ดข้าวเปลือก (Table 3) ข้าวไร่ทั้ง 21 พันธุ์ มีขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา อยู่ในช่วง 2.54-3.83 8.22- 10.84 และ 1.54- 2.48 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ซึ่งขนาดความยาว ความกว้าง และความหนาของเมล็ดข้าวเปลือก แต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะดังกล่าวผันแปรไปตามลักษณะทางพันธุกรรม และสภาพแวดล้อม ซึ่งขนาดเมล็ดเป็นลักษณะที่ได้จากต้นแม่ ปริมาณธาตุอาหารและความชื้นในดินขณะที่เมล็ดพันธุ์พัฒนาจึงมีอิทธิพลต่อขนาดของเมล็ด [11] ขนาดของเมล็ดมีผลต่อผลผลิตของข้าว ข้าวที่มีขนาดเมล็ดใหญ่จะทำให้ได้น้ำหนักสูงกว่าข้าวที่มีขนาดของเมล็ดเล็ก

Table 3 Seed size and shape of brown rice of 21 local upland rice cultivars.

Varieties	seed size (mm.)				Shape
	Width (W)	Length (L)	thickness	L/W ratio	
Beu Tor Kor	3.31	9.85	2.11	2.97	Medium
Khao Neum	3.44	9.51	2.20	2.76	Medium
Khao Ngen	3.12	10.15	2.20	3.53	Slender
Khao Ngern	3.15	10.06	2.10	3.15	Slender
Khao Mali Dok	3.51	10.82	2.12	3.22	Slender
Khao Phare Kaow	3.23	9.98	1.91	3.07	Slender
Khao Sai	3.47	9.87	2.42	2.81	Medium
Khao Glon	3.26	10.57	2.05	3.25	Slender
Gam Lai Leum Pua	3.40	10.84	2.13	3.18	Slender
Khao Leum Gaeng	3.00	9.18	2.07	3.05	Slender
Beu Gee Poh (Beu Soh)	2.95	8.86	2.10	2.38	Medium
Beu Wa	3.75	9.21	2.32	2.07	Bold
Khao Koon (Nan Province)	3.81	8.22	2.27	1.86	Bold
Beu Sor Mee (Khao Gai Lap)	3.22	9.96	2.23	2.18	Medium
Phare Sawan	3.78	10.37	2.37	2.40	Medium

Table 3 Seed size and shape of brown rice of 21 local upland rice cultivars (continued).

Varieties	seed size (mm.)				Shape
	Width (W)	Length (L)	thickness	L/W ratio	
Khao Bho	3.68	8.39	2.24	2.00	Bold
Khao Gai Noi	3.83	8.53	2.48	1.86	Bold
Khao Niew Dam	3.43	9.45	2.27	2.46	Medium
Beu Soo	2.54	9.86	1.54	3.82	Slender
Khao Daeng Lay	3.32	9.22	2.24	2.49	Medium
Khao Nae	3.57	9.39	2.29	2.25	Medium

3.4 ขนาดความกว้าง ความยาว สัดส่วนความยาวต่อความกว้าง และรูปร่างของเมล็ดข้าวกล้อง

ขนาดความกว้าง ความยาว สัดส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 1.92-3.50 6.01-10.84 1.86-3.82 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Table 3) สามารถจำแนกลักษณะรูปร่างตามขนาดของเมล็ดข้าวกล้อง ได้ 3 ลักษณะ ได้แก่ 1) เมล็ด

ข้าวกล้องที่มีขนาดของเมล็ดเรียวยาว (Slender) มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง มากกว่า 3 มิลลิเมตร จำนวน 8 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Khao Ngen, Khao Ngern, Khao Mali Dok, Khao Phare Kaow, Khao Glon, Gam Lai Leum Pua, Khao Leum Gaeng และ Beu Soo 2) เมล็ดข้าวกล้องที่มีขนาดของเมล็ดปานกลาง (Medium) มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง 2.1–3.0 มิลลิเมตร จำนวน 9 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Beu Tor Kor, Khao Neum, Khao Sai, Beu Gee Poh, Beu Sor Mee, Phare Sawan, Khao Niew Dam, Khao Daeng Lay และ Khao Nae 3) เมล็ดข้าวกล้องที่มีขนาดของเมล็ดป้อม (Bold) มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง 1.1–2.0 มิลลิเมตร จำนวน 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Beu Wa, Khao Koon, Khao Bho และ Khao Gai Noi รูปร่างเมล็ดข้าวกล้องที่มีขนาดของเมล็ดปานกลาง มีจำนวนสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 42.85 รองลงมาเป็นเมล็ดข้าวกล้องที่มีขนาดของเมล็ดเรียวยาว และ เมล็ดข้าวกล้องที่มีขนาดของเมล็ดป้อม คิดเป็นร้อยละ 38.09 และ 19.04 ตามลำดับ พันธุ์ข้าวที่รวบรวมได้ มีรูปร่างเมล็ดปานกลางและป้อมมากกว่าเมล็ดเรียวยาวอาจเนื่องจากพันธุ์ข้าวส่วนใหญ่มาจากภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พันธุ์ที่มาจากสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน และลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่ต่างกันมีผลทำให้เกิดความหลากหลายของพันธุ์กรรม จึงทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่มีลักษณะภายนอกของเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกันออกไป



Figure 1 Morphological characters of 21 upland rice cultivar seeds.

4. สรุป

จากการรวบรวมพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองจากงาน “ภูมิพลังแผ่นดิน” ระหว่างวันที่ 3-6 ธันวาคม 2565 ณ สำนักงานเกษตรเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว (องค์กรมหาชน) จังหวัดปทุมธานี สามารถสรุปได้ดังนี้

จากการรวบรวมพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง 21 จำแนกเป็นมีข้าวเจ้า 13 พันธุ์ และข้าวเหนียว 8 พันธุ์ สามารถจัดกลุ่มจากสีของข้าวเปลือกได้ 6 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มที่มีเปลือกเมล็ด สีฟาง จำนวน 10 พันธุ์ 2) กลุ่มที่มีสีเปลือกเมล็ด จุดสีน้ำตาลบนฟาง จำนวน 2 พันธุ์ 3) กลุ่มที่มีสีเปลือกเมล็ด ร่องสีน้ำตาลบนฟาง จำนวน 3 พันธุ์ 4) กลุ่มที่มีสีเปลือกเมล็ด จุดฟางบนสีน้ำตาลแดง จำนวน 1 พันธุ์ 5) กลุ่มที่มีสีเปลือกเมล็ด ร่องฟางบนสีน้ำตาลเข้ม จำนวน 4 พันธุ์ 6) กลุ่มที่มีสีเปลือกเมล็ด ร่องฟางบนสีน้ำตาล

สีของเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ด แบ่งได้ 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) พันธุ์ที่มีสีของเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ดสีขาว จำนวน 17 พันธุ์ 2) พันธุ์ที่มีสีของเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ดสีน้ำตาลอ่อน มี 1 พันธุ์ 3) พันธุ์ที่มีสีของเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ดสีน้ำตาลแดง มี 1 พันธุ์ 4) พันธุ์ที่มีสีของเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ดสีม่วงค่อนข้างดำ มี 2 พันธุ์

สีของปลายยอดเมล็ดระยะสุกแก่ จำแนกได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ สีน้ำตาล สีน้ำตาลดำ และ สีฟาง สีของกลีบรองดอกจำแนกได้ 4 กลุ่ม ได้แก่ สีขาวฟาง สีน้ำตาล สีน้ำตาลดำ และสีน้ำตาลแดง จำแนกความยาวของกลีบรองดอกอยู่ในกลุ่มยาว มีความยาวอยู่ในช่วง 2.60 - 3.91 มิลลิเมตร ไม่มีขน บนเปลือกเมล็ด จำนวน 9 พันธุ์ มีขนบนเปลือกเมล็ด จำนวน 12 พันธุ์ จำแนกการมีหางบนเมล็ดได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ไม่มีหางบนปลายยอดเมล็ด จำนวน 18 พันธุ์ และมีหางบนปลายยอดเมล็ดแบบ Partly owned จำนวน 3 พันธุ์ ขนาดของเมล็ดข้าวเปลือก มีขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา อยู่ในช่วง 2.54-3.83 8.22- 10.84 และ 1.54- 2.48 มิลลิเมตร ตามลำดับ รูปร่างเมล็ดข้าวกล้องเป็นเมล็ดขนาดเมล็ดปานกลางสูงสุด ร่องลงมา เมล็ดเรียวยาว และ เมล็ดป้อม ความหลากหลายทางพันธุกรรมที่จำแนกโดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาสามารถทำได้ง่าย ที่นักปรับปรุงพันธุ์ นักเมล็ดพันธุ์ และเกษตรกร สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์ โดยการคัดแยกลักษณะของเมล็ดพันธุ์ เพื่อควบคุมความบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์สำหรับใช้ปลูกในฤดูกาลต่อไป และสามารถอนุรักษ์พันธุ์เพื่อใช้เป็นฐานพันธุกรรมในการปรับปรุงพันธุ์พืช

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเกษตรกรที่เป็นเจ้าของพันธุ์ข้าว และสำนักงานเกษตรเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว (องค์กรมหาชน) จังหวัดปทุมธานี ที่ได้จัดงาน “ภูมิพลังแผ่นดิน” ที่ช่วยให้นักวิจัยสามารถรวบรวมพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองจากเครือข่าย 4 ภาคของประเทศไทย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมการข้าว. 2553.องค์ความรู้เรื่องข้าว. เข้าถึงได้จาก: เว็บไซต์ <http://www.ricethailand.go.th/rice%20web/Index.html> (เข้าถึงเมื่อ 20 มกราคม 2565).
- [2] สำเร็จ แซ่ตัน รุจิรา ปรีชา ขวัญใจ คชภักดี อมรศักดิ์ แวศักดิ์ ประสิทธิ์ ศรีทองแก้ว อำพา ขำประเสริฐ และนาตยา หนูนอง. 2550. ข้าวพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ เล่ม 1. กรมการข้าว สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง, พัทลุง.
- [3] Su Tian, Kozo Nakamura and Hiroshi Kayahara. 2004. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (2004), pp. 4808-4813
- [4] Zhongkai Zhou, Kevin Robards, Stuart Helliwell, Christopher Blanchard. 2004. The distribution of phenolic acid in rice. *Food Chemistry*, pp. 401-406.
- [5] เครือวัลย์ อัดตะวิริยะสุข. 2536. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- [6] ธีระ ธรรมวงศา จิรวัดน์ สนิทชน อมรรัตน์ มีสวาสดี และปิยะรัตน์ อธิรัตน์. 2555. ลักษณะสัณฐานวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ของข้าวเปลือกข้าวค่านาสวนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 40(4), หน้า 1138-1148.
- [7] สุรัตน์ นักหล่อ และพูนพิสมัย มีลาภ. 2545. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเมล็ดข้าวแดงที่ปลูกบนที่สูง. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <http://www.phtnet.org/download/FullPaper/pdf/2ndSeminarKKU/af029.pdf> (เข้าถึงเมื่อ 20 มกราคม 2565)
- [8] เอกสงวน ชูวิสิฐกุล. 2544. เทคโนโลยีการผลิตข้าวพันธุ์ดี. สถาบันวิจัยข้าว กรมการข้าว, กรุงเทพฯ.
- [9] นันทิยา พนมจันทร์ และวิจิตรา อมรรวิริยะชัย. 2554. ความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพื้นเมืองบริเวณลุ่มน้ำทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ด. *วารสารหาดใหญ่วิชาการ*. 9: 25-31.
- [10] Frankel, O.H., A.D.H. Brown, and J.J. Burdon. 1995. *The conservation of plant biodiversity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [11] พิชัย บุตรสีภูมิ และอนุพงศ์ วงศ์ตามี. 2563. การจัดกลุ่มด้วยลักษณะทางคุณภาพ ลักษณะทางปริมาณ และคุณภาพการหุงต้มของข้าวพื้นเมือง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 51 : 1 (พิเศษ) : 304-309 (2563)
- [12] ขวัญจิตรา สันติประชา. 2534. การผลิตเมล็ดพันธุ์ดี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่, สงขลา.
- [13] ธีรยุทธ์ วิจิตรภาพ และร่วมจิตร นกเขา. 2559. การจำแนกลักษณะภายนอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่. ใน: การประชุมเมล็ดพันธุ์พืชแห่งชาติ ครั้งที่ 13. 21-25 มิถุนายน 2559. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตสุรินทร์, สุรินทร์. หน้า 360-367.
- [14] IRRI. 2002. *Standard Evaluation System for Rice*. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
- [15] อรรวรรณ สมใจ จรัสศรี นวลศรี และ ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2553. ความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพื้นเมือง บริเวณลุ่มน้ำนาทวี จังหวัดสงขลา โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดและเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร* 41: 89-97.
- [16] วิชุดา ต๊ะใจ และดำเนิน กาละดี. 2549. การใช้ลักษณะเมล็ดเพื่อแยกพันธุ์กรรมบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์ ข้าวไร่ก่อนปลูก ที่บ้านอาเโฮใหม่ อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร* 37 : 183-186.
- [17] นันทิยา พนมจันทร์ และ กษมาพร ทองเขียว. 2554. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดและปริมาณแอนโทไซยานินสีในข้าวสีพื้นเมือง. *วารสารหาดใหญ่วิชาการ*. 9(1): 17-24.
- [18] ชยุต ศรีฮาญญู จิรวัดน์ สนิทชน และช่อแก้ว อนิลบล. 2562. การประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมของเชื้อพันธุกรรมข้าวพื้นเมืองโดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและเครื่องหมายโมเลกุลชนิด SSR. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*. 37(3): 479-488.
- [19] Chang, T.T. and Bardenas, E.A. 1965. *The morphology and varietal characteristics of the rice plant*. Los Baños, Laguna : IRRI.

ผลของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้สารสกัดใบชะมวงต่อเชื้อรา *Phytophthora palmivora* และ *Colletotrichum* sp. สาเหตุโรคมะเร็ง

Effect of silver nanoparticles using cowa leaf extract on *Phytophthora palmivora* and *Colletotrichum* sp. causing durian diseases

เอมวิกา ภัคดีประชุม^{1*} นิสรา วีระวงษ์¹ อุษา สุขชา² สิริฉัตรณ์ช ภัคดีพรหมมา² และ พรประพา คงตระกูล¹

Amwika Pakdeepachum¹, Nisara Weerawong¹, Usa Sukkha², Sirichatnach Pakdeepromma², and Pornprapa Kongtragoul¹

¹ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

²ภาควิชาพื้นฐานทั่วไป สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

¹Department of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, Chumphon

²Department of General Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon

*Corresponding author: เอมวิกา ภัคดีประชุม, 65206013@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

เชื้อรา *Phytophthora palmivora* และ *Colletotrichum* sp. เป็นเชื้อสาเหตุโรคที่สร้างความเสียหายต่อการผลิตทุเรียนสามารถเข้าทำลายได้ทุกระยะของการเจริญเติบโต ทำให้เกษตรกรนิยมใช้สารเคมีเพื่อป้องกันกำจัดโรครดดังกล่าว เพราะด้วยความสะดวกและรวดเร็ว แต่การใช้ในระยะยาวอาจนำไปสู่การต้านทานของเชื้อสาเหตุโรค จึงมีการนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาประยุกต์ใช้ทดแทนสารเคมีเพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือก ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อแยกและศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *P. palmivora* และ *Colletotrichum* sp. สาเหตุของโรคมะเร็ง และทดสอบประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้สารสกัดใบชะมวงในสภาวะ pH 4, 7 และ 10 ที่ระดับความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อราในสภาพห้องปฏิบัติการ พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้สารสกัดใบชะมวงในสภาวะค่า pH 4 ที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อรา *P. palmivora* ได้ดีที่สุด 100 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือในสภาวะ pH 7 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ 93.76 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้สารสกัดใบชะมวงสภาวะ pH 4 และ pH 7 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ได้ดีที่ 74.06 เปอร์เซ็นต์ และ 62.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: อนุภาคนาโนซิลเวอร์, ใบชะมวง, *Phytophthora palmivora*, *Colletotrichum* sp.

Abstract

Phytophthora palmivora and *Colletotrichum* sp. are causing durian diseases because they can damage all stages of durian plantations. Almost all durian farmers use fungicides to control these diseases because they are convenient and effective, but long-term use may lead to the fungicide-resistant pathogen. Therefore, silver nanoparticles have been applied to replace chemical fungicides as an alternative control. The objectives of this study were to isolate and characterize the morphology of *P. palmivora* and *Colletotrichum* sp. causing durian disease and to test the efficiency of silver nanoparticles synthesized using cowa leaf extract with pH 4, 7, and 10 at concentrations of 0 (control), 10, 100 and 500 mL/L on the mycelial growth of both pathogens in vitro. It was found that silver nanoparticles synthesized using cowa leaf extract with pH 4 at a concentration of 500 mL/L completely inhibited the mycelial growth of *P. palmivora* at 100%, followed by pH 7 at 500 mL/L at 93.76%. Meanwhile, silver nanoparticles synthesized using cowa leaf extract with pH 4 and pH 7 at 500 mL/L could inhibit the mycelial growth of *Colletotrichum* sp. at 74.06% and 62.33%, respectively.

Keywords: silver nanoparticles, cowa leaf, *Phytophthora palmivora*, *Colletotrichum* sp.

1. บทนำ

ทุเรียน (*Durio zibethinus*) เป็นผลไม้ที่สำคัญของประเทศไทย เพราะมีการผลิตและส่งออกเป็นอันดับ 1 ของโลก ในปี 2564 ประเทศไทยมีผลผลิตทุเรียนสด 875,097,018 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2563 ร้อยละ 40.94 และมีมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นร้อยละ 66.39 ซึ่งเป็นผลมาจากการขยายพื้นที่เพาะปลูก [1] จากการวิเคราะห์อนาคตทุเรียนไทย ปัญหาด้านโรคยังคงเป็นจุดอ่อนในการแข่งขันทางการค้า [2] โดยเฉพาะสาเหตุจากเชื้อราที่พบการแพร่ระบาดและทำความเสียหายให้กับแปลงทุเรียนทั่วทุกภาคของประเทศไทย ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันและทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้น โดยเชื้อราที่สำคัญคือ *Phytophthora palmivora* สาเหตุโรครดเน่า รากเน่า และโคนเน่า และเชื้อรา *Colletotrichum* sp. สาเหตุของโรคแอนแทรคโนส เข้าทำลาย ใบ ดอก และผล [3] ทั้งนี้เชื้อราดังกล่าวสามารถเข้าทำลายทุกระยะการเจริญเติบโตของทุเรียน ประกอบกับเชื้อราเหล่านี้สามารถปรับตัวเจริญเติบโตได้ทุกสภาวะแวดล้อมจนเกิดเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรค และเมื่อเชื้อราเข้าทำลายทุเรียนส่งผลเสียหายต่อปริมาณและคุณภาพในการผลิตทุเรียน ทั้งนี้เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเพราะคาดหวังว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีอื่น แต่การใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานอาจนำไปสู่การต้านทานต่อสารเคมีป้องกันกำจัดของเชื้อสาเหตุโรค และเชื้อที่ต้านทานต่อสารเคมีดังกล่าวอาจมีแนวโน้มพัฒนาขยายพันธุ์ในอัตราเพิ่มขึ้น ส่งผลทางเศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมต่อไป [4]

ปัจจุบันมีการนำวัสดุนาโนมาประยุกต์ใช้ทดแทนสารเคมีป้องกันเชื้อราสาเหตุโรคพืช ทั้งนี้พบว่าสารสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์แบบชีวภาพโดยเฉพาะการสังเคราะห์ที่ใช้สารสกัดจากพืชเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้สนใจทดลองอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้สารสกัดใบชะมวง เพื่อป้องกันกำจัดเชื้อราข้างต้น เพราะจากคุณสมบัติอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดเล็ก ประมาณ 1-100 นาโนเมตร ส่งผลให้มีพื้นผิวสัมผัสสูง และคาดว่าจะมีกลไกการออกฤทธิ์ต้านเชื้อรา ตามรายงานของ Jain มีการรายงานว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะปล่อยไอออนซิลเวอร์มาสะสมบนผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ จากนั้นจะเข้าสู่ไซโตพลาสซึม และเมื่ออยู่ในเซลล์ไอออนซิลเวอร์จะสร้างหรือปลดปล่อยอนุมูลอิสระของออกซิเจน (reactive oxygen species; ROS) ซึ่งออกฤทธิ์ต้านจุลชีพ ดังนี้ 1) การยับยั้งการสังเคราะห์ผนังเซลล์ 2) การทำลายเยื่อหุ้มเซลล์และการรั่วซึม 3) การยับยั้งห่วงโซ่การขนส่งอิเล็กตรอน 4) ยับยั้งการสังเคราะห์ DNA 5) ยับยั้งการสังเคราะห์ mRNA 6) ยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีน และ 7) สร้างความเสียหายต่อไมโทคอนเดรีย [5] ทั้งนี้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้สารสกัดใบชะมวงมีความเป็นพิษต่ำจึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับการทดลองครั้งนี้ได้นำสารสกัดจากใบชะมวงมาใช้สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ เนื่องจากเป็นแหล่งของสารทุติยภูมิ เช่น xanthones, phloroglucinols, terpenoids, steroids และ flavonoids เพราะสารทุติยภูมิดังกล่าวที่มีในสารสกัดจากพืชจะเกิดการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เร็วกว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนด้วยจุลินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการข้างต้นยังมีปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดพืช สภาวะความเป็นกรดต่างในการสังเคราะห์ (pH) อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น และเวลาในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น [6] ที่มีความเหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางนำมาใช้ทดแทนสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราสาเหตุโรคพืชต่อไป และยังสามารลดสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อม ทำให้มีความปลอดภัยต่อเกษตรกรและผู้บริโภค [7], [8] วัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้ 1) เพื่อเก็บรวบรวม แยก และศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *P. palmivora* และ *Colletotrichum* sp. สาเหตุของโรคทุเรียน 2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ใช้สารสกัดใบชะมวงต่อการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา *P. palmivora* และ *Colletotrichum* sp.

2. วิธีการศึกษา

2.1 เก็บรวบรวมและแยกเชื้อรา *P.palmivora* และ *Colletotrichum* sp. สาเหตุของโรคทุเรียน

เก็บตัวอย่างทุเรียนที่แสดงอาการโรครดเน่า รากเน่า และโคนเน่าที่คาดว่าเกิดจากเชื้อรา *P. palmivora* และอาการโรคแอนแทรคโนสที่คาดว่าจะเกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum* sp. พร้อมทั้งถ่ายภาพและบันทึกรายละเอียด จากนั้นนำตัวอย่างพืชที่เป็นโรคแยกเชื้อราสาเหตุของโรคในห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธี tissue transplanting technique ตัดชิ้นพืชบริเวณแผลที่พืชโดนทำลายของเชื้อสาเหตุ ขนาดประมาณ 0.5 × 0.5 เซนติเมตร ฆ่าเชื้อบริเวณพื้นผิวโดยแช่ Clorox 10% ประมาณ 3-5 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ ประมาณ 3-5 นาที ซับด้วยกระดาษทิชชูที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อให้แห้ง แล้วนำชิ้นส่วนพืชที่มีอาการของโรค *P. palmivora* ไปวางบนอาหาร V8 agar ผสม selective media และในส่วนของอาการโรค *Colletotrichum* sp. แล้วนำชิ้นส่วนพืชไปวางบนอาหาร water agar (WA) เมื่อสังเกตเห็นเส้นใยของเชื้อราที่เจริญออกมา ใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ที่ลนไฟฆ่าเชื้อแล้ว ตัดบริเวณปลายเส้นใยที่เจริญออกมาแล้ววางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ เชื้อรา *P. palmivora* นำไปวางบนอาหาร V8 agar และเชื้อรา *Colletotrichum* sp. นำไปวางบนอาหาร potato dextrose agar (PDA)

และบ่มที่อุณหภูมิห้องจากนั้นทำการแยกเชื้อราบริสุทธิ์ด้วยวิธี single spore isolation ดัดแปลงวิธีจาก Ho and Ko, 1997 [9] โดยเลี้ยงเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อ เชื้อเส้นใยบริเวณที่มีสปอร์ของเชื้อราจากงานเพาะเชื้อที่มีการเกิดของสปอร์แล้ว แยกสปอร์ออกจากเส้นใย โดยนำเส้นใยที่มีสปอร์ของเชื้อราใส่ลงใน microtube ที่เติมน้ำกลั่นปริมาณ 1 มิลลิลิตรจากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่อง vortex เพื่อแยก conidia ของเชื้อมา และนำ conidial suspension เทลงบนจานเพาะเชื้อที่มีอาหาร WA นำมาเลี้ยงไว้ อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10X และจุดหรือวาดวงกลมตรงที่มีสปอร์ ด้านล่างของจานเพาะเชื้อ จากนั้นใช้มีด หรือ cork borer ตัดย้ายลงบนจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อหลังจากนั้นนำมาเลี้ยงไว้ที่ อุณหภูมิห้องประมาณ 5-7 วัน และทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *P. palmivora* โดยการเลี้ยงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ V8 agar และ *Colletotrichum* sp. ในจานอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อ PDA ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร และใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ตัดเส้นใยบริเวณขอบโคโลนีของเชื้อ วางให้ด้านที่มีเส้นใยของเชื้อคว่ำลงบน อาหารบริเวณกลางจานเลี้ยงเชื้อ บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องจนเชื้อเจริญเติบโตเต็มจานเลี้ยงเชื้อเป็นระยะเวลา 7 วัน หลังจากนั้นใช้เข็ม เชื้อเส้นใยของเชื้อรา แล้วหยดด้วยน้ำกลั่นหนึ่งฆ่าเชื้อบนแผ่นสไลด์ และศึกษาดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า ตรวจสอบลักษณะเส้นใย chlamydospores การสร้าง sporangium และรูปร่างของสปอร์เชื้อรา *P. palmivora* และตรวจสอบ ลักษณะ conidia และ mycelium ของเชื้อรา *Colletotrichum* sp. [10] และทำการถ่ายภาพและบันทึกลักษณะรายละเอียด

2.2 ประเมินประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการควบคุมเชื้อรา *Phytophthora palmivora* และ *Colletotrichum* sp. สาเหตุโรครุเรียนในสภาพห้องปฏิบัติการ

ประเมินประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้สารสกัดใบชะมวงในสภาวะความเป็นกรดต่าง (pH) ดังนี้ pH 4 , 7 และ 10 ทั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ดังกล่าวจาก ดร.อุษา สุขขา ภาควิชาภาควิชาพื้นฐานทั่วไป สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จากนั้นทำการเลี้ยงเชื้อรา *P. palmivora* และ *Colletotrichum* sp. บนอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อผสมกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้สารสกัดใบชะมวงในสภาวะ pH 4 , 7 และ 10 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 100 และ 500 มิลลิลิตรต่อลิตร จากนั้นใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ตัดบริเวณของโคโลนีของเชื้อรา และนำไปเลี้ยงบนอาหารที่ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ข้างต้นเปรียบเทียบกับการเจริญของโคโลนีเชื้อรากับชุดควบคุมที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง วางแผนการทดลองแบบ 3*3 factorial in completely randomized design (CRD) ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ บันทึกผลการทดลองวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีเชื้อรา และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยใช้สูตร mycelial inhibition (%) = $[(C - T)/C] \times 100$ (C = เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อราบนอาหารเลี้ยงเชื้อชุดควบคุม, T = เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อราบนอาหารเลี้ยงเชื้อชุดทดลอง)

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 แยกและเก็บรวบรวมเชื้อรา *Phytophthora* sp. และ *Colletotrichum* sp. สาเหตุโรครุเรียน

จากการเก็บตัวอย่างโรคบนผลทุเรียนที่คาดว่าจะเกิดจากเชื้อรา *P. palmivora* ซึ่งมีลักษณะอาการ ผลเน่าจะพบลักษณะเปลือกทุเรียนเกิดจุดเล็กๆ สีน้ำตาลดำบนผลและแผลจะขยายใหญ่ลุกลามซึ่งจะเกิดเป็นแผลเน่าเจริญลุกลามเข้าไปภายในเนื้อทุเรียน (Figure 1a) และตัวอย่างโรคบนใบทุเรียนแสดงอาการแอนแทรคโนสที่คาดว่าจะเกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ลักษณะอาการบนใบแผลเป็นจุดวงสีน้ำตาลแดงซ้อนกัน (Figure 1b)

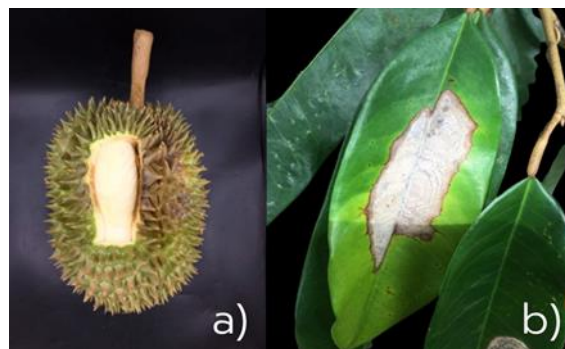


Figure 1 Symptoms of *P. palmivora* disease a) and *Colletotrichum* sp. disease b)

ทำการแยกเชื้อราและศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *P. palmivora* โคลนีมีลักษณะเส้นใยสีขาว (Figure 2a) พบ sporangium รูปร่างแบน ovate หรือ elongate elliptical (Figure 2b) และ chlamydo spores มีลักษณะเป็นทรงกลมที่บริเวณปลายเส้นใย (Figure 2c) มีลักษณะเส้นใยจะแตกกิ่งก้านแบบ simple sympodial (Figure 2d) จากการจำแนกเชื้อราดังกล่าวมีความสอดคล้องกับรายงานของ เรวัฑ และคณะ [11] ที่รายงานว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *P. palmivora* ที่เข้าทำลายทุเรียนในประเทศไทย มีความผันแปรของลักษณะทางสัณฐานวิทยาค่อนข้างมาก ลักษณะโคโลนีมีความหลากหลาย มีการสร้าง sporangium หลากรูปแบบ เช่น ovoid, ellipsoid, obpyriform, ovoid-obpyriform, spherical และ pyriform พบการสร้าง chlamydo spore รูปร่างค่อนข้างกลม และยังสามารถเข้าทำลายพืชได้ เช่น โกโก้ ยางพารา พริกไทย ปาล์มน้ำมัน ส้ม และมะนาว [12-14]

ทำการแยกเชื้อรา ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *Colletotrichum* sp. โคลนีมีเส้นใยสีขาว ลักษณะฟู (Figure 2e) โคนิเดียมีลักษณะรีคล้ายรูปไข่ ปลายมน (Figure 2f) เส้นใยมีลักษณะใส ไม่มีสี (Figure 2g) มีความสอดคล้องกับรายงานของ สันทนา และคณะ [15] รายงานว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *Colletotrichum* sp. มีลักษณะโคโลนีมีสีขาว ลักษณะฟู โคนิเดีย มีรูปร่างไข่ จนถึงทรงกระบอก ปลายมน ขนาดประมาณ 2.5-3.5 x 4.0-8.0 ไมโครเมตร ไฮฟาใส ไม่มีสี มีความกว้าง ประมาณ 3.0 – 4.0 ไมโครเมตร

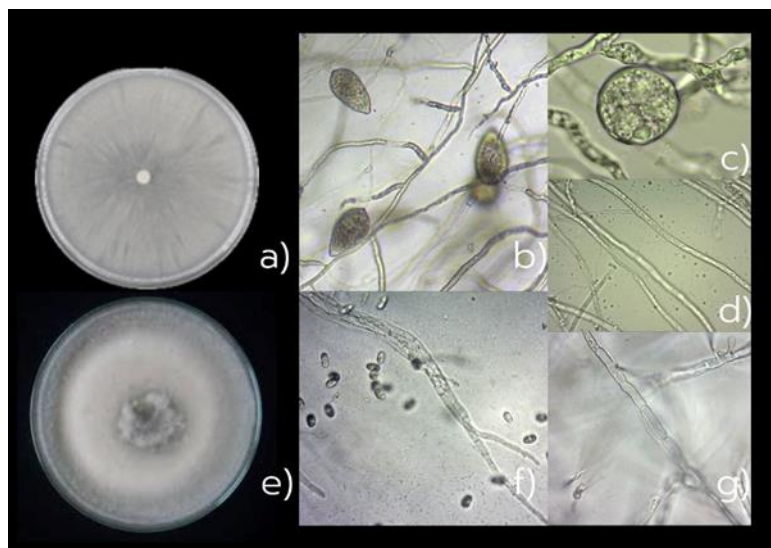


Figure 2 Morphological of *P. palmivora* a) colony, b) shapes of sporangium, c) Chlamydo spore, d) mycelium and Morphological of *Colletotrichum* sp. e) colony, b) conidia, c) mycelium

3.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการควบคุมเชื้อรา *P. palmivora* และ *Colletotrichum* sp. สาเหตุโรคทุเรียนในสภาพห้องปฏิบัติการ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้สารสกัดใบชะมวงในสภาวะ pH 4 , 7 และ 10 ที่ระดับความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อรา *P. palmivora* และ *Colletotrichum* sp. พบว่าสภาวะความเป็นกรดต่างในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์มีปฏิสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้น มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ต่อเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราทั้งสองชนิด กล่าวคืออนุภาคนาโนซิลเวอร์นาโนโดยใช้สารสกัดใบชะมวงในสภาวะค่า pH 4 ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อรา *P. palmivora* ได้ดีที่สุด 100 เปอร์เซ็นต์ และรองลงมา คือในสภาวะค่า pH 7 ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ที่ 93.76 เปอร์เซ็นต์ (Table 1, Figure 3) ในขณะที่อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้สารสกัดใบชะมวงในสภาวะค่า pH 4 และ pH 7 ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อรา

Colletotrichum sp. ได้ดีที่ 74.06 เปอร์เซ็นต์ และ 62.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รองลงมา คือในสภาวะค่า pH 4 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ที่ 52.84 เปอร์เซ็นต์ (Table 1, Figure 4)

Table 1 Inhibition effect of silver nanoparticles from cowa leaves on *P. palmivora* and *Colletotrichum* sp.

Silver type	Concentrations (mVL)	% inhibition	
		<i>Phytophthora palmivora</i>	<i>Colletotrichum</i> sp.
pH 4	10	14.59 ^{fe}	16.01 ^e
	100	79.45 ^c	52.84 ^b
	500	100 ^a	74.06 ^a
pH 7	10	18.26 ^e	18.12 ^{dc}
	100	41.79 ^d	23.14 ^c
	500	93.76 ^b	62.33 ^a
pH 10	10	-0.01 ^s	19.63 ^{ed}
	100	12.82 ^f	29.08 ^{dc}
	500	16.39 ^{fe}	29.08 ^{dc}
pH		**	**
Concentrations		**	**
pH* Concentrations		**	**
CV (%)		3.19	7.90

*Values expressed are means with 4 replications. The different letters are significantly different as determined by least significant difference test at $p < 0.01$

ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ali [16] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์จากสารสกัดใบ *Artemisia absinthium* ได้ขนาด 5 ถึง 100 นาโนเมตร พบว่า ที่ความเข้มข้น 10 ไมโครลิตรต่อมิลลิกรัม สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายยีสต์เชื้อรา *Phytophthora* 7 ชนิด คือ *P. parasitica*, *P. infestans*, *P. palmivora*, *P. cinnamomi*, *P. tropicalis*, *P. capsici* และ *P. katsurae* สาเหตุโรคเน่าของพืชเศรษฐกิจหลายชนิด และทำการทดสอบการใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ต่อการติดเชื้อรา *P. parasitica* บนต้นกล้วยสุบ เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ที่ความเข้มข้น 33.2 ไมโครลิตรต่อมิลลิกรัม ต้นกล้วยสุบมีชีวิตรอดได้ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม และจากรายงานของ อัจฉริยา [17] ได้มีการรายงานการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ทางชีวภาพด้วยจุลินทรีย์กลุ่มแอคติโนมัยซีทจำนวน 52 สายพันธุ์แล้วนำมาทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเชื้อราสาเหตุโรคพืช ได้แก่ *Colletotrichum* sp., *Fusarium* sp., *Pyricularia* sp. และ *Alternaria* sp. พบว่า ของเหลวที่เป็นสารละลายภายในเซลล์จำนวน 35 ตัวอย่าง คิดเป็น 67.3 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายภายนอกเซลล์ จำนวน 46 samples คิดเป็น 88.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ โดยจะเกิดการเปลี่ยนสีของสารละลายเป็นสีเหลืองน้ำตาล สารละลายภายนอกเซลล์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์แอคติโนมัยซีทไอโซเลท DSK-3 สามารถยับยั้งการเจริญเชื้อรา *Alternaria* sp. และ *Colletotrichum* sp. ได้ดีที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 73.2 เปอร์เซ็นต์ และ 69.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

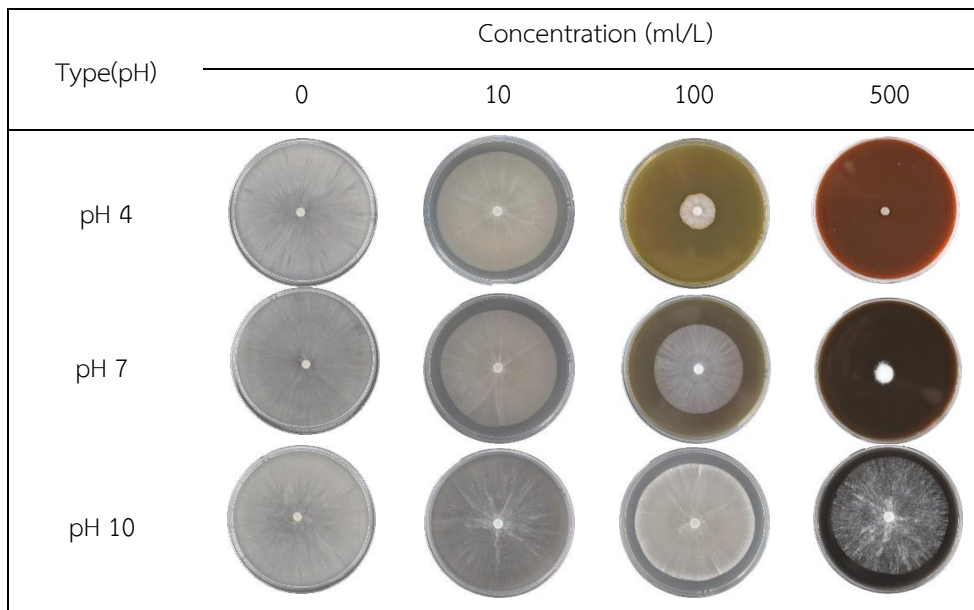


Figure 3 Effect of silver nanoparticles using cowa leaf extract on the mycelium of *P. palmivora*.

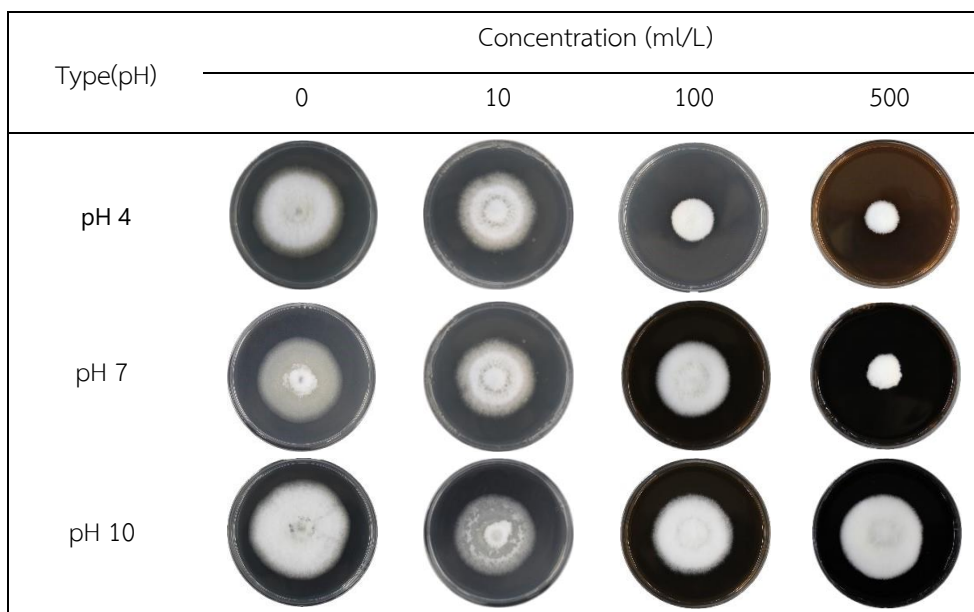


Figure 4 Effect of silver nanoparticles using cowa leaf extract on the mycelium of *Colletotrichum* sp.

4. สรุป

แยกเชื้อราสาเหตุโรคผลเน่าจัดจำแนกเป็นเชื้อรา *P. palmivora* และแยกเชื้อราสาเหตุโรคโรคแอนแทรกบนใบของทุเรียนจัดจำแนกเป็นเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ทำการทดสอบประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้สารสกัดใบชะมวงในสภาวะค่า pH 4 ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อรา *P. palmivora* ได้ดีที่สุด 100 เปอร์เซ็นต์ และในสภาวะค่า pH 4 และ pH 7 ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ได้ดีได้คือที่ 74.06 เปอร์เซ็นต์ และ 62.33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร และภาควิชาพื้นฐานทั่วไป สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมวิชาการเกษตร. 2562. โรคทุเรียน(ออนไลน์)แหล่งข้อมูล : <https://www.doa.go.th/share/attachment.php?aid=2968> (เข้าถึงเมื่อ 28 กุมภาพันธ์ 2566)
- [2] กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ. 2564. แนวโน้มสินค้าทุเรียนและผลิตภัณฑ์. (ออนไลน์).แหล่งข้อมูล : (เข้าถึงเมื่อ 6 มีนาคม 2566)
- [3] รติยา พงศ์พิสุทธา, ชัยณรงค์ รัตนกริชากุล, สันฐิติ บินคาเตอร์, กนกพร ฉัตรไชยศิริ และพัชรี บุญเรืองรอด. 2563. การตรวจสอบเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าในทุเรียน. แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 4.
- [4] Kongtragoul, P., Ishikawa, K., Ishii, H. 2021. Metalaxyl Resistance of *Phytophthora palmivora* Causing Durian Diseases in Thailand. Horticulturae 2021, 7, 375.
- [5] Jain, A., Pawar, P., Sarkar, A., Junnuthula, V, and Dyawanapelly, S. 2021. Bionanofactories for Green Synthesis of Silver Nanoparticles: Toward Antimicrobial Applications. Department of Pharmaceutical Sciences & Technology, Institute of Chemical Technology, Nathalal Parekh Marg, Matunga, Mumbai 400019, India. Int. J. Mol. Sci. 2021, 22, 11993.
- [6] Anu R., Krishna Y. and S. Jagadevan. 2020. A comprehensive review on green synthesis of nature-inspired metal nanoparticles: Mechanism, application and toxicity. Journal of Cleaner Production 272 (2020) 122880
- [7] Chaveerach, A., Mokkamul, P., Sudmoon, R., and Tanee, T. 2006. Ethnobotany of the genus Piper (Piperaceae) in Thailand. Ethnobotany Research and Applications. 4: 223-231.
- [8] ภัสจันท์ หิรัญ, อรพิน เกิดชูชื่น และณัฐฐา เลาหกุลจิตต์. 2552. ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหย 4 ชนิดต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus* spp. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 40(3) (พิเศษ): 45-48.
- [9] Wong, C., H., and Wen., H., K., 1997. A simple method for obtaining single-spore isolates of fungi, Department of Plant Pathology, Beaumont Agricultural Research Center, University of Hawaii at Manoa, Hilo, Hawaii 96720, USA,38:41-44
- [10] Wongwan, T., Haituk, S., Senwana, C., anun, C., Intaparn, P. and Cheewangkoon, R. 2020. New Host Record of *Phytophthora palmivora* Causing Black Rot on *Rhynchostylis gigantea* in Thailand, Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.
- [11] เรวดี เพี้ยชัย, จีรสิน สีโนทก, อรุมา เพี้ยชัย และเนตรนภิส เขียวขำ. 2562. ประสิทธิภาพของโดเมโทมอร์ฟ 50% W/W SC ในการควบคุมโรคลำต้นเน่า ของกล้าทุเรียนพันธุ์หอมทอง ที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora palmivora*. ใน: การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 57. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ. หน้า 155-162.
- [12] Gallegly, M. E. and Hong, C. 2008. *Phytophthora*: Identifying Species by Morphology and DNA Fingerprints. Archives of *Phytopathology* and Plant Protection. 44(2): 202-203.
- [13] Torres-londono G. A. 2016. Morphological characterization, virulence, and fungicide sensitivity evaluation of *Phytophthora palmivora*. Doctor of Philosophy, Michigan State University.
- [14] Das, A. K., Nerkar, S., Kumar, A. and Bawage, S. 2015. Detection, identification and characterization of *Phytophthora* spp. Infecting citrus in India. Journal of Plant Pathology. 55-69.
- [15] สันทนา ขวัญมณี, สุทิน พรหมพงษ์, อัจฉรา เพิ่ม และเสาวนิตย์ ขอบบุญ. 2559. การเป็นปฏิปักษ์ของเชื้อราจากมูลสัตว์ต่อเชื้อรา *Colletotrichum* sp.ST01 สาเหตุโรคแอนแทรกโนสในพริก.โปรแกรมวิชาชีววิทยาและชีววิทยาประยุกต์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. 44(2): 307-317
- [16] Ali, M., Kim, B., Belfield, K., Norman, D., Brennan, M., and Ali, G. 2015. Inhibition of *Phytophthora parasitica* and *P. capsici* by Silver Nanoparticles Synthesized Using Aqueous Extract of *Artemisia absinthium*. College of Science and Liberal Arts, New Jersey Institute of Technology, Newark 07102.
- [17] อัจฉรียา ชมเชย. 2561. โครงการวิจัยการประยุกต์ใช้นาโนภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ ด้วยวิธีทางชีวภาพโดยเชื้อแอคติโนมัยซีท์ สำหรับควบคุมเชื้อราสาเหตุโรครากเน่า.มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (ระบบออนไลน์) แหล่งข้อมูล: <http://cmuir.cmru.ac.th/handle/123456789/1414> (เข้าถึงเมื่อ 22 มีนาคม 2566)

การเพิ่มศักยภาพการผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริมของเกษตรกรในอำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช
Increasing Potential of Vegetable Production for Supplementary Occupation by Farmers in
Khanom District of Nakhon Si Thammarat Province

ชัยวัฒน์ บุญพัฒน์¹ สุนันท์ สีสั่ง² และ ปรีชาดิ ดิษฐกิจ^{3*}
Chaiwat Boonpat¹, Sunan Seesang² and Parichat Ditthakit^{3*}

¹ นักศึกษาหลักสูตรเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี

² รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี

¹ Student, Master of Agriculture Program in Agricultural Extension and Development, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi

² Associate Professor, School of Agriculture and Cooperatives, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi

³ Assistant Professor, School of Agriculture and Cooperatives, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มศักยภาพการผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริมของเกษตรกรในอำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช ประชากรที่ศึกษา คือ เกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มเครือข่ายผู้ผลิตผัก 5 กลุ่มของอำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 128 ราย กำหนดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของทาโร ยามาเน่ ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05 ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 90 ราย ทำการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัย พบว่าเกษตรกรที่ให้ข้อมูลส่วนมากเป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 54.3 ปี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 3.5 คน จำนวนแรงงานในครัวเรือน เฉลี่ย 2.5 คน เกษตรกรปลูกผักเฉลี่ย 3.6 ไร่ บนพื้นที่ตนเอง เกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกผักในพื้นที่มีดินอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ระบบการให้น้ำทางสายยาง การใส่ปุ๋ยอินทรีย์มากกว่า 501 กก./ไร่ การใส่ปุ๋ยเคมี 40-60 กก./ไร่ การเก็บเกี่ยวผักส่วนมากในเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม การคัดแยกคุณภาพตามขนาด และการจำหน่ายผลผลิตส่วนมากขายปลีกในตลาดนัดชุมชน ในการผลิตแต่ละครั้ง ค่าใช้จ่ายในการปลูกผักเฉลี่ย 9,267.70 บาท โดยมีรายได้เฉลี่ย 29,263.20 บาท การรวมกลุ่มของเกษตรกร มีจำนวนสมาชิกกลุ่ม 11-20 คน เกษตรกรทั้งหมดต้องการรวมกลุ่มผลิตผักในพื้นที่ โดยมีเหตุผลในการเข้าร่วมกลุ่ม เพื่อการผลิตผักให้ตรงกับตามความต้องการของตลาด ปัญหาในการผลิตผัก ได้แก่ เกษตรกรขาดความรู้ในการควบคุมการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช ปุ๋ยเคมีราคาสูง และปัญหาการตลาด

คำสำคัญ: การผลิตผัก, อาชีพเสริมของเกษตรกร, การรวมกลุ่มเกษตรกร

Abstract

The objective of this research were to study for an increasing potential of vegetable production for supplementary occupation by farmers in Khanom District, Nakhon Si Thammarat Province. The population of the study consisted of 128 members of the network of five vegetable grower groups in Khanom District, Nakhon Si Thammarat Province. The samples were determined by using Taro Yamane's Formula with an error level of 0.05 accounting for 90 farmers and selected by simple random sampling. The data were collected by using a structural interview questionnaire and analyzed by statistics such as frequency, percentage, minimum, maximum, mean, and standard deviation. The research results were found that the majority of respondents were female with an average age of 54.3 years, mostly finished bachelor's degree, and had an average of 3.5 family members and 2.5 family farm labors. They grew vegetable in 3.6 Rai of their own farming area. Most of them grew vegetable on moderate soil fertility, supplied water by hose, applied 501 kilograms/Rai or more of organic fertilizer and 40-60 kilograms/Rai of chemical fertilizer. The harvesting period was in July to December each year. The produce was sorted by size and sold in community markets with retailing. For a cropping period, all production expenses were an average of 9,267.70 baht while the income was average of 29,263.2 baht. In overall, most of them were grouping into a group which had 11-20 members of each group, the reason was to

produce vegetable based on marketing demand. They had problems of vegetable production, such as lack of knowledge for disease and insect control, high cost of chemical fertilizer, and marketing problem.

Keywords: Vegetable production, Supplementary occupation, Farmer grouping

บทนำ

อำเภอหนอง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีพืชเศรษฐกิจหลักได้แก่ ยางพารา มะพร้าว และปาล์มน้ำมัน รองลงมา ซึ่งทำรายได้มวลรวมให้อำเภอเป็นลำดับต้นๆ ในภาคเกษตร มีเกษตรกรปลูกพืชเศรษฐกิจหลักกว่า 4,416 ครัวเรือน ในสถานการณ์ปัจจุบัน การผันผวนของเศรษฐกิจของประเทศมีการชะลอตัวส่งผลกระทบต่อราคาผลผลิตทางการเกษตรโดยเฉพาะยางพารา ทำให้รายได้ของเกษตรกรลดลง เพื่อให้เกษตรกรมีความมั่นคงในอาชีพ การเพิ่มศักยภาพการผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริมของเกษตรกรช่วยลดรายจ่ายในครัวเรือน สร้างรายได้ให้ครอบครัว สร้างความมั่นคงในอาชีพ ทำให้คุณภาพชีวิตเกษตรกรมีคุณภาพที่ดี [1] (สำนักงานเกษตรอำเภอหนอง, 2565)

ผักคือพืชที่มนุษย์นำส่วนใดส่วนหนึ่งของพืช อาทิ ผล ใบ ราก ดอก หรือลำต้น มาประกอบอาหาร ซึ่งไม่นับรวมผลไม้ ถั่ว สมุนไพร และเครื่องเทศ เห็ด ซึ่งในทางชีววิทยาจัดเป็นพวกเห็ดรา ก็นับรวมเป็นผักด้วย หลายบ้านมักจะปลูกผักไว้เพื่อบริโภคภายในครัวเรือน เรียกว่าเป็นผักสวนครัว หรือบางครั้งก็เพื่อเป็นไม้ประดับ ใช้พื้นที่ในการปลูกไม่มาก พืชผักส่วนใหญ่เป็นพืชที่มีอายุสั้นเพียงฤดูเดียว แต่ผักบางชนิดอาจมีอายุมากกว่า 1 ปี หากมีจำนวนมากเหลือจากการบริโภค ก็สามารถนำไปจำหน่ายได้ การส่งเสริมการผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริมของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอหนอง จังหวัดนครศรีธรรมราช สามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร ช่วยลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือน ประชาชนในพื้นที่บริโภคผักสด สะอาด ปลอดภัย

การส่งเสริมการผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริมของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอหนอง จังหวัดนครศรีธรรมราช นั้น มีการทำสืบทอดกันมาตั้งแต่บรรพบุรุษ โดยในปัจจุบันมีการผลิตผักเพิ่มมากขึ้น เกษตรกรปลูกผักไว้บริโภคในครัวเรือนและปลูกผักเพื่อเป็นอาชีพเสริมสร้างรายได้ให้ครอบครัว เกษตรกรผู้ผลิตผักในพื้นที่ต้องประสบปัญหาในการผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริม คือ เกษตรกรมีพื้นที่น้อย ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศส่งผลให้ผลผลิตลดลงและไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานตามที่ตลาดต้องการ เกษตรกรมีการรวมกลุ่มผลิตผักน้อย จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการศึกษาข้อมูลด้านศักยภาพการผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริมในพื้นที่ เพื่อเป็นแนวทางการส่งเสริมการผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริมต่อไปในอนาคต และเกษตรกรสามารถผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริม ที่มีคุณภาพและมีความปลอดภัย เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เกิดการรวมกลุ่มการผลิตผักเพื่อลดต้นทุนการผลิต และสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชนต่อไป

กรอบแนวคิดการวิจัย



ระเบียบวิธีวิจัย

ประชากรที่ศึกษา คือ เกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มเครือข่ายผู้ผลิตผัก 5 กลุ่ม ของสำนักงานเกษตรอำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ.2565 จำนวน 60 ราย กลุ่มเกษตรกรเกษตรทฤษฎีใหม่ (5 ไร่) จำนวน 50 ราย และกลุ่มเกษตรกรโครงการ 1 ตำบล 1 กลุ่มเกษตรทฤษฎีใหม่ จำนวน 18 ราย รวม 128 ราย เนื่องจากเกษตรกรจำนวน 14 ราย เป็นสมาชิกมากกว่า 1 กลุ่ม คือ กลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตผักและกลุ่มเกษตรกรเกษตรทฤษฎีใหม่อำเภอขนอม (5 ไร่) จำนวน 12 ราย ดังนั้น ประชากรในการวิจัยจำนวน 116 ราย กำหนดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของทาจโร ยามาเน่ ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05 ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 90 ราย และสุ่มตัวอย่างแบบง่าย เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษาและการวิจารณ์

1. ผลการวิจัย

1.1 ข้อมูลส่วนบุคคล สภาพทางสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีอายุเฉลี่ย 51-60 ปี จบการศึกษามีอาชีวะเป็นเกษตรกรมีจำนวนสมาชิกในครัวเรือน 2 คน มีจำนวนแรงงานในครัวเรือน 2 คน มีจำนวนแรงงานจ้าง 1 คน เป็นสมาชิกกลุ่ม/องค์กรการเกษตรมีประสบการณ์ มากกว่า 10 ปี มีพื้นที่ปลูกผักต่ำกว่า 1 ไร่ ปลูกผักในพื้นที่ตนเองปลูกผักแบบสวนเดี่ยวมีแหล่งเงินทุนที่นำมาใช้ผลิตผัก คือ ตนเอง มีรายได้ 10,001-20,000 บาท/ฤดูกาล ค่าใช้จ่ายในส่วนของเมล็ดพันธุ์ 1,001-2,000 บาท ค่าใช้จ่ายในส่วนของปุ๋ย น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,500 บาท ค่าใช้จ่ายในการให้น้ำ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000 บาท ค่าใช้จ่ายในการกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืช น้อยกว่าหรือเท่ากับ 500 บาท ค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัชพืช น้อยกว่าหรือเท่ากับ 500 บาท ค่าจ้างแรงงาน น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,500 บาท ส่วนค่าใช้จ่ายอื่นๆ มากกว่า 501 บาท เคยได้รับความรู้เกี่ยวกับมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) และมีแหล่งความรู้ในการผลิตผักปลอดภัย คือ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร

1.2 การผลิตผักของเกษตรกรเพื่อเป็นอาชีพเสริม พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีแหล่งน้ำที่ใช้ในการปลูกผัก คือ สระน้ำพื้นที่ปลูกผักมีดินอุดมสมบูรณ์ปานกลาง มีระบบให้น้ำทางสายยาง ใสปุ๋ยอินทรีย์ มากกว่า 501 กก./ไร่ ใสปุ๋ยเคมี 40-60 กก./ไร่ ไม่ใช้สารเคมีจัดการโรคและแมลงศัตรูพืช จัดการวัชพืชใช้เครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องยนต์ (3-4 ครั้ง/ฤดูกาลผลิต) มีฤดูกาลเก็บเกี่ยว กรกฎาคม-ธันวาคม การคัดแยกผัก โดยคัดแยกคุณภาพตามขนาดผลจำหน่ายผลผลิต (ไม่ได้ทำการรวบรวมผลผลิตที่กลุ่มฯ) โดยขายปลีกตลาดนัดชุมชน และเกษตรกรมีการบันทึกข้อมูลการผลิตผัก

1.3 ความคิดเห็นของเกษตรกรในการผลิตและการตลาดผัก พบว่า ภาพรวมความคิดเห็นของเกษตรกรในการผลิตและการตลาดผัก พบว่าเกษตรกรมีความคิดเห็นในการผลิตและการตลาดผัก ในระดับมากที่สุด 2 ประเด็น ได้แก่ การมีระบบการ

ให้น้ำช่วยให้ผลผลิตผักมีคุณภาพ การผลิตผักให้ได้คุณภาพและมีมาตรฐานทำให้ได้ราคาผลผลิตที่สูงขึ้น และระดับมาก 5 ด้าน ได้แก่ การปลูกผักเป็นพืชเชิงเดี่ยว (ปลูกเพียงชนิดเดียวในแปลง) สามารถจัดการผลผลิตให้มีคุณภาพได้ดีที่สุด การปลูกผักเป็นพืชแซม (ปลูกพืช 2 ชนิดในแปลง) หรือพืชผสม (ปลูกพืชตั้งแต่ 3 ชนิดขึ้นไป) ทำให้ครัวเรือนมีรายได้เพิ่มขึ้น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้นส่งผลให้ผลผลิตผักมีคุณภาพ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีช่วยให้ได้ปริมาณผลผลิตผักเพิ่มขึ้น และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีช่วยให้ได้ผลผลิตผักที่มีคุณภาพ

1.4 การเข้าร่วมเป็นสมาชิกกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตผัก ผลการศึกษา พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีการรวมกลุ่มผลิตผักในพื้นที่ที่มีจำนวนสมาชิกกลุ่ม 11-20 คน และต้องการรวมกลุ่มผลิตผักในพื้นที่ ส่วนเหตุผลในการเข้าร่วมกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตผัก คือ เพื่อรองรับผลผลิตตามความต้องการของตลาดมากที่สุด รองลงมาคือการได้รับความช่วยเหลือในด้านปัจจัยการผลิตจากหน่วยงานของรัฐ ความสามารถในการร่วมกันสร้างรายได้ต่อครัวเรือนเพิ่มขึ้น การร่วมกันผลิตผักให้มีคุณภาพ การรับรู้ข่าวสารด้านการเกษตร และการถ่ายทอดความรู้ด้านต่างๆ การมีอำนาจในการต่อรองราคากับผู้รับซื้อมากขึ้น ความต้องการแรงงานแลกเปลี่ยนช่วยเหลือกันในกลุ่ม ความสามารถกู้เงินจากกลุ่มเพื่อนำไปเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตผักมากขึ้น และความต้องการมีส่วนร่วมกับสมาชิกในหมู่บ้านเท่านั้น

1.5 ปัญหาการผลิตผักของเกษตรกรเพื่อเป็นอาชีพเสริม มีรายละเอียดดังนี้

1) **ปัญหาความรู้** พบว่า ภาพรวมมีปัญหาความรู้ในระดับมาก ส่วนปัญหาด้านความรู้ในระดับมาก 9 ประเด็น ได้แก่ ขาดความรู้ในการดูแลการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช ขาดความรู้ในการเลือกพันธุ์ผัก ขาดความรู้ในการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีอย่างถูกต้องและปลอดภัย ขาดความรู้ในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์/ปุ๋ยคอก ขาดความรู้การจัดการระบบการให้น้ำ ขาดความรู้ในการดูแลระยะการออกดอกติดผล ขาดความรู้ในการผลิตผักตามระบบการจัดการคุณภาพ : GAP ผัก ขาดความรู้ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตและการคัดแยกเกรด และขาดความรู้ในการขนย้ายผลผลิตสู่ตลาด [2] (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2562)

2) **ปัญหาการผลิต** พบว่า ภาพรวมมีปัญหาการผลิตในระดับมาก ส่วนปัญหาการผลิตในระดับมาก 4 ประเด็น ได้แก่ พื้นที่ไม่เหมาะสมในการปลูกผัก ขาดแหล่งพันธุ์ผักที่ดี ขาดแหล่งน้ำ และขาดแรงงาน

3) **ปัญหาการดูแลรักษา** พบว่า ภาพรวมมีปัญหาการดูแลรักษาในระดับมาก ส่วนปัญหาการดูแลรักษาในระดับมาก 5 ประเด็น ได้แก่ ปุ๋ยเคมีราคาสูงปุ๋ยอินทรีย์/ปุ๋ยคอกมีคุณภาพน้อยโรคและแมลงศัตรูพืชระบาดสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช วัชพืชราคาสูง และขาดเงินทุนในการซื้อปัจจัยการผลิต

4) **ปัญหาการเก็บเกี่ยว** พบว่า ภาพรวมมีปัญหาการเก็บเกี่ยวในระดับมาก ส่วนปัญหาการเก็บเกี่ยวในระดับมาก 3 ประเด็น ได้แก่ การขาดแรงงานในการเก็บเกี่ยว ค่าแรงงานในการเก็บเกี่ยวสูง และการขาดสถานที่เก็บผลผลิตเพื่อรอจำหน่าย

5) **ปัญหาการตลาด** พบว่า ภาพรวมมีปัญหาการตลาดในระดับมาก ส่วนปัญหาการตลาดในระดับมาก 3 ประเด็น ได้แก่ ราคาผลผลิตไม่แน่นอนราคาผลผลิตตกต่ำและการรวบรวมผลผลิตที่กลุ่มๆ ขาดอุปกรณ์การคัดแยกเกรด

2. การวิจารณ์

2.1 ข้อมูลส่วนบุคคล สภาพทางสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีอายุเฉลี่ย 51-60 ปี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือน 2 คน มีประสบการณ์ปลูกผักมากกว่า 10 ปี มีพื้นที่ปลูกผักน้อยกว่า 1 ไร่ เคยได้รับความรู้เกี่ยวกับมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) และมีแหล่งความรู้ในการผลิตผักปลอดภัย คือ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ [3] จารุวรรณ พุดัน (2561) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเกษตรกรที่เหมาะสมในการปลูกผักปลอดภัยของเกษตรกรในศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษา พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการเกษตรที่ดีที่เหมาะสมของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ เป็นเพศหญิง มีอายุระหว่าง 41-50 ปี จบการศึกษาในระดับประถมศึกษา มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือน 2-4 คน มีประสบการณ์ในการปลูกผักปลอดภัยน้อยกว่า 5 ปี มีขนาดพื้นที่ถือครองเฉลี่ย 6.19 ไร่ มีจำนวนแรงงานในครัวเรือนน้อยกว่า 2 คน มีต้นทุนในการผลิตผักปลอดภัย เฉลี่ย 6,602.19 บาท/ไร่ ได้รับ ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการปลูกผักปลอดภัย จากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ผลการวิจัยพบว่าเกษตรกรผู้สูงอายุมีความคิดและการปฏิบัติที่ดีในการปลูกผัก การบริหารการปลูกผักดีมาก เพราะมีความรู้และประสบการณ์ในการปลูกผัก

2.2 การผลิตผักของเกษตรกรเพื่อเป็นอาชีพเสริม เกษตรกรส่วนใหญ่มีแหล่งน้ำที่ใช้ในการปลูกผัก คือ สระน้ำพื้นที่ปลูกผักมีดินอุดมสมบูรณ์ปานกลาง มีระบบให้น้ำทางสายยาง ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 21-0-0 ไม่ใช้สารเคมีจัดการโรคและแมลงศัตรูพืช จัดการวัชพืชใช้เครื่องย่นและจำหน่ายผลผลิต (ไม่ได้ทำการรวบรวมผลผลิตที่กลุ่มๆ) โดยขายปลีกตลาดนัดชุมชน และเกษตรกรมีการบันทึกข้อมูลการผลิตผัก สอดคล้องกับงานวิจัยของ [4] จิราภรณ์ หล้าดวงดี (2563) ศึกษาความต้องการการส่งเสริมการผลิตผักปลอดภัยของเกษตรกรตำบลหนองแวงโสภณ อำเภอลพบุรี จังหวัดลพบุรี ผลการศึกษา พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่

ใหญ่เคยได้รับความรู้ในเรื่องการผลิตปุ๋ยหมัก การป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช วิธีการปลูก ปรับปรุงบำรุงดิน การจัดการปุ๋ย การป้องกันและกำจัดโรคพืช การเตรียมดิน การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว และการตลาด ผลการวิจัยพบว่าเกษตรกรที่ปลูกผักในอำเภอชนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช เกษตรกรส่วนใหญ่มีประสบการณ์การปลูกผัก เกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกผักโดยใช้วิธีทำแปลงปลูกผักมากที่สุด และเกษตรกรปลูกผักในกระถางต้นไม้ เกษตรกรมีการผลิตปุ๋ยหมักนำมาใช้ในแปลงผัก เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตผัก ผักที่นิยมปลูกได้แก่ ผักกวางตุ้ง คะน้า พริกชี้ฟ้าเม็ดเล็ก ผักสลัด แตงกวา มะเขือเปราะ และถั่วฝักยาว

2.3 ความคิดเห็นของเกษตรกรในการผลิตและการตลาดผัก ภาพรวมความคิดเห็นของเกษตรกรในการผลิตและการตลาดผัก พบว่า เกษตรกรมีความคิดเห็นในการผลิตและการตลาดผัก ในระดับมากที่สุด 2 ประเด็น ได้แก่ การมีระบบการให้น้ำช่วยให้ผลผลิตผักมีคุณภาพ การผลิตผักให้ได้คุณภาพและมีมาตรฐานทำให้ได้ราคาผลผลิตที่สูงขึ้น และระดับมาก 5 ด้าน ได้แก่ การปลูกผักเป็นพืชเชิงเดี่ยว (ปลูกเพียงชนิดเดียวในแปลง) สามารถจัดการผลผลิตให้มีคุณภาพได้ดีที่สุด การปลูกผักเป็นพืชแซม (ปลูกพืช 2 ชนิดในแปลง) หรือพืชผสม(ปลูกพืชตั้งแต่ 3 ชนิดขึ้นไป) ทำให้ครัวเรือนมีรายได้เพิ่มขึ้น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้นส่งผลให้ผลผลิตผักมีคุณภาพ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีช่วยให้ได้ปริมาณผลผลิตผักเพิ่มขึ้น และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีช่วยให้ได้ผลผลิตผักที่มีคุณภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ [3] จารุวรรณ พุดัน (2561) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเกษตรกรที่เหมาะสมในการปลูกผักปลอดภัยของเกษตรกรในศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษา พบว่าเกษตรกรปลูกผักปลอดภัยที่มีความรู้เกี่ยวกับเกษตรกรที่เหมาะสมในการปลูกผักปลอดภัยมากขึ้น จะทำให้มีการยอมรับเกษตรกรที่เหมาะสมในการปลูกผักปลอดภัยเพิ่มขึ้น ทำให้เกษตรกรสามารถปลูกผักปลอดภัยได้ตามมาตรฐานของระบบการปลูกผักปลอดภัยที่กำหนดของโครงการหลวงแม่ทาเหนือ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ [5] อินทุราภรณ์ อินทรประจบ (2561) ศึกษาการพัฒนาเกษตรกรปลอดภัยของกลุ่มปลูกผักปลอดภัยสารพิษ บ้านนาผาย อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ ผลการวิจัยพบว่าเกษตรกรกลุ่มปลูกพืชผักปลอดภัยสารพิษ บ้านนาผายมีองค์ความรู้ในเรื่องปลูกผักปลอดภัยจากสารพิษ คือ 1) เกษตรกรมีความเข้าใจในระดับมากที่สุดเกี่ยวกับด้านเกษตรธรรมชาติเกษตรอินทรีย์เกษตรผสมผสาน ว่าเป็นการผลิตผักปลอดภัยจากสารเคมี 2) เกษตรกรเห็นด้วยอย่างยิ่งว่าการปลูกผักปลอดภัยสามารถปลูกได้ในพื้นที่กลางแจ้งและในแปลงที่กางมุ้ง 3) เกษตรกรเห็นด้วยอย่างยิ่งว่าการใช้สารเคมีในการเกษตร จะทำให้เกิดสารพิษตกค้างในพืชผัก เกษตรกรส่วนใหญ่ขายผักในตลาดนัดชุมชน และขายตรงให้ผู้บริโภค

2.4 การเข้าร่วมเป็นสมาชิกกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตผัก เกษตรกรส่วนใหญ่มีการรวมกลุ่มผลิตผักในพื้นที่ที่มีจำนวนสมาชิกกลุ่ม 11-20 คน และต้องการรวมกลุ่มผลิตผักในพื้นที่ ส่วนเหตุผลในการเข้าร่วมกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตผักพบว่า เกษตรกรมีเหตุผลในการเข้าร่วมกลุ่ม คือความต้องการตลาดในการรองรับผลผลิต มากที่สุด รองลงมาคือการได้รับความช่วยเหลือในด้านปัจจัยการผลิตจากหน่วยงานของรัฐ ความสามารถในการร่วมกันสร้างรายได้ต่อครัวเรือนเพิ่มขึ้น การร่วมกันผลิตผักให้มีคุณภาพ การรับรู้ข่าวสารด้านการเกษตรและการถ่ายทอดความรู้ด้านต่างๆ การมีอำนาจในการต่อรองราคากับผู้รับซื้อมากขึ้น ความต้องการแรงงานแลกเปลี่ยนช่วยเหลือกันในกลุ่ม ความสามารถกู้เงินจากกลุ่มเพื่อนำไปเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตผักมากขึ้น และความต้องการมีส่วนร่วมกับสมาชิกในหมู่บ้านเท่านั้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ [6] รัตนาภรณ์ เรพล (2563) ศึกษาแนวทางการพัฒนาเครือข่ายของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรแปรรูปผลผลิตด้านการเกษตรของจังหวัดสระบุรี ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรเห็นด้วยกับปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของเครือข่ายกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร เห็นด้วยในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.680) ด้านผู้นำเครือข่าย มากที่สุดในประเด็น ผู้นำเครือข่ายต้องมีความสามารถในการประสานงานเป็นอย่างดี (ค่าเฉลี่ย 4.74) รองลงมา คือ ต้องมีการสร้างผู้นำเครือข่ายรุ่นใหม่อย่างต่อเนื่อง (ค่าเฉลี่ย 4.72) น้อยที่สุดในประเด็น ผู้นำเครือข่ายต้องสร้างแรงจูงใจและกระตุ้นให้ทีมอยากทำงานร่วมกัน (ค่าเฉลี่ย 4.56) ผลการวิจัยพบว่าเกษตรกรที่ปลูกผักในอำเภอชนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช ส่วนใหญ่ต้องการรวมกลุ่มผลิตผัก เพราะได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้การผลิตผัก การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตผัก การลดต้นทุนการผลิตผัก การป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว การรวมกลุ่มเพื่อมีอำนาจต่อรองด้านราคาสินค้าเกษตร

2.5 ปัญหาการผลิตผักของเกษตรกรเพื่อเป็นอาชีพเสริมผลการศึกษา เกษตรกรส่วนใหญ่ มีปัญหาการผลิตผักของเกษตรกรเพื่อเป็นอาชีพเสริม ด้านความรู้ การผลิต การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว และการตลาดในระดับมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ [3] จารุวรรณ พุดัน (2561) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเกษตรกรที่เหมาะสมในการปลูกผักปลอดภัยของเกษตรกรในศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษา พบว่า เกษตรกรในศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ มีปัญหาด้านการผลิตผักคือ ปัญหาด้านการตลาด และการผลิต

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 ผู้นำกลุ่มมีบทบาทที่สำคัญในการรวมกลุ่มเกษตรกร ดังนั้นต้องมีการส่งเสริมบทบาทของผู้นำกลุ่มอย่างต่อเนื่อง ควบคู่กับการสร้างกลุ่มเครือข่ายผู้ปลูกผัก เพื่อก่อให้เกิดการเชื่อมโยงของกลุ่มเกษตรกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาคเอกชนและราชการ

1.2 หน่วยงานภาครัฐต้องเข้าไปมีส่วนร่วมในการประชุมของกลุ่มและส่งเสริมให้มีการจัดกิจกรรมให้สมาชิกกลุ่มทุกคนได้มีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็นของตนเอง เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างราบรื่น

1.3 หน่วยงานภาครัฐต้องเข้ามามีบทบาทในการส่งเสริมให้กลุ่มได้มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ประสบการณ์ในการทำงานร่วมกันอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้การดำเนินงานมีความต่อเนื่อง

1.4 ภาครัฐ ชุมชน องค์กรต่างๆ ต้องเข้ามามีส่วนร่วมในการคิด ตัดสินใจ และการพัฒนาส่งเสริมให้สมาชิกทุกคนรู้จักการทำงานเป็นทีม

1.5 ภาครัฐต้องส่งเสริมความรู้ในเรื่องของการผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริม และการตลาดให้กับกลุ่มเกษตรกร เพื่อให้สมาชิกกลุ่มมีความรู้ความเข้าใจสามารถวางแผนการผลิตผักและการตลาดได้

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าเกษตรกรผู้ผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริม ยังเป็นการผลิตแบบต่างคนต่างทำ ในการทำวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาในเรื่องแนวทางการส่งเสริมการรวมกลุ่มของเกษตรกร

2.2 ควรทำการศึกษา การใช้เทคโนโลยีการผลิตผักมาปรับใช้ในการผลิตผักของเกษตรกร

สรุป

สรุปผลการวิจัยเรื่อง การเพิ่มศักยภาพการผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริมของเกษตรกรในอำเภอชนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลส่วนบุคคล สภาพทางสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร สภาพและความคิดเห็นของเกษตรกรเกี่ยวกับการผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริม การเข้าร่วมเป็นสมาชิกกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตผัก และปัญหาการผลิตผักของเกษตรกรเพื่อเป็นอาชีพเสริม เกษตรกรส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการปลูกผัก มีพื้นที่ปลูกผักน้อยกว่า 1 ไร่ มีแหล่งความรู้ในการผลิตผักปลอดภัย คือ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรและเกษตรกรปลูกผักในอำเภอชนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช มีความรู้การปลูกผัก มีแหล่งน้ำที่ใช้ในการปลูกผัก เกษตรกรมีปัญหาหาราคาปุ๋ยแพง โรคและแมลงศัตรูพืชระบาดทำให้ต้นทุนการปลูกผักสูงขึ้น ต้องการรวมกลุ่มเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้การปลูกผัก การลดต้นทุนการผลิตผัก สามารถผลิตผักตามความต้องการของตลาด และได้รับสนับสนุนปัจจัยการผลิตจากภาครัฐ

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สีสั่งข์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง และติดตามดูแลเอาใจใส่ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปาริชาติ ดิษฐกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ตลอดจนแนวทางการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณูย ศิริพงษ์ ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และได้ให้แนวคิด คำแนะนำ เพื่อนำมาแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากคณาจารย์ ประจำสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และประสบการณ์ในการศึกษาที่มีคุณค่ายิ่ง ขอขอบคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราชทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาในการศึกษาและจัดทำวิทยานิพนธ์

ทั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่คอยให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจ ทำให้ผู้วิจัยมีความมุ่งมั่น และอดทน ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จและลุล่วงไปได้ด้วยดี ประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะยังประโยชน์ต่อการศึกษาและการส่งเสริมการเกษตรของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนเกษตรกร คุณค่าและความดีอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแต่บิดา มารดา ครูบาอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณ ทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเกษตรอำเภอขนอม. (2565). ทะเบียนเกษตรกรจังหวัดนครศรีธรรมราช เข้าถึงได้จาก:
เว็บไซต์http://farmer.doae.go.th/farmer/report_act/reportTambon. (เข้าถึงเมื่อ 10 กรกฎาคม 2565).
- [2] กรมส่งเสริมการเกษตร. (2562). ระบบมาตรฐาน GAP (ฉบับปรับปรุง), กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [3] จารุวรรณ พุดั่น. (2561). ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเกษตรกรที่เหมาะสมในการปลูกผักปลอดภัยของเกษตรกรในศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ จังหวัดเชียงใหม่. *วารสารเกษตร*. 33 (3).165-174.
- [4] จิราภรณ์ หล้าดวงดี. (2563). แนวทางการส่งเสริมการผลิตผักปลอดภัยของเกษตรกร ตำบลหนองแวงโสกพระ อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.
- [5] อินทุราภรณ์ อินทรประจบ. (2561). การพัฒนาเกษตรปลอดภัยของกลุ่มปลูกผักปลอดสารพิษ บ้านนาฝาย อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ, ชัยภูมิ.
- [6] รัตนาภรณ์ เรพล. (2563). แนวทางการพัฒนาเครือข่ายของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรแปรรูปผลผลิตด้านการเกษตรของจังหวัดสระบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

ผลของมูลไก่อัดเม็ดเคลือบด้วยไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ต่อการเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน Effect of Chicken Manure Pellet Coated with Chito-Oligosaccharide on Growth and Yield of Baby Corn

ณัฐวุฒิ คงตะโก¹ พรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง² และ ศุภชัย อัมภา^{1*}
Nattavut Kongtago¹, Pornpairin Rungcharoenthong², and Suphachai Amkha^{1*}

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

²ภาควิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมชีวภาพ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

¹Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom

²Department of Science and Bioinnovation, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom

*Corresponding author: Suphachai Amkha, e-mail address: agrscak@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของมูลไก่อัดเม็ด (CMP) เคลือบด้วยไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (COS) ต่อการเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก จำนวน 4 ซ้ำ และ 5 ตำรับทดลอง ได้แก่ ตำรับที่1 ไม้ใส่ CMP ตำรับที่2 CMP (อินทรีย์วัตถุ 20%) ตำรับที่3 CMP (อินทรีย์วัตถุ 20%)+ยิปซัม เคลือบด้วย COS ตำรับที่4 CMP (อินทรีย์วัตถุ 30%)+ยิปซัม เคลือบด้วย COS และตำรับที่5 CMP (อินทรีย์วัตถุ 30%)+โดโลไมท์ เคลือบด้วย COS กำหนดให้ใส่ CMP ในอัตรา 30 กิโลกรัม N/ไร่ ผลการทดลอง พบว่า การใส่ CMP ให้ค่าความเขียวใบแตกต่างกันทางสถิติ และมากกว่าการไม่ใส่ CMP นอกจากนี้ การใส่ CMP (อินทรีย์วัตถุ 20%) +ยิปซัม เคลือบด้วย COS ให้ผลผลิต ความยาว และความหวานฝักของข้าวโพดฝักอ่อนมากที่สุด รองลงมา คือ CMP (อินทรีย์วัตถุ 30%) +ยิปซัม เคลือบด้วย COS, CMP (อินทรีย์วัตถุ 30%)+โดโลไมท์ เคลือบด้วย COS, CMP(อินทรีย์วัตถุ 20%) และไม่ใส่ CMP ตามลำดับ ดังนั้น การใส่ CMP เคลือบด้วย COS สามารถใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยอินทรีย์และใช้ในการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนได้

คำสำคัญ: ไคโตซาน ปุ๋ยอินทรีย์ ความหวาน

Abstract

The objective of this study was to examine the effects of chicken manure pellets (CMP) coated with COS on the growth and yield of baby corn grown in the Kamphaeng Saen soil series. This experiment used a Randomized Complete Block Design (RCBD) with 4 replications and 5 treatments consisting of non-CMP application (Non-CMP; treatment 1), CMP-OM 20% (CMP-OM20; treatment 2), CMP-OM 20%+gypsum with COS coating (CMP-G-OM20+COS; treatment 3), CMP-OM 30% + gypsum with COS coating (CMP-G-OM30+COS; treatment 4) and CMP-OM 30%+dolomite with COS coating (CMP-D-OM30+COS; treatment 5). All treatments, CMP applied at a rate of 30 kg N/rai. The results showed that CMP application significantly increased the leaf greenness of baby corn compared to non-CMP application. Additionally, CMP-G-OM20+COS gave the significantly different and highest yield, length, and sweetness of baby corn, followed by CMP-G-OM30+COS, CMP-D-OM30+COS, and CMP-OM20 and Non-CMP, respectively. Therefore, CMP with COS coating is useful for organic fertilizer and applied for baby corn production.

Keywords: chitosan, organic fertilizer, sweetness

1. บทนำ

การนำเศษเหลือทางการเกษตร เช่น มูลไก่ มาพัฒนาเป็นมูลไก่อัดเม็ด ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่มีกำลังการผลิตที่สูงกว่า การปั้นเม็ด และสามารถผลิตโดยใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่าการปั้นเม็ด [1] ร่วมกับการเคลือบด้วยไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (chito-oligosaccharide; COS) จากเปลือกกุ้งและเปลือกปู ด้วยการใช้นวัตกรรมการผลิตสารเคลือบ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการเคลือบธาตุอาหาร ให้มีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ และมีเวลายาวนานมากขึ้น ส่งผลให้สามารถลดการสูญเสียธาตุอาหารในธรรมชาติ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ย [2] ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยและมูลค่าของปุ๋ยเพิ่มมากขึ้นในรูปแบบของปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ หมัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์[3] เพื่อเป็นแหล่งของอินทรีย์วัตถุ ธาตุอาหารสำหรับพืช และปรับปรุงสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน รวมทั้งเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ เพื่อส่งเสริมความหลากหลายของจุลินทรีย์ในดิน การนำมูลไก่ที่ผ่านกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ และเกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ มีอินทรีย์วัตถุ และปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช นำมาอัดเม็ดและเคลือบด้วยเทคโนโลยีการเคลือบ โดยใช้สารเคลือบที่ได้จากเปลือกกุ้งเปลือกปู ที่ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายและเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลให้เป็นไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งมีสมบัติในการเคลือบสาร และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช รวมไปถึงสามารถช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สาเหตุโรคพืช[4] เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ได้จากการพัฒนาและผ่านกระบวนการผลิตที่ออกแบบให้เกิดการเคลือบของวัสดุได้ จึงเป็นปุ๋ยที่ปลดปล่อยธาตุอาหารให้พืชได้อย่างต่อเนื่อง และเพียงพอต่อความต้องการของพืชได้ ดังนั้นการทดลองนี้จึงสนใจในการนำปุ๋ยอินทรีย์ในรูปแบบของมูลไก่อัดเม็ดเคลือบด้วยสารไคโตโอลิโกแซคคาไรด์มาทดลองกับการปลูกพืช งานทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของมูลไก่อัดเม็ด (CMP) เคลือบด้วยไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (COS) ต่อการเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน

2. วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ และ 5 ตำรับทดลอง ได้แก่

ตำรับที่ 1 ไม้ใส่ CMP

ตำรับที่ 2 CMP (อินทรีย์วัตถุ 20%)

ตำรับที่ 3 CMP (อินทรีย์วัตถุ 20%)+ยิปซัม เคลือบด้วย COS

ตำรับที่ 4 CMP (อินทรีย์วัตถุ 30%)+ยิปซัม เคลือบด้วย COS

ตำรับที่ 5 CMP (อินทรีย์วัตถุ 30%)+โดโลไมท์ เคลือบด้วย COS

กำหนดให้การใส่ CMP ในอัตรา 30 กิโลกรัม N/ไร่ และแบ่งใส่จำนวน 3 ครั้ง คือ ใส่ 30% 40% และ 30% ของปริมาณการใส่ทั้งหมด โดยสมบัติของ CMP แต่ละชนิดแสดงดัง Table 1

เริ่มต้นจากเตรียมแปลงทดลอง ขนาดแปลง 1x3 เมตร จำนวน 20 แปลง ทำการคลุมแปลงด้วยพลาสติกคลุมแปลง แล้วเจาะพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ห่างกัน 20x 50 เซนติเมตร ทำการหยอดข้าวโพดฝักอ่อนลูกผสม F1 แปซิฟิก 271 จำนวน 5 เมล็ดต่อหลุม จำนวน 20 หลุมต่อแปลง หลังจากเมล็ดงอกได้ 5 วัน ทำการถอนแยกต้นกล้าเหลือ 2 ต้นต่อหลุม ส่วนการใส่ CMP 1แต่ละสูตร ดำเนินการใส่ในอัตรา 30 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่ ทุก 10 20 30 วันหลังปลูก ในอัตรา 30% 40% และ 30% ของปริมาณการใส่ทั้งหมด

Table 1 The CMP properties in this experiment

ลักษณะ	เกณฑ์กำหนด	ตำรับ 2	ตำรับ 3	ตำรับ 4	ตำรับ 5
ความเป็นกรด-ด่าง	-	7.64	7.88	7.68	7.82
ค่าการนำไฟฟ้า	ไม่เกิน 10 dS/m	3.02	1.31	1.40	1.47
โซเดียม	ไม่เกิน 1%	0.31	0.26	0.30	0.27
อินทรีย์วัตถุ	≥ 20% โดยน้ำหนัก	46.81	35.56	41.79	37.28
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20:1	16.07	13.47	16.26	16.76
ความชื้น	≤ 30% โดยน้ำหนัก	10.32	9.03	8.56	9.87
การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ยอินทรีย์	> 80%	80.61	81.53	86.33	90.67
ไนโตรเจนทั้งหมด	≥ 1%	1.69	1.33	1.80	1.23
ฟอสเฟตทั้งหมด	≥ 0.5%	5.39	4.31	4.70	4.11
โพแทชทั้งหมด	≥ 0.5%	2.80	2.08	2.29	2.01
ขนาดปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มม. (%)	100	100	100	100
หินและกรวด	ตั้งแต่ 5 มม. (ไม่เกิน 5 มม.)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

2.1 บันทึกการเจริญเติบโตของข้าวโพดฝักอ่อน และผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน

การเจริญเติบโตได้แก่ ความสูงต้น ความกว้างต้น ความเขียวใบโดยเครื่องวัดความเขียว (SPAD chlorophyll meter) ที่อายุ 10 20 30 และ 40 วันหลังปลูก เก็บข้อมูลผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนเมื่ออายุ 40 วันหลังปลูก ได้แก่ จำนวนฝักต่อต้น น้ำหนักฝักสดไม่เปลือก น้ำหนักฝักสดเปลือก ความยาวฝักสดเปลือก และความหวานฝักสด

2.2 ตัวอย่างดินหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต (Disturbed soil sampling)

ทำการเก็บตัวอย่างดินหลังทำการทดลอง โดยการนำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่มและนำดินไปบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 และ 0.5 มิลลิเมตร เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของดิน คือ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินด้วยวิธี Kjeldahl-method ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน สกัดโดยวิธี Bray II และวัดด้วยความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน สกัดโดยใช้ $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, pH 7.0 และวัดปริมาณโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้นำมาเปรียบเทียบด้วย R-Program และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของข้อมูล เพื่อหาค่า F-test พร้อมทั้งค่าสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี DMRT (Duncan's new multiple range test)

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

เมื่อพิจารณาผลของการใส่มูลไก่อัดเม็ด (CMP) ที่เคลือบด้วย COS สูตรต่างๆ ต่อการเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน พบว่า

3.1. การเติบโตของข้าวโพดฝักอ่อน

จากการใส่ CMP แต่ละชนิดต่อความสูงและขนาดลำต้นของข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า การใส่ CMP แต่ละชนิด และการไม่ใส่ CMP ให้ความสูงและขนาดลำต้นของข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกันสถิติ (Table 2 and 3) อย่างไรก็ตาม การใส่ CMP มีแนวโน้มให้ความสูงและขนาดของลำต้นของข้าวโพดฝักอ่อนมากกว่าการไม่ใส่ CMP

Table 2 Effect of CMP with COS coating on plant height of baby corn at 10, 20, 30, and 40 days after sowing (DAS).

Treatments	Plant height (cm)			
	10 DAS	20 DAS	30 DAS	40 DAS
Non-CMP (control)	10.9	20.0	118.9	187.8
CMP-OM20	12.1	21.2	124.8	207.2
CMP-G-OM20+COS	11.1	22.4	136.0	206.6
CMP-G-OM30+COS	11.8	21.2	124.5	203.2
CMP-D-OM30+COS	11.0	20.1	118.2	199.8
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	6.41	7.68	10.86	7.57

ns = non-significantly different at 95% by DMRT method

Table 3 Effect of CMP with COS coating on stem diameter of baby corn at 10, 20, 30, and 40 DAS.

Treatments	Stem diameter (mm)			
	10 DAS	20 DAS	30 DAS	40 DAS
Non-CMP (control)	9.5	16.0	16.6	20.1
CMP-OM20	9.9	16.4	18.5	21.0
CMP-G-OM20+COS	10.4	17.4	18.8	21.0
CMP-G-OM30+COS	10.9	16.9	18.7	20.3
CMP-D-OM30+COS	10.3	16.1	18.2	20.2
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	7.61	9.27	4.12	8.17

ns = non-significantly different at 95% by DMRT method

ขณะที่การใส่ CMP แต่ละชนิดให้ค่าความเขียวใบของข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันทางสถิติ (Table 4) โดยการใส่ CMP ให้ค่าความเขียวใบของข้าวโพดฝักอ่อนมากกว่าการไม่ใส่ CMP ที่ข้าวโพดฝักอ่อนอายุ 20 30 และ 40 วันหลังปลูก อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตพบว่า ค่าความเขียวใบของข้าวโพดฝักอ่อนทุกตัวที่ใส่ CMP มีแนวโน้มค่าความเขียวใบลดลงที่ข้าวโพดฝักอ่อนอายุ 30 และ 40 วันหลังปลูก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะช่วงนี้ข้าวโพดฝักอ่อนต้องการปริมาณไนโตรเจนในปริมาณมาก เพื่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต จึงมีการดูดใช้ในไนโตรเจนที่สะสมอยู่ที่ใบ และส่งผลให้ค่าความเขียวใบของใบข้าวโพดฝักอ่อนลดลง ดังแสดงให้เห็นว่าความสูงของข้าวโพดฝักอ่อนมีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อายุข้าวโพดฝักอ่อน 30 วันหลังปลูก

Table 4 Effect of CMP with COS coating on leaf greenness of baby corn at 10 20 30 and 40 DAS.

Treatments	Leaf greenness (SPAD-Unit)			
	10 DAS	20 DAS	30 DAS	40 DAS
Non-CMP (control)	33.1	30.8b	30.4b	30.2b
CMP-OM20	35.6	40.3a	38.8a	37.5a
CMP-G-OM20+COS	36.3	41.9a	41.2a	37.7a
CMP-G-OM30+COS	34.7	42.4a	40.4a	38.6a
CMP-D-OM30+COS	35.2	40.9a	39.1a	38.2a
F-test	ns	*	*	*
CV (%)	6.59	5.04	6.88	5.68

* = significantly different at 95% by DMRT method, ns = non-significantly different at 95% by DMRT method

3.2 ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และคุณภาพผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน

จากการใส่ CMP แต่ละชนิดต่อจำนวนฝักต่อต้นของข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า การใส่ CMP แต่ละชนิด และการไม่ใส่ CMP ให้จำนวนฝักต่อต้นของข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 5) อย่างไรก็ตามการใส่ CMP มีแนวโน้มให้จำนวนฝักต่อต้นของข้าวโพดฝักอ่อนมากกว่าการไม่ใส่ CMP ขณะที่การใส่ CMP แต่ละชนิดต่อน้ำหนักฝักสดไม่เปลือกเปลือก และน้ำหนักฝักสดเปลือกเปลือกของข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า การใส่ CMP ให้น้ำหนักฝักสดไม่เปลือกเปลือก และน้ำหนักฝักสดเปลือกเปลือกของข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันทางสถิติ (Table 5) โดยการใส่ CMP-G-OM20+COS และ CMP-G-OM30+COS ให้น้ำหนักฝักสดไม่เปลือกเปลือก และน้ำหนักฝักสดเปลือกเปลือกของข้าวโพดฝักอ่อนมากกว่าการใส่ CMP-D-OM30+COS นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่ CMP-OM20 ให้น้ำหนักฝักสดไม่เปลือกเปลือก และน้ำหนักฝักสดเปลือกเปลือกของข้าวโพดฝักอ่อนใกล้เคียงกันกับการไม่ใส่ CMP และให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามการไม่ใส่ CMP ให้น้ำหนักฝักไม่เปลือกเปลือก และน้ำหนักฝักสดเปลือกเปลือกของข้าวโพดฝักอ่อนน้อยที่สุด

Table 5 Effect of CMP with COS coating on yield and yield component of baby corn.

Treatments	Ear number/plant	Fresh weight with husk (g)	Fresh weight without husk (g)
Non-CMP (control)	1.28	64.58c	21.44b
CMP-OM20	1.45	64.85c	23.45b
CMP-G-OM20+COS	1.78	89.60a	34.72a
CMP-G-OM30+COS	1.78	75.79ab	29.50ab
CMP-D-OM30+COS	1.56	76.74 b	24.44b
F-test	ns	*	*
CV (%)	17.09	17.40	18.15

* = significantly different at 95% by DMRT method, ns = non-significantly different at 95% by DMRT method

ส่วนความยาวฝักสดเปลือกเปลือกของข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า การใส่ CMP ให้ความยาวฝักสดเปลือกเปลือกของข้าวโพดฝักอ่อนมีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 6) โดยการใส่ CMP-G-OM20+COS และ CMP-G-OM30+COS ให้ความยาวฝักสดเปลือกเปลือกของข้าวโพดฝักอ่อนมากกว่าการใส่ CMP-D-OM30+COS และ CMP-OM20 อย่างไรก็ตามการใส่ CMP-D-OM30+COS และ CMP-OM20 ให้ความยาวฝักสดเปลือกเปลือกของข้าวโพดฝักอ่อนใกล้เคียงกันกับการไม่ใส่ CMP สำหรับคุณภาพผลผลิตด้านความหวานฝักสดของข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า การใส่ CMP ให้ค่าความหวานฝักสดของข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันทางสถิติ (Table 6) โดยการใส่ CMP-G-OM20+COS, CMP-G-OM30+COS และ CMP-D-OM30+COS ให้ความหวานฝักสดของข้าวโพดฝักอ่อนมากที่สุด รองลงมาคือการใส่ CMP-OM20 และการไม่ใส่ CMP ให้ความหวานฝักสดของข้าวโพดฝักอ่อนน้อยที่สุด ทั้งนี้ เนื่องจาก

สาร COS เป็นสารที่จัดอยู่ในกลุ่ม ไคโตซานมีประจุบวกและประจุลบจึงช่วยดูดซับแอนไอออนและแคตไอออนเช่น แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และฟอสเฟตในดินที่มีประโยชน์และค่อยปลดปล่อยสารเหล่านี้ให้แก่พืช [5] จึงส่งผลให้ข้าวโพดที่ใส่ CMP-G-OM20+COS, CMP-G-OM30+COS และ CMP-D-OM30+COS มีการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์สูตร CMP-OM20

Table 6 Effect of CMP with COS coating on ear length and sweetness of baby corn.

Treatments	Ear length without husk (cm)	Sweetness (°Brix)
Non-CMP (control)	12.73b	6.32c
CMP-OM20	12.61b	7.66b
CMP-G-OM20+COS	14.15a	8.23a
CMP-G-OM30+COS	13.44ab	8.03a
CMP-D-OM30+COS	12.95b	8.04a
F-test	*	*
CV (%)	10.24	8.65

* = significantly different at 95% by DMRT method, ns = non-significantly different at 95% by DMRT method

3.3. ปริมาณธาตุอาหารหลักหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน

จากการใส่ CMP แต่ละชนิด ส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารหลักหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 7) โดยการใส่ CMP ให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมากกว่าการไม่ใส่ CMP อย่างไรก็ตามการใส่ CMP แต่ละชนิดให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 7) แสดงให้เห็นว่าทุกตำรับที่ใส่ CMP นั้น ข้าวโพดฝักอ่อนได้รับปริมาณไนโตรเจนต่อการเติบโตไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ความสูง ขนาดลำต้น และค่าความเขียวใบของตำรับที่ใส่ CMP ไม่แตกต่างกันด้วยดังแสดงใน Table 2-4 ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่าการใส่ CMP แต่ละชนิด ให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมากกว่าการไม่ใส่ CMP (Table 7) ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกันกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตนั้น พบว่าการใส่ CMP แต่ละชนิดให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตแตกต่างกันทางสถิติ (Table 7) โดยการใส่ CMP-G-OM20+COS ให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตสูงสุด รองลงมา คือ การใส่ CMP-G-OM30+COS, CMP-D-OM30+COS และ CMP-OM20 ตามลำดับ ขณะที่การใส่ CMP-G-OM30+COS และ CMP-D-OM30+COS ให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ CMP-G-OM20 อาจเป็นเพราะ อินทรีย์วัตถุมีพื้นผิวหน้าสัมผัสมากและมีประจุส่วนใหญ่เป็นประจุลบซึ่งมาความสามารถในการดูดซับแคตไอออนได้สูงกว่าแร่ดินเหนียว[6] จึงทำให้ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินน้อยกว่าปุ๋ยมูลไก่ที่มีการเติม อินทรีย์วัตถุ 20 % (CMP-G-OM20) ขณะที่ Non-CMP ให้ให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตต่ำที่สุด

Table 7 Effect of CMP with COS coating on primary nutrient elements content in soil after yield harvested.

Treatments	Total nitrogen (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)
Non-CMP (control)	0.05b	203.69b	674.16d
CMP-OM20	0.06a	221.86a	712.59c
CMP-G-OM20+COS	0.06a	228.25a	931.28a
CMP-G-OM30+COS	0.07a	233.32a	794.13b
CMP-D-OM30+COS	0.06a	219.87a	793.80b
F-test	*	*	*
CV (%)	4.64	5.42	11.81

* = significantly different at 95% by DMRT method

จากผลการทดลองปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตนั้น ซึ่งให้เห็นว่าการใส่ CMP-G-OM20+COS ให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงที่สุดหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับน้ำหนักและความยาวของฝักสดข้าวโพดฝักอ่อน (Table 5 and 6) แสดงว่าโพแทสเซียมช่วยในการสร้างผลผลิตพืช ด้วยสารอาหารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงที่ใบถูกเคลื่อนย้ายไปสะสมในส่วนที่เป็นผลผลิตพืช เช่น เมล็ด ผล หัว เป็นต้น นอกจากนี้บางส่วนถูกเคลื่อนย้ายไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตในบริเวณยอด และปลายราก ซึ่งในการเคลื่อนย้ายน้ำตาล จำเป็นต้องใช้ ATP เป็นแหล่ง

พลังงาน ซึ่งการสังเคราะห์ ATP จำเป็นต้องใช้โฟสเฟตเสริม เมื่อน้ำตาลถูกเคลื่อนย้ายไปยังส่วนที่เป็นผลผลิตพืช น้ำตาลถูกเปลี่ยนเป็นแป้ง โปรตีน น้ำมัน หรือสารอื่นๆ ตามชนิดพืช ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ ATP เป็นแหล่งพลังงาน [3] อีกทั้งยังพบว่าให้ผลการทดลองสอดคล้องกับค่าความหวานฝักสดของข้าวโพดฝักอ่อน โดยการใส่ CMP-G-OM30+COS ให้ค่าความหวานฝักสดมากที่สุด (Table 6) แสดงให้เห็นว่าโฟสเฟตเสริมช่วยทำให้ผลผลิตพืชมีคุณภาพดี โดยพืชที่ได้รับโฟสเฟตเสริมอย่างเพียงพอ ทำให้ผลผลิตพืชมีคุณภาพที่ดี เช่น มีรสชาติดี เพราะโฟสเฟตเสริมเกี่ยวข้องกับคุณภาพผลผลิต เนื่องจากโฟสเฟตเสริมทำหน้าที่กระตุ้นเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพผลผลิตพืช [7]

4. สรุป

การใส่ CMP ให้ค่าความเขียวใบของข้าวโพดฝักอ่อนมากกว่าการไม่ใส่ CMP ขณะที่การใส่ CMP-G-OM20+COS ให้น้ำหนักฝักสด ความยาวฝักสด และค่าความหวานฝักสดของข้าวโพดฝักสดมากที่สุด ดังนั้นการใส่ CMP เคลือบด้วย COS สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการข้าวโพดฝักอ่อนได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโครงการพัฒนาวิชาการระหว่างภาควิชาปฐพีวิทยา และบริษัท กรีน อินโนเวทีฟ จำกัด เรื่อง “การพัฒนาสูตรปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลสัตว์หมัก (มูลไก่) ร่วมกับสาร Chitooligosaccharide ต่อคุณภาพของปุ๋ยและการปลดปล่อยธาตุอาหาร และการทดสอบประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน” ที่สนับสนุนงบประมาณ และสถานที่ดำเนินการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] จงรักษ์ จันทรเจริญสุข. 2541. ปุ๋ยอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ ใน ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์พิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- [2] ยงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต องประยูร. 2554. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. สำนักพิมพ์พิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- [3] กรมวิชาการเกษตร. 2552. พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่2) พ.ศ. 2550. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- [4] ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์. 2553. ไคโตซาน สารปรับปรุงพืชธรรมชาติ, เมืองไม้ผล. 9: 100-05.
- [5] สุพิชญา เหลืองธนาวัฒน์, ศุภชัย อำคา, ธงชัย มาลา และ กษิดิ์เดช ธีรนิทายธาร. 2560. การใช้ประโยชน์ของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพดอกดาวเรือง. แก่นเกษตร 45 ฉบับพิเศษ1: 412-18.
- [6] ไสพส แซ่ลิ่ม. 2559. ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. กลุ่มวิจัยและพัฒนาการจัดการอินทรีย์วัตถุ. กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. กรมพัฒนาที่ดิน.
- [7] อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2541. โฟสเฟตเสริมในดิน. ใน ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์พิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

การส่งเสริมการผลิตเงาะให้ได้คุณภาพแก่เกษตรกรจังหวัดสุราษฎร์ธานี Extension of Quality Rambutan Production for Farmers in Surat Thani Province

พีรพงศ์ พิงคารักษ์¹ สุนันท์ สีสังข์² และพลสรายุ สราญรมย์^{3*}

Peerapong Pingcarak¹, Sunan Seesang² and Ponsaran Saranrom^{3*}

¹ นักศึกษาหลักสูตรเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี

² รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี

^{3*} ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี

¹ Student, Master of Agriculture Program in Agricultural Extension and Development, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi

² Associate Professor, School of Agriculture and Cooperatives, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi

³ Assistant Professor, School of Agriculture and Cooperatives, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) สภาพทางสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร 2) สภาพการผลิตและปัญหาในกระบวนการผลิต การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว และการตลาดของเกษตรกรในการผลิตเงาะ 3) การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีของเกษตรกรในการผลิตเงาะ และ 4) ความต้องการของเกษตรกรในการผลิตเงาะคุณภาพตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี ประชากรที่ศึกษา คือ เกษตรกรผู้ผลิตเงาะ ที่ขึ้นทะเบียนเกษตรกรกับกรมส่งเสริมการเกษตร ในปีการผลิต 2564 ถึง 2565 จำนวน 2,584 ราย กำหนดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของทาร์โร ยามาเน่ ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05 ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 347 ราย และสุ่มตัวอย่างแบบง่าย เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม ผลการวิจัย พบว่า 1) เกษตรกรที่ให้ข้อมูลส่วนมากเป็นเพศชาย อายุเฉลี่ย 49.43 ปี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย/ประกาศนียบัตรวิชาชีพ จำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 3.5 คน จำนวนแรงงานในครัวเรือนเฉลี่ย 1.79 คน พื้นที่ปลูกเงาะเฉลี่ย 5.91 ไร่ รายได้ของครัวเรือนรวมเฉลี่ย 155,107 บาทต่อปี ส่วนใหญ่ได้การรับรองการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี โดยมีความรู้เกี่ยวกับการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี และได้ข้อมูลด้านการผลิตเงาะจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร 2) ส่วนใหญ่ปลูกเงาะแบบเชิงเดี่ยว การระบาดของโรคและแมลงอยู่ในระดับน้อย ผลผลิตเฉลี่ย 1,308 กิโลกรัมต่อไร่ การคัดคุณภาพก่อนส่งตลาด ไม่มีวิธีการเพิ่มอำนาจต่อราคา มีปัญหาแหล่งน้ำที่ใช้และการส่งเสริมการผลิตเงาะในระดับปานกลาง 3) เกษตรกรมีการปฏิบัติเป็นประจำตามแนวทางการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี มีเพียง 2 ประเด็นที่ปฏิบัติเป็นบางครั้งคือ การบันทึกข้อมูลและการจัดการผลผลิตให้ได้คุณภาพ 4) ความต้องการในการส่งเสริมการผลิตเงาะให้ได้คุณภาพ เกษตรกรมีความต้องการทุกรูปแบบของการส่งเสริมการเกษตร และการให้ติดตามให้คำแนะนำอย่างสม่ำเสมอ ตลอดจนเป็นพี่เลี้ยงในการรวมกลุ่มและการสร้างเครือข่ายการผลิตและการตลาดเงาะคุณภาพ

การผลิตเงาะให้ได้คุณภาพนั้นจำเป็นต้องปฏิบัติตามแนวการผลิตเงาะทางการเกษตรที่ได้อย่างต่อเนื่องทุกประเด็น และเกษตรกรต้องการการส่งเสริมการเกษตรทุกรูปแบบ และการให้ติดตามให้คำแนะนำอย่างสม่ำเสมอ

คำสำคัญ: การผลิตเงาะคุณภาพ, การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี, การส่งเสริมการเกษตร

Abstract

The objectives of this research were to study: (1) socio-economic status of farmers, (2) situations and problems of rambutan production regarding production process, post-harvest practices, and marketing, (3) the practices of farmers based on Good Agricultural Practice (GAP) standard for rambutan production, and (4) the needs of farmers regarding an extension of quality rambutan production based on GAP.

The population of this research consisted of 2,584 farmers in Surat Thani Province who registered as rambutan producers under Department of Agricultural Extension for the year of 2021/2022. Samples were determined by using Taro Yamane's formula with an error of 0.05 level accounting for 347 farmers and selected by simple random sampling method.

The research results were found that (1) the majority of respondents were male with an average age of 49.43 years, mostly finished high school / vocational education certificate, and had an average of 3.5

household members. They had an average of 1.79 household labors for producing rambutan in an average area of 5.91 Rai. An average annual total household income was 155,107 baht. Most of the farmers received GAP certificate and had good knowledge of it. They received information of rambutan production from agricultural extensionists. (2) The plantation was single crop, insect and disease outbreaks were found at low level. The average yield was 1,308 kilograms per Rai and were graded before sending to markets. There were no price negotiations. The problems of water resource and rambutan extension were indicated at moderate level. (3) The farmers performed GAP frequently in most aspects, except two aspects such as recording and quality production management were done occasionally. (4) The needs in an extension of quality rambutan production, they would like to receive all types of agricultural extension, frequent guiding, and mentoring of farmer group and network building for quality rambutan production and marketing.

produce quality rambutan, it is necessary to consistently adhere to the practices of farmers based on Good Agricultural Practice (GAP) for rambutan production in all aspects. And farmers needs in an extension of quality rambutan production, they would like to receive all types of agricultural extension, frequent guiding, and mentoring.

Keywords: Quality rambutan production, Good Agricultural Practice, Agricultural extension

บทนำ

เงาะ เป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ในปี 2564 การค้าเงาะของประเทศไทยใช้ในประเทศ 291,251 ตัน ส่งออกรวม 17,932 ตัน (ตันสด) ในรูปของเงาะสด 11,828 ตัน มูลค่า 239.74 ล้านบาท เงาะบรรจุภาชนะอัดลม 3,056 ตัน มูลค่า 211.17 ล้านบาท และเงาะสดใส่สับปะรดในน้ำเชื่อม 2,232 ตัน มูลค่า 122.62 ล้านบาท ด้านการผลิตปัจจุบันเงาะมีพื้นที่ปลูก 226,139 ไร่ พื้นที่ให้ผลผลิต 208,384 ไร่ ผลผลิตรวม 283,614 ตัน แหล่งผลิตที่สำคัญในภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดตราด มีพื้นที่ปลูก 52,791ไร่ จันทบุรี 50,881ไร่ และสุราษฎร์ธานี 26,849 ไร่ จากข้อมูลของเงาะ จำนวนเนื้อที่ยืนต้นและเนื้อที่ให้ผลผลิต ปี 2555 ถึง 2566 ข้อมูลมีแนวโน้มที่ลดลง [1] (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

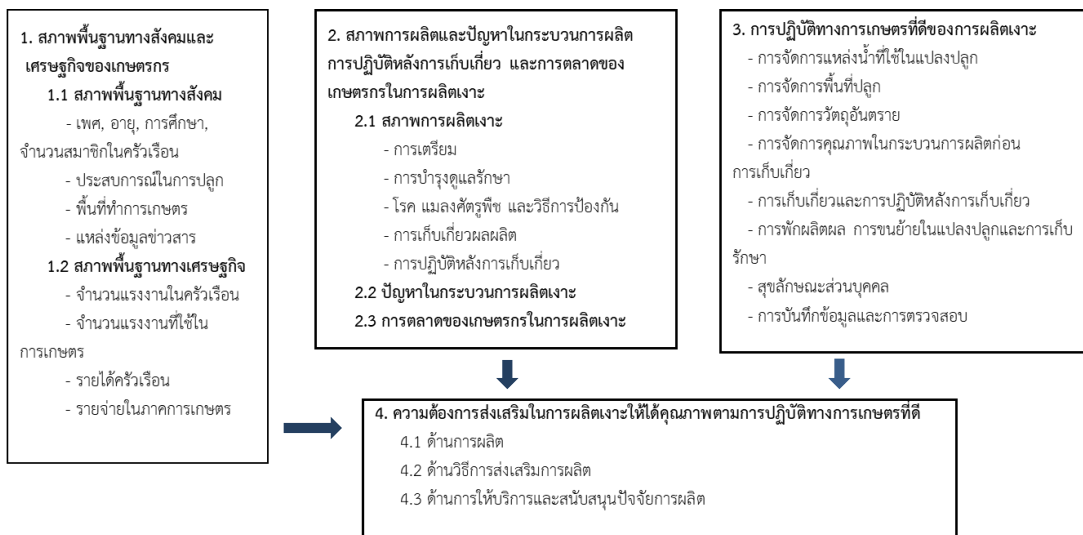
เงาะเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นแหล่งผลิตเงาะ อันดับ 1 ของภาคใต้ มีพื้นที่ปลูกเงาะในปี 2564 จำนวน 26,849 ไร่ เนื้อที่ให้ผล 26,131 ไร่ ให้ผลผลิต 38,915 ตัน เฉลี่ยไร่ละ 1,489 กก. โดยมีแหล่งปลูกเงาะใหญ่ที่สุดอยู่ที่ อ.บ้านนาสาร 21,126 ไร่ รองลงมาอำเภอเวียงสระ 1,551 ไร่ และบ้านนาเดิม 1,153 ไร่ ตามลำดับ จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีเงาะโรงเรียนที่มีความโดดเด่น ผลทรงกลม เปลือกบาง เนื้อหนา ห้าง กรอบล่อนจากเมล็ด รสชาติหวาน หอม รองลงมาเงาะสีทองและเงาะพันธุ์อื่นๆ ผลผลิตจะออกสู่ตลาดช่วง มิถุนายน-สิงหาคม และจะออกมากที่สุด กรกฎาคม [2] (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรที่ 8, 2565)

ข้อมูลจากพื้นที่ปลูกเงาะในปี 2565 จำนวน 25,606 ไร่ ลดลงร้อยละ 4.63 เนื้อที่ให้ผล 24,937 ไร่ ลดลงร้อยละ 4.57 [3] (สำนักงานเกษตรจังหวัดสุราษฎร์ธานี, 2565) และข้อมูลการขึ้นทะเบียนเกษตรกรมีเกษตรกรผู้ผลิตเงาะที่ขึ้นทะเบียนเกษตรกรกับกรมส่งเสริมการเกษตร ในปีการผลิต 2564 ถึง 2565 มีจำนวน 12,960 ไร่ จำนวน 2,584 ราย จำนวนลดลงจากปี ในปีการผลิต 2563 ถึง 2564 มีจำนวน 18,001ไร่ จำนวน 4,355 ราย [4] (สำนักงานเกษตรจังหวัดสุราษฎร์ธานี, 2565) ซึ่งพื้นที่ปลูกเงาะลดลงจำนวนมาก เงาะเป็นไม้ผลที่มีความแปรปรวนสูงทั้งการติดผล ปริมาณ ผลผลิต และราคาแต่ละปีมีปริมาณมากในช่วงเวลาเดียวกัน เกษตรกรบางส่วนโคนเงาะเพื่อปลูกไม้ผลชนิดอื่นทดแทน ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศส่งผลให้ผลผลิตลดลงและไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานตามที่ตลาดต้องการ จึงมีความจำเป็นที่ต้องดำเนินการศึกษาข้อมูลทางสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร ปัญหาในกระบวนการผลิต การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวและการตลาด ต้องการส่งเสริมเกษตรกรของเกษตรกรพร้อมทั้งแนวทางการผลิตเงาะให้ได้คุณภาพต่อไป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาพทางสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร
2. เพื่อศึกษาสภาพการผลิตและปัญหาในกระบวนการผลิต การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวและการตลาด
3. เพื่อศึกษาการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีของเกษตรกรในการผลิตเงาะ
4. เพื่อศึกษาความต้องการของเกษตรกรในการผลิตเงาะคุณภาพตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี

กรอบแนวคิดการวิจัย



ระเบียบวิธีวิจัย

ประชากรที่ศึกษา คือ เกษตรกรผู้ผลิตเงาะ ที่ขึ้นทะเบียนเกษตรกรกับกรมส่งเสริมการเกษตร ในปีการผลิต 2564 ถึง 2565 จำนวน 2,584 ราย กำหนดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของทาร์โรว์ ยามาเน่ ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05 ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 347 ราย และสุ่มตัวอย่างแบบง่าย เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษาและการวิจารณ์

1. ผลการวิจัย

1.1 ข้อมูลส่วนบุคคล สภาพทางสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร พบว่า เป็นเพศชายส่วนใหญ่ อายุเฉลี่ย 49.43 ปี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. ร้อยละ 31.1 จำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 3.00 คน ประสบการณ์การปลูกเงาะ (ทั่วไป) เฉลี่ย 21.05 ปี ส่วนใหญ่มีความรู้เรื่องการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) และได้ข้อมูลข่าวสารด้านการผลิตเงาะจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร มีพื้นที่ทำการเกษตรทั้งหมดเฉลี่ย 22.97 ไร่ ถ้าพันธุ์เงาะที่ปลูกจากแปลงขยายพันธุ์ ส่วนใหญ่ปลูกเงาะโรงเรียน พื้นที่ปลูกเงาะทั่วไป เฉลี่ย 5.91 ไร่ พื้นที่ปลูกเงาะที่ได้รับรอง GAP เฉลี่ย 5.91 ไร่ ลักษณะการถือครองส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ของตัวเอง จำนวนแรงงานทั้งหมดในครัวเรือนเฉลี่ย 2.73 คน จำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิตเงาะเป็นแรงงานในครัวเรือนเฉลี่ย 1.79 คน ลักษณะการจ้างแรงงานที่ใช้ในการผลิตเงาะ มี 2 คือแบบแรงงานที่จ้างตลอด ทั้งปี เฉลี่ย 1.90 คนและ แรงงานจ้างเป็นครั้งคราวเช่น ตัดหญ้า ตัดแต่งกิ่ง ใส่ปุ๋ย ฉีดยา ฉีดฮอร์โมน เก็บเกี่ยวผลผลิต เป็นต้น เฉลี่ย 3.16 คน รายได้ของครัวเรือนรวมกันเฉลี่ย 155,107.30 บาท รายได้ภาคการเกษตร แบ่งเป็น รายได้จากภาคการเกษตรอื่น ๆ (ไม่รวมเงาะ) และรายได้จากการผลิตเงาะ พบว่ารายได้จากภาคการเกษตรอื่น ๆ เกษตรกรมีรายได้เฉลี่ย 24,213.28 บาท และรายได้จากการผลิตเงาะ(จำนวนบาทต่อไร่ต่อปี) เกษตรกรมีรายได้เฉลี่ย 12,165บาท รายได้นอกภาคการเกษตร เกษตรกรมีรายได้นอกภาคการเกษตรเฉลี่ย 13,828 บาท รายจ่ายภาคการเกษตร แบ่งเป็น รายจ่ายภาคการเกษตรอื่น ๆ (ไม่รวมเงาะ) และรายจ่ายในการผลิตเงาะ จากการศึกษาพบว่า รายจ่ายภาคการเกษตรอื่น (ไม่รวมเงาะ) เกษตรกรมีรายจ่ายเฉลี่ย 41,616.63บาท รายจ่ายการผลิตเงาะ(ต้นทุนต่อไร่ต่อปี) เกษตรกรมีรายจ่ายเฉลี่ย 24,795 บาทและค่าจ้างแรงงานต่อปี เกษตรกรมีรายจ่ายเฉลี่ย 2,166.5 บาท

1.2 การผลิตและปัญหาในกระบวนการผลิต การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว และการตลาดของเกษตรกรในการผลิตเงาะ ส่วนใหญ่ลักษณะพื้นที่ปลูกเงาะเป็นพื้นราบและดินร่วนปนทราย เกษตรกรสวนใหญ่ปลูกเงาะแบบเชิงเดี่ยว และใช้ระยะปลูก 8x8 เมตร ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในการเตรียมความพร้อมของดินหลังการเก็บเกี่ยว ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 และปุ๋ยสูตร 13-13-21 เพื่อชักนำการออกดอกและควบคุมปริมาณดอกและผล ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อส่งเสริมการพัฒนาการของผล และส่วนใหญ่การให้น้ำแก่ต้นเงาะแบบติดตั้งระบบน้ำแบบโปรยน้ำ (sprinkler) การระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช พบว่า ระดับความรุนแรงที่เกษตรกรพบในภาพรวมอยู่ในระดับน้อยและปานกลาง การป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืช ส่วนใหญ่ไม่ใช้วิธีใดเลยในการป้องกันกำจัดโรคพืช และส่วนใหญ่ใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช เก็บเกี่ยวเงาะในระยะผลสามสี ซึ่งหมายถึงเงาะที่มีสีผิวเขียวเป็นสีเขียวปนเหลืองแต้มแดง โดยใช้ไม้ขอเกี่ยวผลไม้ตัดผลผลิตที่พร้อมเก็บเกี่ยว 1 ช่วง คือ เดือนมิถุนายน ถึง เดือนสิงหาคม ปริมาณผลผลิตของเงาะ เฉลี่ย 1,308.1 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนใหญ่มีการตัดแต่งกิ่งเงาะหลังการเก็บเกี่ยว คัดคุณภาพผลผลิตเงาะก่อนส่งขาย คัดขนาดผลผลิตเงาะ ก่อนส่งขาย และเกษตรกรทั้งหมดใช้ ตะกร้าพลาสติกเป็นภาชนะบรรจุก่อนการจำหน่าย เกษตรกรขายผลผลิตให้กับผู้บริโภคโดยตรงโดยส่วนใหญ่ผู้รับซื้อกำหนดราคา และส่วนใหญ่ไม่มีวิธีการเพิ่มอำนาจต่อราคา มีบางส่วนมีวิธีการรวมกลุ่มเกษตรกร มีการเพิ่มช่องทาง การจำหน่าย มีการพัฒนาคุณภาพผลผลิต โดยพบว่าราคาเฉลี่ยผลผลิตของเงาะ คือ 41.88 บาทต่อกิโลกรัม ปัญหาในกระบวนการผลิตเงาะตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีในระดับมาก ในประเด็น พื้นที่ปลูก วัตถุดิบทรายทางการเกษตร ปัจจัยการผลิตมีราคาสูง การจัดการคุณภาพในกระบวนการผลิตก่อนการเก็บเกี่ยว การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว การพักผลผลิตการขนย้ายในแปลงปลูกและการเก็บรักษา สุขลักษณะส่วนบุคคล และแหล่งน้ำที่ใช้ในแปลงปลูกในระดับปานกลาง ปัญหาด้านการตลาด อยู่ในระดับมากในประเด็น การขาดเงินทุนหมุนเวียนและราคาของผลผลิตไม่แน่นอน **ปัญหาด้านการส่งเสริมการผลิต**ในระดับปานกลาง เรื่องระบบการทำงานส่งเสริมของภาครัฐค่อนข้างช้า และหน่วยงานระดับท้องถิ่นไม่ให้ความสำคัญในการส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตเงาะ ไม่มีการติดตามผลการส่งเสริมอย่างสม่ำเสมอ

1.3 การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีของเกษตรกร หลักการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีของเกษตรกรผู้ผลิตเงาะทั้งหมด 8 ข้อหลัก ผลการศึกษา พบว่า ส่วนใหญ่ปฏิบัติตามทุกข้อ ได้แก่ แหล่งน้ำ พื้นที่ปลูก การใช้วัตถุดิบทรายทางการเกษตร การเก็บรักษาและการขนย้ายผลผลิตภายในแปลง การบันทึกข้อมูล การผลิตให้ปลอดภัยจากศัตรูพืช การจัดการกระบวนการผลิตให้ได้ผลผลิตคุณภาพ และการเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว ที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อคุณภาพและปนเปื้อนสิ่งอันตรายที่มีผลต่อการบริโภค

1.4 ความต้องการส่งเสริมเกษตรกรในการผลิตเงาะตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี ประกอบด้วย

1.4.1 ประเด็นเนื้อหาการผลิตเงาะตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี เห็นด้วยกับประเด็นเนื้อหาการให้ความรู้เกี่ยวกับการผลิตเงาะที่ดีด้านต่าง ๆ ในระดับมาก ประกอบด้วยเนื้อหาความรู้ 5 ประเด็น ได้แก่ วิธีการปลูก การดูแลรักษา การใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชของเงาะตามหลักการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี โรค แมลงศัตรูพืช การป้องกันกำจัด และการเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว

1.4.2 วิธีการส่งเสริมการผลิตเงาะตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี เกษตรกรมีความต้องการทุกรูปแบบของการส่งเสริมการเกษตร ได้แก่ วิธีการส่งเสริมรายบุคคล วิธีการส่งเสริมแบบกลุ่ม และวิธีการส่งเสริมแบบมวลชน

1.4.3 การให้บริการและการสนับสนุนปัจจัยการผลิต ได้แก่

1) **การให้บริการ** ต้องการในระดับมากทั้ง 5 ประเด็น ได้แก่ เจ้าหน้าที่ควรติดตามให้คำแนะนำอย่างสม่ำเสมอ การให้บริการด้านความรู้ในเรื่องการผลิตและการตลาด การให้คำปรึกษา แนะนำ เป็นพี่เลี้ยงในการรวมกลุ่ม/เครือข่ายการผลิตและการตลาด การให้บริการด้านข้อมูลข่าวสารการผลิตและการตลาด และการให้บริการด้านการดำเนินการต่าง ๆ เช่น การขึ้นทะเบียนการเพาะปลูก

2) **การสนับสนุน** ในระดับมากทั้ง 4 ประเด็น ได้แก่ การเข้าถึงแหล่งปัจจัยการผลิตที่ได้คุณภาพและราคาถูก เช่น ปุ๋ย ต้นพันธุ์ดี การเข้าถึงแหล่งตลาดและข้อมูลด้านราคา ประเด็นรองลงมาในระดับปานกลาง คือ การเข้าถึงแหล่งสินเชื่อเพื่อการเกษตรดอกเบี้ยต่ำ และการรวมกลุ่มเพื่อการผลิต เช่น การทำการเกษตรแบบแปลงใหญ่

2. การวิจารณ์

จากการศึกษาเรื่อง การส่งเสริมการผลิตเงาะให้ได้คุณภาพแก่เกษตรกรจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีประเด็นที่ควรนำมาอภิปราย ดังนี้

2.1 ข้อมูลส่วนบุคคล สภาพทางสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ย 49.43 ปี จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. ร้อยละ 31.1 จำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 3.00 คน ประสบการณ์การปลูกเงาะ

(ทั่วไป) เฉลี่ย 21.05 ปี เกษตรกรมีความรู้เรื่องการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) ร้อยละ 96.5 และเกษตรกรได้ข้อมูลข่าวสารด้านการผลิตเงาะจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ซึ่งใกล้เคียงกับ [5] พัทธภรณ์ เพ็ชรทอง (2552,115 น.) ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ย 53 ปี จบการศึกษาชั้นประถมศึกษาตอนต้น จำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 4.00 คน ประสบการณ์การปลูกเงาะเฉลี่ย 20 ปี ปลูกตามระบบ (GAP) ส่วนและเกษตรกรได้ข้อมูลข่าวสารจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรเกษตรกร ซึ่งใกล้เคียงกับของ [6] (หทัยกาญจน์ สิทธาและคณะ (2561,4 น.) ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ยมากกว่า 45 จบการศึกษาชั้นประถมศึกษา ร้อยละ 58.1 ประสบการณ์การปลูกเงาะเฉลี่ย 25 ปี และเกษตรกรได้ข้อมูลข่าวสารด้านการผลิตเงาะจากคนในครอบครัว จะเห็นได้ว่าจากงานวิจัย เกษตรกรผู้ผลิตเงาะของจังหวัดสุราษฎร์ธานี ส่วน มี เพศ อายุ ประสบการณ์การปลูกเงาะ ความรู้เรื่องการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี และการได้ข้อมูลข่าวสารด้านการผลิตเงาะใกล้เคียงกัน อาจมีความแตกต่างบ้าง แต่โดยส่วนใหญ่เกษตรกรเป็นเพศชาย อายุอยู่ในเกณฑ์มากแต่ประสบการณ์การปลูกเงาะก็มากด้วย อาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกษตรกรเกษตรกรยังคงผลิตอยู่ และการได้ข้อมูลข่าวสารด้านการผลิตเงาะเป็นเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการส่งเสริมการเกษตรในการผลิตเงาะว่านักส่งเสริมการเกษตรมีผลต่อการพัฒนาความรู้และการเข้าถึงเทคโนโลยีต่าง ๆ อีกด้วย มีพื้นที่ทำการเกษตรทั้งหมดเฉลี่ย 22.97 ไร่ กล้าพันธุ์เงาะจากแปลงขยายพันธุ์ พันธุ์เงาะที่ปลูกของเกษตรกรนิยมปลูกส่วนใหญ่เป็นพันธุ์เงาะโรงเรียน ร้อยละ 83.3 พื้นที่ปลูกเงาะทั่วไป เฉลี่ย 5.91ไร่ พื้นที่ปลูกเงาะที่ได้รับรอง GAP เฉลี่ย 5.91 ไร่ ลักษณะการถือครองพื้นที่ของตนเอง จำนวนแรงงานทั้งหมดในครัวเรือนเฉลี่ย 2.73 คน จำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิตเงาะเป็นแรงงานในครัวเรือนเฉลี่ย 1.79 คน ลักษณะการจ้างแรงงานที่ใช้ในการผลิตเงาะ มี 2 คือแบบแรงงานที่จ้างตลอด ทั้งปีและเป็นครั้งคราว รายได้ของครัวเรือนรวมกันเฉลี่ย 155,107 บาท รายได้ภาคการเกษตร แบ่งเป็น รายได้จากภาคการเกษตรเฉลี่ย 103,491 บาท รายได้นอกภาคการเกษตร เกษตรกรมีรายได้นอกภาคการเกษตรเฉลี่ย 13,828 บาท เกษตรกรมีรายจ่ายเฉลี่ย 41,616บาท รายจ่ายการผลิตเงาะ เกษตรกรมีรายจ่ายเฉลี่ย 24,188.28 บาทและค่าจ้างแรงงานต่อปี เกษตรกรมีรายจ่ายเฉลี่ย 2,166.5 บาท ใกล้เคียงกับของ [6] หทัยกาญจน์ สิทธาและคณะ (2561,4 น.) เกษตรกรปลูกพันธุ์เงาะโรงเรียน รายได้ของเกษตรกรเฉลี่ย มากกว่า 50,000 บาท ซึ่งใกล้เคียงกับของ [5] พัทธภรณ์ เพ็ชรทอง (2552,115 น.) พื้นที่ปลูกเงาะทั่วไป เฉลี่ย 10ไร่ รายได้ของครัวเรือนรวมกันเฉลี่ย 287,178 บาทต่อปี ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าเกษตรกร มีรายรับรายจ่าย ไม่ว่าจะในภาคการเกษตรและนอกภาคการเกษตร หลายช่องทาง ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ของตนเอง

2.2 การผลิตและปัญหาในกระบวนการผลิตของเกษตรกร

2.2.1 สภาพการผลิต ส่วนใหญ่ลักษณะพื้นที่ปลูกเงาะเป็นพื้นราบและดินร่วนปนทราย เกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกเงาะแบบเชิงเดี่ยว และใช้ระยะปลูก 8x8 เมตร สอดคล้องกับ ซึ่งใกล้เคียงกับของ [6] หทัยกาญจน์ สิทธาและคณะ (2561, น. 4.) เป็นพื้นราบและดินร่วนปนทราย เกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกเงาะแบบเชิงเดี่ยว และใช้ระยะปลูก 8x8 เมตรและ10x10 เมตร ซึ่งเห็นได้ว่าระยะปลูกของเกษตรกรเป็นตามหลักวิชาการ การบำรุงดูแลรักษา พบว่า เกษตรกรใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในการเตรียมความพร้อมของต้นหลังการเก็บเกี่ยว ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24และปุ๋ยสูตร 13-13-21 เพื่อชักนำการออกดอกและควบคุมปริมาณดอกและผล ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อส่งเสริมการพัฒนาการของผล และส่วนใหญ่การให้น้ำแก่ต้นเงาะแบบติดตั้งระบบน้ำแบบสปริงเกอร์ (sprinkler) สอดคล้องกับการศึกษาของ[6] หทัยกาญจน์ สิทธาและคณะ (2561, น. 6.) เกษตรกรใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 รองลงมาปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 หรือ16-16-16 ในการเตรียมความพร้อมของต้นหลังการเก็บเกี่ยว ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งเห็นได้ว่าการบำรุงดูแลรักษาของเกษตรกรเป็นตามหลักวิชาการ ระดับความรุนแรงที่เกษตรกรพบในภาพรวมอยู่ในระดับน้อยและปานกลาง เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่ใช้วิธีใดเลยในการป้องกันกำจัดโรคพืช และเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช แตกต่างกับ [6] หทัยกาญจน์ สิทธาและคณะ (2561, น. 6.) โรคสำคัญที่พบ โรคราแป้ง เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้กำมะถันผงในการป้องกันกำจัด แมลงสำคัญที่พบหนอนเจาะขั้วผล เพลี้ยแป้ง เพลี้ยหอย เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ สารเคมีในการป้องกันกำจัด ซึ่งเห็นได้ว่าเลือกการป้องกันศัตรูพืชแต่ละชนิดตามระดับความรุนแรงที่เกษตรกรพบ เกษตรกรทั้งหมดเก็บเกี่ยวเงาะในระยะผลสามสี ซึ่งหมายถึง เงาะที่มีสีผิวเขียวเป็นสีเขียวปนเหลืองแต้มแดง โดยใช้ไม้ข่อยเกี่ยวผลไม้ตัดผลผลิตที่พร้อมเก็บเกี่ยว 1 ช่วง คือ เดือนมิถุนายน ถึง เดือนสิงหาคม ปริมาณผลผลิตของเงาะ เฉลี่ย 1,308.1กิโลกรัมต่อไร่ สอดคล้องกับการศึกษาของ [6]หทัยกาญจน์ สิทธาและคณะ (2561, น. 6.) เกษตรกรเก็บเกี่ยวเงาะในระยะผลสามสี ซึ่งหมายถึงเงาะที่มีสีผิวเขียวเป็นสีเขียวปนเหลืองแต้มแดง โดยใช้กรรไกรตัดผลไม้ที่ให้ผลผลิตพร้อมเก็บเกี่ยว ปริมาณผลผลิตของเงาะเฉลี่ย 2,500 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งปริมาณผลผลิตของเงาะเฉลี่ยน้อยกว่า[6] หทัยกาญจน์ สิทธาและคณะ (2561, น. 6.) อยู่เป็นจำนวนมาก จำเป็นต้องเรียนรู้เทคโนโลยีในการเพิ่มผลผลิต มีการตัดแต่งกิ่งเงาะ การคัดคุณภาพผลผลิตเงาะก่อนส่งขาย การคัดขนาดผลผลิตเงาะก่อนส่งขาย และตะกร้าพลาสติกเป็นภาชนะบรรจุก่อนการจำหน่าย สอดคล้องกับการศึกษาของ[6] หทัยกาญจน์ สิทธาและคณะ (2561, น. 6.) มีการคัดคุณภาพและแยกเกรด

เงาะออกเป็น 3 เกรด ได้แก่ เกรด 1 เงาะผลเดี่ยวคุณภาพ เกรด 2 เงาะโรงงาน และเกรด 3 เศษเงาะ อาจเป็นเพราะประชากรที่สุ่มมาจาก 19 อำเภอ ซึ่งมีการคัดคุณภาพแบ่งเกรดเพื่อเพิ่มช่องทางจำหน่าย มีการขายผลผลิตให้กับผู้บริโภคโดยตรงโดยส่วนใหญ่ผู้รับซื้อกำหนดราคา และพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีวิธีการเพิ่มอำนาจต่อรองราคา มีเกษตรกรบางส่วนมีวิธีการรวมกลุ่มเกษตรกร มีการเพิ่มช่องทาง การจำหน่าย มี การพัฒนาคุณภาพผลผลิต โดยพบว่าราคาเฉลี่ยผลผลิตของเงาะ คือ 41.88 บาทต่อกิโลกรัม แตกต่างกับการศึกษาของ [6] หทัยกาญจน์ สิทธิธาและคณะ (2561, น. 6.) เกษตรกรขายผลผลิตให้กับแม่ค้ามารับซื้อในพื้นที่สวนแล้วนำไปส่งจำหน่ายตลาดขายส่งภายในประเทศ โดยส่วนใหญ่ผู้รับซื้อกำหนดราคา และพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่มีวิธีการเพิ่มอำนาจต่อรองราคาโดยคัดเกรดคุณภาพเงาะเป็นการเพิ่มช่องทาง การจำหน่าย มี การพัฒนาคุณภาพผลผลิต โดยพบว่าเกรด 1 เงาะผลเดี่ยวคุณภาพราคาเฉลี่ย 21-25 บาท เกรด 2 เงาะโรงงานราคาเฉลี่ย 11-15 บาท และเกรด 3 เศษเงาะราคาเฉลี่ยน้อยกว่า 5 บาท ซึ่งเห็นได้สามารถเกษตรกรคัดเกรดคุณภาพเงาะเองในการจำหน่ายมีการพัฒนาคุณภาพผลผลิต

2.2.2 ปัญหาในกระบวนการผลิตเงาะตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี มีดังนี้

1) การผลิตตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี มีปัญหาด้านการผลิตในระดับมาก ทั้ง 7 ประเด็น ยกเว้นแหล่งน้ำที่ใช้ในแปลงปลูกในระดับปานกลาง ตามลำดับ แตกต่างกับการศึกษาของ [7] วัลลภา สามประดิษฐ์ (2562,น5) เกษตรกรมีปัญหาด้านการผลิตตาม GAP เพื่อพัฒนาการผลิตมังคุดคุณภาพในภาพอยู่ระดับมาก แต่มีระดับน้อย อยู่ 2 ประเด็น ได้แก่ การจดบันทึกข้อมูลการใช้สารเคมีและวัตถุอันตรายและการบันทึกข้อมูลการสำรวจศัตรูพืชและการป้องกันกำจัด ซึ่งทั้งสองประเด็นสำคัญมาก

2) การตลาด เรื่อง การขาดเงินทุนหมุนเวียน และราคาของผลผลิตไม่แน่นอนที่สำคัญ นอกจากนี้ เกษตรกรมีปัญหาด้านการผลิตในระดับปานกลางมี 2 ประเด็น ได้แก่ ไม่มีแหล่งจำหน่าย และมีช่องทางการตลาดน้อย

3) การส่งเสริมการผลิตเงาะ ในระดับปานกลาง ทั้ง 4 ประเด็น ได้แก่ ระบบการทำงานส่งเสริมของภาครัฐค่อนข้างช้า และหน่วยงานระดับท้องถิ่นไม่ให้ความสำคัญในการส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตเงาะมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน ประเด็นรองลงมา ไม่มีการติดตามผลการส่งเสริมอย่างสม่ำเสมอ และได้รับการจัดอบรมความรู้เกี่ยวกับการผลิตเงาะน้อย สอดคล้องกับการศึกษาของ [8] เกศรินทร์ จันท์แก้ว (2562, น6) ศักยภาพของเกษตรกรในการผลิตมังคุดคุณภาพในอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช ปัญหาและความต้องการในการส่งเสริมการผลิตมังคุดคุณภาพของเกษตรกรในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นประเด็นที่สำคัญ

2.3 การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีของเกษตรกรในการผลิตเงาะ หลักเกณฑ์การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีของเกษตรกรผู้ผลิตเงาะ มีทั้งหมด 8 ประเด็น พบว่า เกษตรกรสามารถปฏิบัติเป็นประจำได้ครบถ้วน โดยมี 2 ประเด็นเกษตรกรปฏิบัติเป็นบางครั้ง คือ การบันทึกข้อมูลและการจัดการกระบวนการผลิตให้ได้ผลผลิตคุณภาพ ใกล้เคียงกับการศึกษาของ [9] สุภารัตน์ ชูชัย (2562, น. 76) ได้ศึกษาเรื่องแนวทางการส่งเสริมการผลิตมังคุดตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีของเกษตรกรในอำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าสาเหตุที่เกษตรกร ไม่บันทึกข้อมูล เนื่องจากเกษตรกร ไม่เห็นถึงความสำคัญของการบันทึกข้อมูลเห็นว่าการบันทึกข้อมูลมีความยุ่งยาก และไม่มีความจำเป็นในการบันทึกข้อมูล สอดคล้องกับการศึกษาของ [8] เกศรินทร์ จันท์แก้ว (2562 ,น6) การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีในการผลิตมังคุด การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีในการผลิตมังคุด ในภาพรวมเกษตรกรมีการปฏิบัติเป็นประจำคือ การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรหรือตามฉลากที่ปิดไว้กับบรรจุภัณฑ์ ทั้งนี้ ไม่มีการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สารเคมีและวัตถุอันตราย การสำรวจศัตรูพืชและการป้องกันกำจัด การให้น้ำใส่ปุ๋ยเพื่อการบำรุงดูแลผลผลิต การบันทึกแหล่งที่มาของปัจจัยการผลิต สอดคล้องกับการศึกษาของ [7] วัลลภา สามประดิษฐ์ (2562,น5) พบว่า การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีในการผลิตมังคุดการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีอยู่ในระดับดีมาก แต่มีระดับน้อยอยู่ 2 ประเด็น คือ การจดบันทึกการใช้สารเคมีและวัตถุอันตราย และการการสำรวจศัตรูพืชและการป้องกันกำจัด ซึ่งเป็นประเด็นที่ต้องติดตามให้เกษตรกรปฏิบัติอยู่เสมอ

2.4 ความต้องการการส่งเสริมเกษตรกรในการผลิตเงาะตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี ได้แก่

2.4.1 ประเด็นเนื้อหาการผลิตเงาะตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี ต้องการส่งเสริมระดับมากที่สุด 3 ดังนี้ การให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชของเงาะตามหลักการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี การให้ความรู้เกี่ยวกับการเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวตามหลักการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี และการให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลรักษาตามหลักการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี ใกล้เคียงกับการศึกษาของ [9] สุภารัตน์ ชูชัย (2562, น. 76) ได้ศึกษาเรื่องแนวทางการส่งเสริมการผลิตมังคุดตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีของเกษตรกรในอำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าระดับความรู้ที่ต้องการมากที่สุด คือการผลิตมังคุดมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีและการผลิตมังคุดนอกฤดู สอดคล้องกับ

การศึกษาของ [8] เกศรินทร์ จันท์แก้ว (2562 ,น76) การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีในการผลิตมังคุด การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีในการผลิตมังคุด พบว่า ความต้องการในการส่งเสริมการผลิตมังคุดคุณภาพมีความต้องการอยู่ในระดับมาก ทั้งในด้านการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการผลิต การนำเทคโนโลยีมาใช้ในการตลาด การนำเทคโนโลยีมาใช้ในการเก็บเกี่ยว [7] วัลลภา สามประดิษฐ์ (2562,น5) พบว่า เกษตรกรมีความต้องการรวมอยู่ในระดับปานกลาง โดยด้านความรู้ที่เกษตรกรมีความต้องการอยู่ในระดับมากที่สุด ได้แก่ ด้านการตลาด ราคาผลผลิตไม่แน่นอน และราคาผลผลิตตกต่ำ และเกษตรกรมีความต้องการอยู่ในระดับมาก ซึ่งเป็นประเด็นที่ควบคู่กับการส่งเสริมเกษตรกร เป็นความรู้ในการพัฒนาการผลิตตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ตนเอง

2.4.2 วิธีการส่งเสริมการผลิตเงาะตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี ได้แก่

1) วิธีการส่งเสริมรายบุคคล ในระดับมากทั้ง 3 ประเด็น ได้แก่ ควรมีการติดต่อทางโทรศัพท์ระหว่างเจ้าหน้าที่กับเกษตรกรเพื่อให้เกิดความสะดวก เจ้าหน้าที่สามารถให้คำปรึกษาได้ เมื่อเกษตรกรเข้าไปพบในที่สำนักงาน และการสนับสนุนการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างเกษตรกรต้นแบบ (วิทยากรเกษตรกร) กับเกษตรกร สอดคล้องกับการศึกษาของ [7] วัลลภา สามประดิษฐ์ (2562, น5) พบว่า เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรมีบทบาทในการส่งเสริมการผลิตมังคุดคุณภาพ เพราะเป็นแหล่งความรู้ที่เกษตรกรได้รับมากที่สุด

2) วิธีการส่งเสริมแบบกลุ่ม ในระดับมาก ทั้ง 2 ประเด็น ได้แก่ การอบรมการผลิตเงาะตามหลักการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี และการจัดทำแปลงสาธิต/แปลงเรียนรู้/เกษตรกรต้นแบบ สอดคล้องกับการศึกษาของ [7] วัลลภา สามประดิษฐ์ (2562,น5) พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ยังไม่มี การรวมกลุ่มผลิตมังคุดคุณภาพ โดยมีความคิดเห็นเกี่ยวกับการดำเนินการรวมกลุ่มเพื่อพัฒนาการผลิตมังคุดคุณภาพในระดับมากที่สุด

3) วิธีการส่งเสริมแบบมวลชน ต้องการวิธีการในระดับมาก โดยเกษตรกรต้องการวิธีการส่งเสริมแบบมวลชนในระดับมากทั้ง 4 ประเด็นเช่นกัน ได้แก่ การให้ความรู้และข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการผลิตเงาะผ่านสื่อมวลชน เช่น วิทยุ โทรทัศน์ วิทยุกระจายเสียง การให้ความรู้และข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการผลิตเงาะผ่านสื่อท้องถิ่น เช่น หอกระจายข่าวหมู่บ้าน การให้ความรู้และข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการผลิตเงาะผ่านอินเทอร์เน็ตและแอปพลิเคชันต่าง ๆ เช่น ไลน์ เฟสบุ๊ก โปรแกรม/แอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรต่าง ๆ การให้ความรู้และข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการผลิตเงาะผ่านเอกสาร คู่มือ/แผ่นพับ/โปสเตอร์ และวิธีการส่งเสริมแบบมวลชนในระดับปานกลางคือการให้ความรู้และข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการผลิตเงาะผ่านการจัดนิทรรศการต่าง ๆ ตามลำดับ ใกล้เคียงกับการศึกษาของ [9] สุภารัตน์ ชูชัย (2562, น 76) พบว่าช่องทางส่งเสริมบุคคลคือหน่วยงานราชการ สิ่งพิมพ์ คู่มือ และสื่ออิเล็กทรอนิกส์ คือโทรทัศน์ วิธีการส่งเสริมแบบบรรยาย [10] จีราวรรณ คงจันทร์ (2562,น.71) พบว่าความต้องการวิธีการส่งเสริมการเรียนรู้แบบบรรยาย เกษตรกรส่วนมากต้องการวิธีส่งเสริมการเรียนรู้แบบบรรยายในระดับปานกลางทุกประเด็น ทั้งการผลิตมังคุดนอกฤดู การจัดการโรคแมลงศัตรูมังคุด การผลิตมังคุดตามหลักการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี และการผลิตมังคุด จะเห็นได้ว่าเกษตรกรมีความต้องการ 2 วิธีการส่งเสริมทุกรูปแบบของการส่งเสริมการเกษตร และการให้ติดตามให้คำแนะนำอย่างสม่ำเสมอ

2.4.3 การให้บริการและการสนับสนุนปัจจัยการผลิต ได้แก่

1) การให้บริการ ต้องการในระดับมากทั้ง 5 ประเด็น ได้แก่ เจ้าหน้าที่ควรติดตามให้คำแนะนำอย่างสม่ำเสมอ การให้บริการด้านความรู้ในเรื่องการผลิตและการตลาด การให้คำปรึกษา แนะนำ เป็นพี่เลี้ยงในการรวมกลุ่ม/เครือข่ายการผลิตและการตลาด การให้บริการด้านข้อมูลข่าวสารการผลิตและการตลาด และการให้บริการด้านการดำเนินการต่าง ๆ การขึ้นทะเบียนการเพาะปลูก

2) การสนับสนุนปัจจัยการผลิต ต้องการในระดับมากทั้ง 4 ประเด็น ได้แก่ การเข้าถึงแหล่งปัจจัยการผลิตที่ได้คุณภาพและราคาถูก เช่น ปุ๋ย ต้นพันธุ์ดี การเข้าถึงแหล่งตลาดและข้อมูลด้านราคา ประเด็นรองลงมาในระดับปานกลางคือ การเข้าถึงแหล่งสินเชื่อเพื่อการเกษตรดอกเบี้ยต่ำ และการรวมกลุ่มเพื่อการผลิต เช่น การทำการเกษตรแบบแปลงใหญ่

สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาเรื่อง การส่งเสริมการผลิตเงาะให้ได้คุณภาพแก่เกษตรกรจังหวัดสุราษฎร์ธานี แสดงให้เห็นว่าการผลิตเงาะให้ได้คุณภาพนั้นจำเป็นต้องปฏิบัติตามแนวการผลิตเงาะทางการเกษตรที่ต่อเนื่องทุกประเด็น และเกษตรกรต้องการการส่งเสริมการเกษตรทุกรูปแบบ และการให้ติดตามให้คำแนะนำอย่างสม่ำเสมอ ตลอดจนเป็นที่เล็งในการรวมกลุ่มและการสร้างเครือข่ายการผลิตและการตลาดเงาะคุณภาพ

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการส่งเสริมการผลิตเงาะให้ได้คุณภาพแก่เกษตรกรจังหวัดสุราษฎร์ธานี ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 สนับสนุนให้เกษตรกรได้ศึกษาความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการผลิตเงาะตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีอย่าง และปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง และเผยแพร่เทคโนโลยีในการผลิตเงาะเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ของตนเอง และสามารถถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่สมาชิกภายในกลุ่มผู้ผลิตเงาะได้

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพื้นที่การผลิตเงาะ และการดูแลรักษาการป้องกันกำจัดศัตรูพืชเทคโนโลยีต่างๆ ที่เหมาะสมในการผลิตเงาะอย่างครบวงจร เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการวางแผนการส่งเสริมการผลิต

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากเกษตรกรผู้ปลูกเงาะในจังหวัดสุราษฎร์ธานี เจ้าหน้าที่ที่กรมส่งเสริมการเกษตรในพื้นที่ และคำปรึกษาแนะนำ แนวทางวิจัยจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สีสังข์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลสรานู สราญรมย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ในการวิจัยครั้งนี้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา และความรู้และข้อมูลในการวิจัยในเรื่องนี้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2564. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เข้าถึงได้จาก: เว็บไซต์ <https://oaezone.oae.go.th/view/22> (เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2565).
- [2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรที่ 8. 2565. ข่าวที่ 63/2565 วันที่ 28 มิถุนายน 2565. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.oae.go.th/view/1/39289/TH-TH> (เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2565).
- [3] สำนักงานเกษตรจังหวัดสุราษฎร์ธานี. 2565.ประชุมเชิงปฏิบัติการคณะทำงานย่อยเพื่อพัฒนาระบบข้อมูลและโลจิสติกส์ภาคใต้ ครั้งที่ 3/2565 วันที่ 21-22 กรกฎาคม 2565. สำนักส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรที่ 5. กรมส่งเสริมการเกษตร. สงขลา.
- [4] สำนักงานเกษตรจังหวัดสุราษฎร์ธานี. 2565.ระบบทะเบียนเกษตรกร. กรมส่งเสริมการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://farmer.doae.go.th/> (เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2565).
- [5] พัชราภรณ์ เพ็ชรทอง 2552. การยอมรับการปฏิบัติตามระบบการจัดการคุณภาพเกษตรที่ดีที่เหมาะสม สำหรับเงาะขอเกษตรกรอำเภอบ้านนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- [6] นางสาวหทัยกาญจน์ สิทธา, นางสาวสุพินยา จันทร์มี, นางสาวนิภาภรณ์ ชูสีนวน,นายโกมินทร์ วิโรจน์วัฒนกุล,นางสาวสุชาดา โภชาตม,นายสฤษฎ์ ชวัลภูเกื้อ, นายสุรภิตติ ศรีกุล. 2561.การศึกษาศักยภาพการผลิตเงาะโรงเรียนบ้านนาสารในพื้นที่โครงการระบบส่งเสริมเกษตรแบบแปลงใหญ่ อ. บ้านนาสาร จ. สุราษฎร์ธานี. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุราษฎร์ธานี. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7
- [7] วัลลภา สามประดิษฐ์. 2562. การพัฒนาการผลิตมังคุดคุณภาพตามหลักการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีของเกษตรกรในอำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช. วิทยานิพนธ์ปริญญาเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.
- [8] เกศรินทร์ จันทร์แก้ว. 2562. ศักยภาพของเกษตรกรในการผลิตมังคุดคุณภาพในอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช. วิทยานิพนธ์ปริญญาเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.
- [9] สุภารัตน์ ชูชัย. (2562). แนวทางการส่งเสริมการผลิตมังคุดตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีของเกษตรกรในอำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช.วิทยานิพนธ์ปริญญาเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.
- [10] จิรวารณ คงจันทร์. 2562. การส่งเสริมการผลิตมังคุดตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีของเกษตรกรในตำบลกำแพงเขา อำเภอมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช วิทยานิพนธ์ปริญญาเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต.มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

การอบแห้งเมล็ดปาล์มน้ำมันด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน
ที่มีผลต่อลักษณะทางกลของเมล็ดปาล์ม
Effects of oil palm kernels drying by microwave and hot air
on mechanical properties of palm kernels

พุทธิพงศ์ เลขะชัยวรกุล^{1,2} วชร กาลาสี¹ และ ปัญญา แดงวิไลลักษณ์^{1*}
Putipong Lakachaiworakun^{1,2}, Wachara Kalasee¹ and Panya Dangwilailux^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร

¹Department of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, Chumphon

²Department of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok

*Corresponding author: Panya Dangwilailux, e-mail address: panya.da@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การทดลองอบเมล็ดปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ออกแบบเตาอบให้มีขนาด 50 × 100 × 100 ลูกบาศก์ เซนติเมตร ใช้คลื่นไมโครเวฟจากไมโครเวฟ 4 ตัว และความร้อนจาก Heater 1 ชุด โดยการทดลองนี้จะทำการนำเมล็ดปาล์มจากโรงงานปาล์มก่อนเข้าถังอบ Silo แล้วนำไปอบด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ชุด คือ อบเมล็ดปาล์มสายพันธุ์ดูราและเทอเนราแบ่งการทดลองย่อยอีก 3 แบบ ได้แก่ อบด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 เมตร/วินาทีโดยที่เมล็ดปาล์มแต่ละสายพันธุ์มีความชื้นเริ่มต้น 22 เปอร์เซ็นต์ และจะอบแห้งได้ความชื้นสุดท้ายที่ 14 เปอร์เซ็นต์ (ฐานแห้ง) จากการทดลองสรุปผลได้ว่า การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟพลังงาน 4,000 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบน้อยและให้คุณภาพทางกายภาพที่ดีที่สุด เพราะอุณหภูมิยิ่งสูงความชื้นก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว สายพันธุ์ดูราหลังอบอยู่ที่ 18 นาที และสายพันธุ์เทอเนราหลังอบอยู่ที่ 14 นาที เปอร์เซ็นต์ของการกะเทาะเมล็ดปาล์มหลังอบโดยใช้เครื่องกะเทาะเมล็ดปาล์มที่ความเร็วรอบ 625 รอบต่อนาที สายพันธุ์ดูรา มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดในมากที่สุด คือ 120.46 กรัม และสายพันธุ์เทอเนรา มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดใน มากที่สุด คือ 187.23 กรัม มีช่องว่างระหว่างกะลาปาล์มและเมล็ดในปาล์มเฉลี่ยของสายพันธุ์ดูราที่ 1.100 มิลลิเมตร และสายพันธุ์เทอเนราที่ 2.256 มิลลิเมตร จากนั้นทดสอบความต้านทานแรงอัดในการกะเทาะสายพันธุ์ดูรา มีค่าเฉลี่ยแรงกดน้อยที่สุดคือ 632.50 นิวตัน และสายพันธุ์เทอเนรา มีค่าเฉลี่ยแรงกดน้อยที่สุดคือ 193.00 นิวตัน

คำสำคัญ: เมล็ดปาล์ม, คลื่นไมโครเวฟ, การอบแห้ง

Abstract

The experiment of drying palm kernels with microwave and hot air, the drying chamber was designed with a size of 50 × 100 × 100 cubic centimeters. Microwave waves are used from 4 microwave ovens and heat from heater system. In this experiment, palm kernels from palm mills were first put into a silo dryer and then dried in a microwave oven with hot air. The experiment was divided into two sets, namely Dura and Tenera palm seed drying. Three sub-experiments were divided: hot air drying at an air speed of 2.1 m/s with each palm seed cultivar having an initial moisture content of 22 percent and drying to a final moisture content of 14 percent (Dry Basis). This research found that drying with microwave power of 4,000 watts combined with hot air at 100 degrees Celsius took less drying time and gave the best physical quality because the higher the temperature, the more rapidly the moisture content decreased. Drying time for Dura oil palm kernel was 18 minutes and Tenera was 14 minutes. Percentage of palm kernel shelling after drying using a palm kernel sheller with a speed of 625 rpm. The Dura cultivar had the highest mean inner seed weight of 120.46 g and the Tenera cultivar had the highest mean inner seed weight of 187.23 g. The mean gap between palm shell and kernel was 1.100 mm for Dura and 2.256 mm for Tenera. The compressive strength test for the Dura strain had

the lowest mean compressive strength of 632.50 newtons and Tenera strain had the lowest mean compressive strength of 193.00 newtons.

Keywords: Palm kernel, Microwave, Drying

1. บทนำ

ปาล์มน้ำมัน (oil palm) น้ำมันปาล์ม (crude palm oil) เรียกว่า CPO ชื่อวิทยาศาสตร์ *Elaeisguineensis* Jacq ถิ่นกำเนิดในแอฟริกาแพร่กระจายพันธุ์ปลูกอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ที่เส้นรุ้ง 10 องศาเหนือ-ใต้แหล่งผลิตใหญ่ของโลกมาเลเซีย อินโดนีเซีย พื้นที่ปลูกประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของโลกแหล่งปลูกปัจจุบันมาเลเซีย อินโดนีเซีย ไนจีเรีย ไทย โคลัมเบีย อินเดีย และแหล่งปลูกใหม่ของประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น พม่า กัมพูชา เป็นต้นพันธุ์การค้าลูกผสมเทเนอร์รา (ดูรา และพิสิเฟอรา) ลักษณะดูรา (Dura) กะลาหนา 2 - 8 มิลลิเมตร ไม่มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลามิชั้นเปลือกนอกบาง 35-60 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันดิบที่มีอินควมคุมเป็นลักษณะเด่นพิสิเฟอรา (Pisifera) ลักษณะผลไม่มีกะลา มีข้อเสียคือ ข้อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน ทำให้ผลฝ่อลีบ ทะลายเล็ก เนื่องจากผลไม่พัฒนา ผลผลิตต่ำมากหรือไม่มีผลผลิต ทรงต้นมักจะใหญ่ อินควมคุมเป็นลักษณะด้อยเทเนอร์รา (Tenera) ลักษณะผลมีกะลาบาง 0.5-4 มิลลิเมตร มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา มีชั้นเปลือกนอกหนา 60-90 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะเทเนอร์ราเป็นพันทาง (heterozygous) เกิดจากการผสมข้ามระหว่างลักษณะดูรากับพิสิเฟอรา โดยลักษณะพื้นฐานของโครงสร้างของเมล็ดแสดงใน Figure 1 [1]

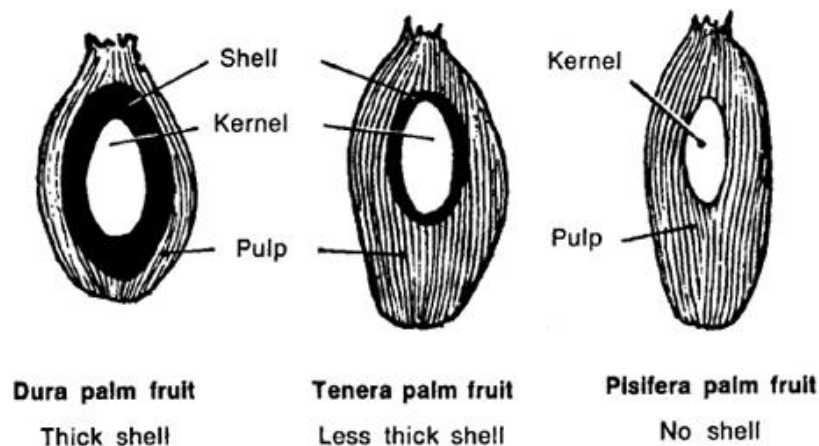


Figure 1 Characteristics of oil palm seeds Dura, Tenera and Pisifera. [2]

สำหรับการทำความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกใช้อย่างแพร่หลายในการอบแห้ง เช่นคลื่นไมโครเวฟโดยในย่านของไดอิเล็กตริก (Dielectric heating) สามารถประยุกต์ใช้ได้กับทุกย่านความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอย่างน้อยที่สุดก็ครอบคลุมแถบสเปกตรัมของอินฟราเรด (Infrared spectrum) โดยระบบความถี่ที่ต่ำกว่าที่ใช้งานได้น้อยคือช่วงความถี่สูง (High Frequency; HF) ซึ่งมีความถี่ในช่วง 3 ถึง 30 เมกกะเฮิร์ตและ ช่วงความถี่สูงมาก (Very High Frequency; VHF) ซึ่งมีความถี่ในช่วง 30 ถึง 300 เมกกะเฮิร์ตช่วงของย่านความถี่ที่ยอมรับในการทำความร้อนของไดอิเล็กตริกคือ 1 ถึง 100 เมกกะเฮิร์ต ในขณะที่ไมโครเวฟใช้ย่าน ความถี่ 300 ถึง 300 เมกกะเฮิร์ต [3] ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นส่วนหนึ่งในการทดลองการอบแห้งของเมล็ดพันธุ์ปาล์มน้ำมัน

ไพฑูรย์ จุลนวล และคณะ [4] ศึกษา เครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียง เพื่อเป็นการนำไม้ปาล์ม น้ำมันซึ่งโดยส่วนใหญ่ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยออกแบบห้องอบให้มีขนาด 50 × 100 × 100 ลูกบาศก์ เซนติเมตร ไมโครเวฟ 4 ตัวในการอบ โดยการทดลองนี้จะตัดไม้ก่อนเข้าอบให้มีขนาด 1 × 2 × 10 ลูกบาศก์นิ้ว แล้วนำไปอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อหาความชื้นเริ่มต้นและอบด้วยเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพาน ลำเลียงโดยแบ่งการทดลองเป็น 2 แบบ คือ ทดลองอบ 20 นาที สลับกับการนำไม้วางพักไว้ 20 นาที และทดลองอบ 20 นาที สลับกับการนำไปตากพัดลม 20 นาที โดยไม้ที่ผ่านการอบต้องมีความชื้นอยู่ระหว่าง 12 - 20 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่าที่ระดับ

พลังงาน 1,200, 1,600 และ 2,000 วัตต์ แบบอบ 20 นาที สลับกับการนำไม้วางพักไว้ 20 นาที ใช้เวลาในการอบ 250, 180 และ 140 นาที ตามลำดับ และแบบอบ 20 นาที สลับกับการนำไปตากพัดลม 8 และ 20 นาที ใช้เวลาในการอบ 220, 170 และ 130 นาที ตามลำดับ โดยที่ระดับพลังงาน 2,000 วัตต์ ทำให้ไม้เสียหาย เกิดการบิดตัว และยุบตัวมาก ที่ระดับพลังงาน 1,600 และ 1,200 วัตต์ ได้ลักษณะไม้ที่เหมือนกันคือมีการบิดตัว และยุบตัวน้อย จากการทดลองสรุปได้ว่าการอบที่พลังงาน 1,600 วัตต์ แบบอบ 20 นาที สลับกับการนำไปตากพัดลม 20 นาที ได้ลักษณะไม้ที่ไม่เสียหาย มีการบิดตัวน้อย การยุบตัว น้อย สามารถนำไปใช้งานได้จริง และเวลาที่ใช้ในการอบน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับระดับพลังงานอื่นๆที่ได้ ลักษณะไม้เหมือนกัน

ศุกดา และคณะ [5] ศึกษาเครื่องกะเทาะเมล็ดปาล์ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องกะเทาะเมล็ดในปาล์มที่ผ่านเตาอบไมโครเวฟเพื่อเพิ่มมูลค่า ให้กับเมล็ดในปาล์มเมื่อผ่านการกะเทาะแล้ว เพื่อที่จะรู้ถึงข้อดีข้อเสียของการใช้ความร้อนที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่เมล็ดในปาล์ม และศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดในปาล์มให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นตัวเครื่องภายในมีลักษณะเป็นโรเตอร์ ภายนอกทั้งสองด้านมีลักษณะเป็นฝาประกบโรเตอร์ซึ่งโรเตอร์จะทำด้วยเหล็กเพลลาและเหล็กแผ่นนำมาประกอบกันเป็นโรเตอร์ฝาทั้งสองด้านทำด้วยเหล็กแผ่นหนา 20 มิลลิเมตร ส่วนในชุดโรเตอร์จะมีเพลลาต้นขนาด 24 มิลลิเมตรเป็นชุดกะเทาะ และมีช่องเปิดปิดไว้ใส่เมล็ดปาล์มทางด้านบนตัวเครื่อง ฐานของตัวเครื่องมีขนาดความกว้าง 545 มิลลิเมตร ความยาว 854 มิลลิเมตร และ ความสูงของเครื่องมีขนาด 800 มิลลิเมตรใช้มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า การทดสอบที่ความเร็วรอบ 700, 800, 900 และ 1,000 รอบต่อนาที ทดสอบที่ 30 กิโลกรัมให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที เวลา 35 วินาที

จากสถานการณ์ปาล์มน้ำมันในภาคใต้ปีที่ผ่านมา ส่งผลให้ ผลผลิตที่จะออกสู่ตลาดในช่วงปลายปี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งจากสถานการณ์ราคาน้ำมันปาล์มดิบในตลาดโลก พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจึงเริ่มมีการเก็งกำไรและรับซื้อผลปาล์มน้ำมันเข้าผลิตเพิ่มขึ้น และจากการใช้มาตรการการซื้อขายผลปาล์มน้ำมัน ตามคุณภาพ คืออัตราการสกัดน้ำมันมากกว่าร้อยละ 17 โดยกำหนดให้เกษตรกรตัดปาล์มสุกไม่แยกถูรวงจะทำให้เกษตรกรได้รับราคาที่สูงขึ้น[6-8] จากภาพการณดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะเพิ่มผลผลิตให้แก่เกษตรกรโดยหาเทคนิคการเพิ่มผลผลิตนี้จึงมีความสนใจในการศึกษาการอบแห้งเมล็ดปาล์มน้ำมันด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่มีผลต่อลักษณะทางกลของเมล็ดปาล์ม เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการเพิ่มผลิตภาพผลผลิตในอนาคตต่อไป

2. วิธีการศึกษา

2.1 เตาอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ

เตาอบแห้งลมร้อนร่วมกับอบไมโครเวฟเป็นห้องสี่เหลี่ยมขนาด 50 × 100 × 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรทำจากสแตนเลสชนิด 316 หนา 1 มิลลิเมตร โดยต้องเจาะช่องสี่เหลี่ยมขนาด 12 × 12 เซนติเมตร ที่ด้านข้าง 2 ช่อง และฝา 2 ช่อง เพื่อติดตั้งเครื่องไมโครเวฟ โดยทางเข้าออกห้องอบมีความสูง 10 เซนติเมตร ประกอบร่วมกับใช้เครื่องไมโครเวฟ SAMSUNG รุ่น MS28H512BK ความถี่ 2,450 เมกะเฮิร์ตซ์ จำนวน 2 เครื่องและรุ่น ME109MSTD ความถี่ 2,450 เมกะเฮิร์ตซ์ จำนวน 2 โดยติดตั้งไมโครเวฟด้านข้าง 2 เครื่อง และด้านบน 2 เครื่อง เพื่อให้คลื่นกระจายได้ทั่วถึง โดยออกแบบ Waveguide เพื่อใช้เป็นท่อนำคลื่นระหว่างเครื่องไมโครเวฟเข้าสู่ห้องอบไมโครเวฟ ชุดเป่าลมร้อน ใช้ Heater ขนาด 5,000 วัตต์ ติดตั้งในท่อขนาด 2.5 นิ้ว ต่อกับโบลเวอร์ MANDA MDYA-80 ปลายท่อเป็นทรงพีรมิตสี่เหลี่ยมทำจากแผ่นสแตนเลสหนา 1 มิลลิเมตร เพื่อให้กระจายความร้อนทั่วเตาอบ ดังแสดงใน Figure 2

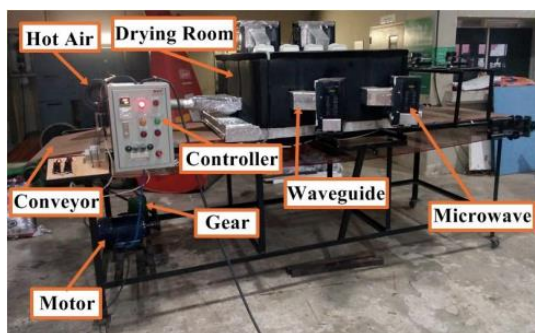


Figure 2 Hot air and Microwave oven.

2.2 กระบวนการทดลอง

1. นำเมล็ดปาล์มก่อนเข้าถัง Silo จากโรงงาน
2. คัดแยกสายพันธุ์เมล็ดปาล์มดูราและเทอเนรา
3. อบเมล็ดปาล์มด้วย Hot Air Oven ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง เพื่อหาความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดปาล์ม
4. ชั่งน้ำหนักเมล็ดปาล์มก่อนการอบ 1,500 กรัม
5. อบเมล็ดปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน
 - 1) อบเมล็ดปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ 400, 1800, 4000 วัตต์ ตามลำดับ ทำการชั่งน้ำหนัก และวัดอุณหภูมิที่ผิวเมล็ดปาล์ม
 - 2) อบเมล็ดปาล์มด้วยลมร้อนความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 90, 95, 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทำการชั่งน้ำหนัก และวัดอุณหภูมิที่ผิวเมล็ดปาล์ม
 - 3) วัดอุณหภูมิที่ผิวเมล็ดปาล์มหลังอบ โดยให้เมล็ดปาล์มมีความชื้นหลังอบอยู่ที่ 14% โดย กล้องเทอร์โมสแกน (FLIR E60) ดัง Figure 3

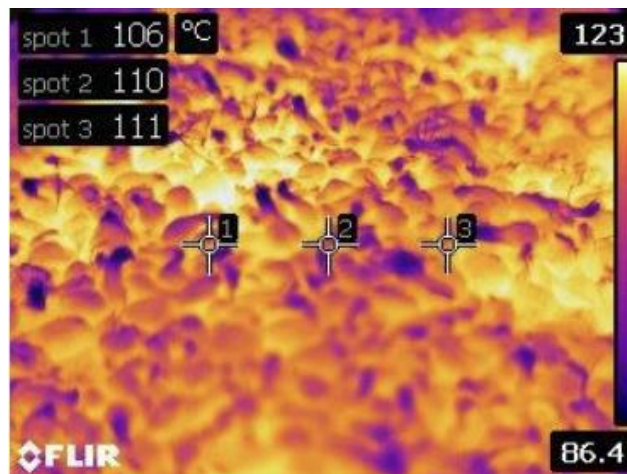


Figure 3 Temperature measurement of palm kernel surface after drying.

- 4) ชั่งน้ำหนักเมล็ดปาล์มหลังอบบันทึกค่าพร้อมหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสมการ [9]

$$\text{Moisture Content d. b. \%} = \frac{\text{Weight before drying} - \text{Weight after drying}}{\text{Weight after drying}} \times 100\%$$

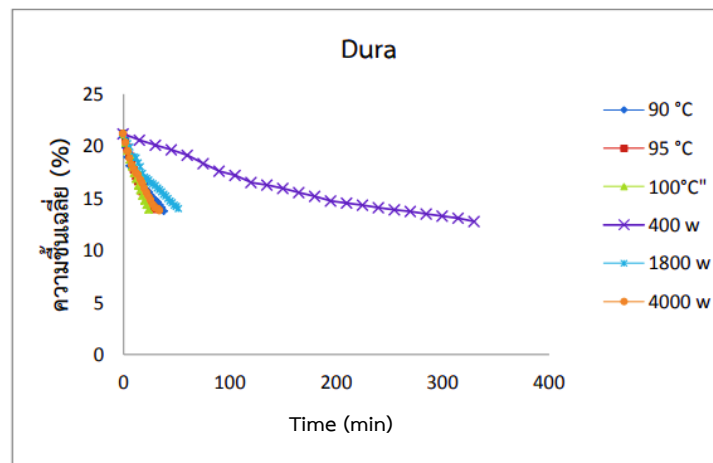
6. กะเทาะเมล็ดปาล์มหลังอบ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการกะเทาะเมล็ดปาล์ม โดยใช้เครื่องกะเทาะเมล็ดปาล์ม ที่ความเร็วรอบสูงสุด 625 รอบต่อนาที และคัดแยกเมล็ดปาล์มหลังการกะเทาะโดยเครื่องกะเทาะเมล็ดปาล์ม ออกเป็น 3 ชุด คือ 1.เมล็ดปาล์มที่ไม่แตก 2.เมล็ดในปาล์ม 3.เศษกะลาเมล็ดปาล์ม
7. นำเมล็ดปาล์มหลังอบทดสอบความต้านทานแรงอัดด้วยเครื่อง Universal testing ดัง Figure 4



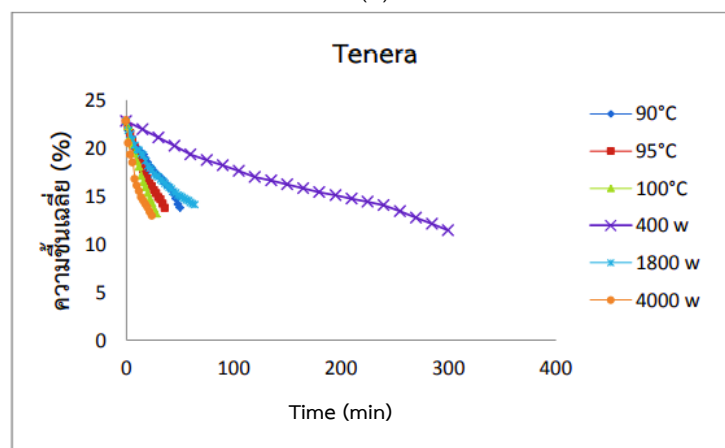
Figure 4 Compressive Strength Test by Universal Testing Machine.

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ผลการทดลองอบเมล็ดปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน



(A)



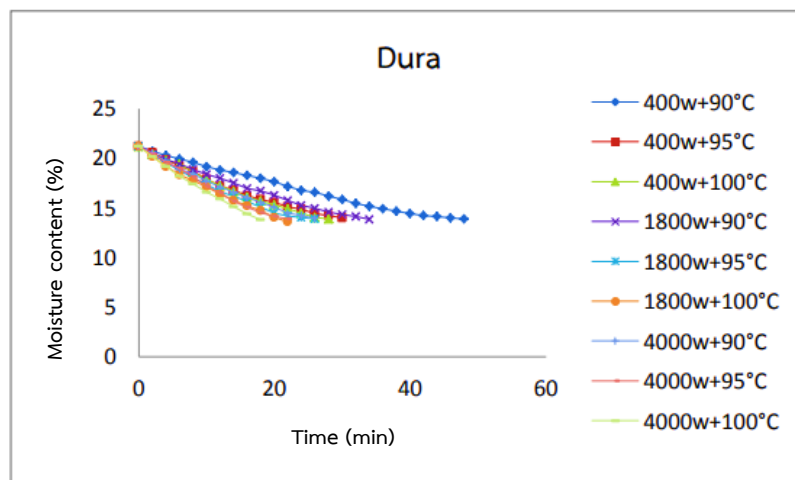
(B)

Figure 5 Chart of the relationship between palm kernel moisture content and drying time by hot air and microwave drying. (A) Dura (B) Tenera

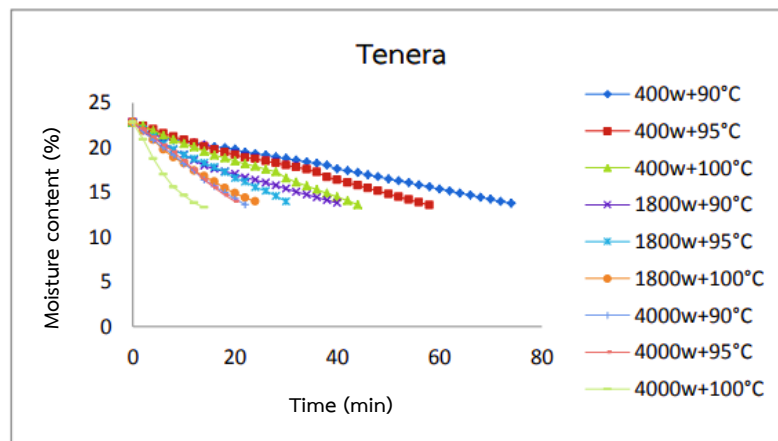
การอบด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มสายพันธุ์ดูราด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน จนได้ความชื้นเฉลี่ยที่ 14 เปอร์เซ็นต์ การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟความถี่ 400, 1,800 และ 4,000 วัตต์ ใช้เวลาในการอบ 195, 42 และ 26 นาทีตามลำดับและการอบด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 90, 95 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ใช้เวลาในการอบที่ 30, 22 และ 20 นาทีตามลำดับ Figure 5 (A)

การอบด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มสายพันธุ์เทอเนราด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน จนได้ความชื้นเฉลี่ยที่ 14 เปอร์เซ็นต์ การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟความถี่ 400, 1,800 และ 4,000 วัตต์ ใช้เวลาในการอบ 210, 50 และ 14 นาที ตามลำดับ และการอบด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 90, 95 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ใช้เวลาในการอบที่ 30, 22 และ 20 นาทีตามลำดับ Figure 5 (B)

3.2 ผลการทดลองอบเมล็ดปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน



(A)



(B)

Figure 6 Chart of the relationship between palm kernel moisture content and drying time by hot air with microwave drying. (A) Dura (B) Tenera

การอบด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มสายพันธุ์ดูราด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน จนได้ความชื้นเฉลี่ยที่ 14 เปอร์เซ็นต์ การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟความถี่ 400 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ,95 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 36, 24 และ 22 นาที ตามลำดับ อบด้วยคลื่นไมโครเวฟความถี่ 1,800 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ,95 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการ

อบ 26 ,20 และ 18 นาทีตามลำดับ อบด้วยคลื่นไมโครเวฟความถี่ 4,000 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 90 ,95 และ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 22 ,18 และ 16 นาทีตามลำดับ Figure 6 (A)

การอบด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มสายพันธุ์เทอเนราด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจนได้ความชื้นเฉลี่ยที่ 14 เปอร์เซ็นต์ การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟความถี่ 400 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 90, 95 และ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 64, 50 และ 22 นาที ตามลำดับ อบด้วยคลื่นไมโครเวฟความถี่ 1,800 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 90, 95 และ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 34, 28 และ 20 นาทีตามลำดับ อบด้วยคลื่นไมโครเวฟความถี่ 4,000 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 90, 95 และ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 18, 18 และ 10 นาทีตามลำดับ Figure 6 (B)

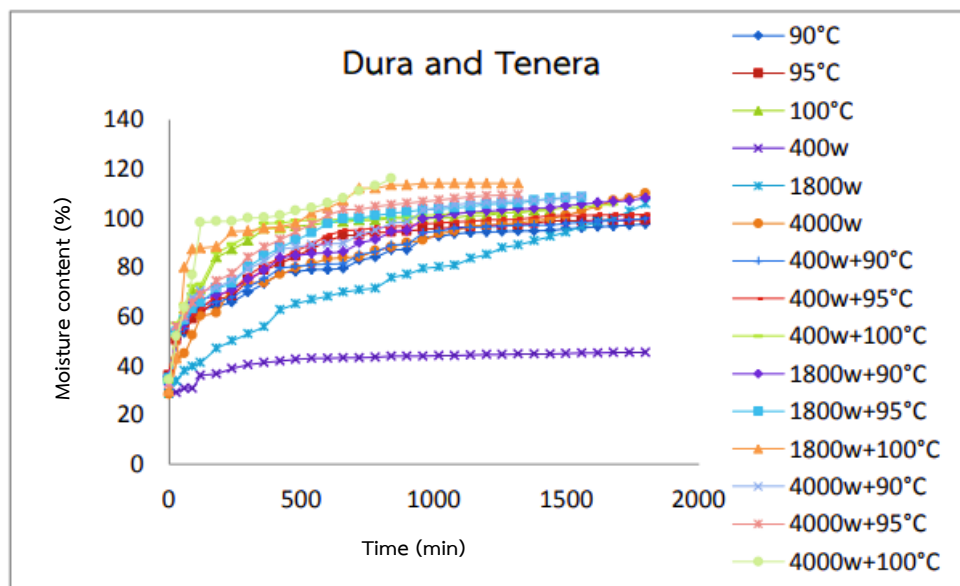


Figure 7 Chart of the relationship between palm kernel surface temperature and drying time. With microwave, hot air and hot air combined with microwave

การอบด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อหาอุณหภูมิเฉลี่ยของเมล็ดปาล์มตั้งแต่เริ่มอบจนถึงหลังอบเสร็จทั้ง 2 สายพันธุ์ดูราและเทอเนรา โดยอบทุกๆ 30 จนถึง 1,800 วินาที ใส่เมล็ดในปาล์มครั้งละ 5 กิโลกรัม โดยแบ่งการทดลองคือ อบเมล็ดปาล์มด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s อุณหภูมิ 90, 95 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อบเมล็ดปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่พลังงาน 400, 1,800 และ 4,000 วัตต์ ตามลำดับ อบเมล็ดปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ที่คลื่นไมโครเวฟพลังงาน 400 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่ 90, 95 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่คลื่นไมโครเวฟพลังงาน 1,800 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่ 90, 95 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่คลื่นไมโครเวฟพลังงาน 4,000 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่ 90, 95 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยของเมล็ดปาล์มที่สูงที่สุดคือคลื่นไมโครเวฟพลังงาน 4,000 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน Figure 7 และเพราะความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว เปอร์เซ็นต์ในการนำไปกะเทาะเมล็ดปาล์มแตกง่ายใช้แรงกดน้อย ดูได้จาก Figure 8 ผลการทดลองกะเทาะเมล็ดปาล์มเฉลี่ยด้วยเครื่องกะเทาะเมล็ดปาล์มหลังอบแห้ง

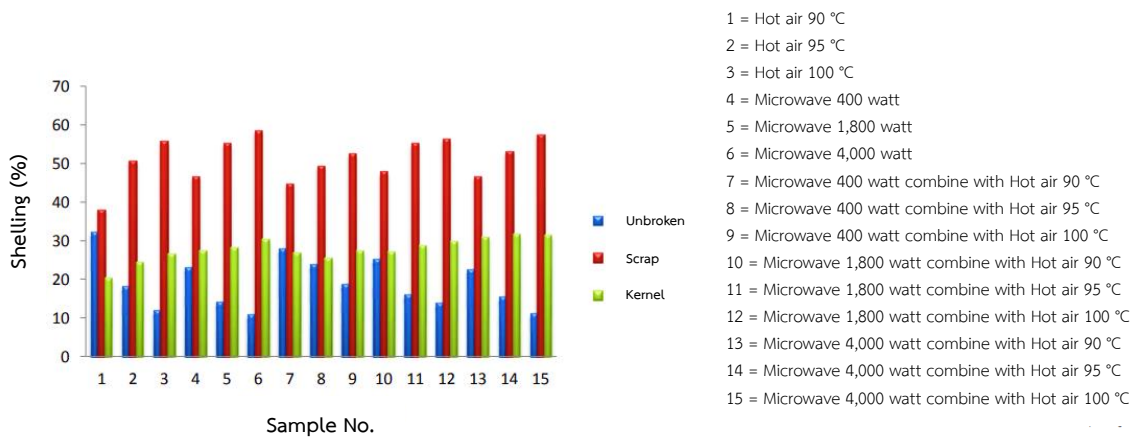
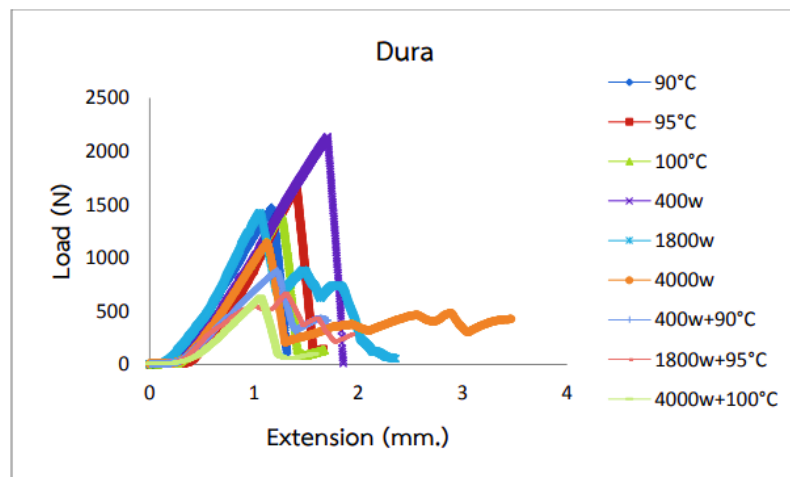
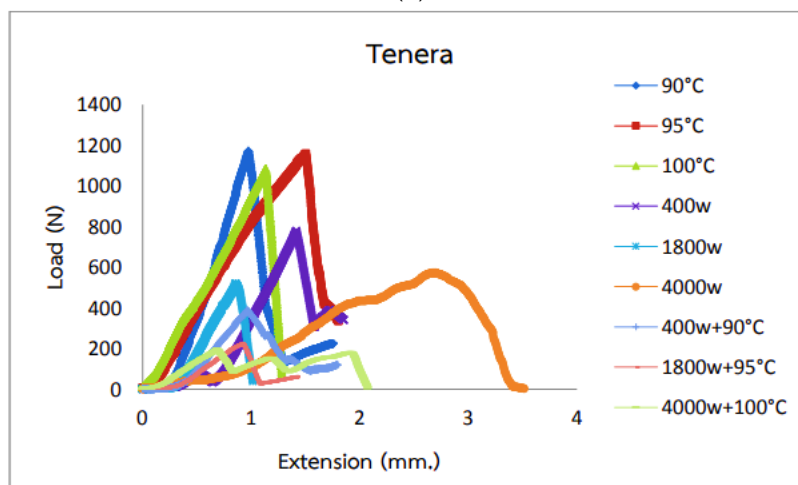


Figure 8 Chart of percentage weight of palm kernel shelling by shelling machine.

3.3 ผลการทดลองความต้านทานแรงอัดแนวขนานเมล็ดในปาล์มหลังอบ



(A)



(B)

Figure 9 Chart of palm kernel parallel compression strength after drying by universal testing.

(A) Dura (B) Tenera

การอบด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มสายพันธุ์ดูราด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน จนได้ความชื้นเฉลี่ยที่ 14 เปอร์เซ็นต์ จะสังเกตได้ว่าผลการทดลองความต้านทานแรงอัดเมล็ดในปาล์มหลังอบที่พลังงานไมโครเวฟ 4,000 วัตต์ ร่วมกับลมร้อน 100 องศาเซลเซียส ใช้แรงอัดน้อยที่สุดที่ 632 นิวตัน เวลา 16 นาที และการอบด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มสายพันธุ์เทอเนราด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจนได้ความชื้นเฉลี่ยที่ 14 เปอร์เซ็นต์ จะสังเกตได้ว่าผลการทดลองความต้านทานแรงอัดเมล็ดในปาล์มหลังอบที่พลังงานไมโครเวฟ 4,000 วัตต์ ร่วมกับลมร้อน 100 องศาเซลเซียสใช้แรงอัดน้อยที่สุด ที่ 193 นิวตัน ที่เวลา 10 นาที ดังแสดงใน Figure 9

4. สรุป

จากการทดลองสรุปผล ค่าความชื้น แรงกด และเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ ได้ว่าการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟพลังงาน 4,000 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบน้อยและดีที่สุด เพราะอุณหภูมิสูงความชื้นก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว สายพันธุ์ดูราหลังอบอยู่ที่ 18 นาที และสายพันธุ์เทอเนราหลังอบอยู่ที่ 14 นาที เปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ดปาล์มหลังอบโดยใช้เครื่องกะเทาะเมล็ดปาล์มที่ความเร็วรอบ 625 รอบต่อนาที สายพันธุ์ดูรามีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดใน มากที่สุด คือ 120.46 กรัม และ สายพันธุ์เทอเนรามีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดใน มากที่สุด คือ 187.23 กรัม มีช่องว่างระหว่างกะลาปาล์มและเมล็ดในปาล์มเฉลี่ยของสายพันธุ์ดูราที่ 1.100 มิลลิเมตร และสายพันธุ์เทอเนราที่ 2.256 มิลลิเมตร จากนั้นทดสอบความต้านทานแรงอัดในการกะเทาะสายพันธุ์ดูรา มีค่าเฉลี่ยแรงกดน้อยที่สุดคือ 632.50 นิวตัน และสายพันธุ์เทอเนรา มีค่าเฉลี่ยแรงกดน้อยที่สุดคือ 193.00 นิวตัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างหน่วยไฟฟ้าที่ใช้กับระยะเวลาการอบแล้ว ใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด เท่ากับ 1.7462 หน่วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้ได้งานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เติลินิวส์ออนไลน์. สถานการณ์ปาล์มน้ำมันที่ภาคใต้. [online]. แหล่งที่เข้าถึง : <http://www.dailynews.co.th/agriculture/324964> [1 มิถุนายน 2554]
- [2] MODERN OIL PALM CULTIVATION. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.fao.org/3/T0309E/T0309E01.htm> (เข้าถึงเมื่อ 30 ธันวาคม 2565).
- [3] กรจินันท์ จันทรภาณุจัน และคณะ. การพัฒนาเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจนและลมร้อน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร. 2555.
- [4] ไพฑูรย์ จุลนวล และคณะ. เครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร. 2554.
- [5] ศุภดา และคณะ. เครื่องกะเทาะเมล็ดปาล์ม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร. 2554
- [6] ศูนย์วิจัยปาล์มสุราษฎร์ธานีออนไลน์. ลักษณะพฤกษศาสตร์ปาล์มน้ำมัน. [online]. แหล่งที่เข้าถึง : <http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/botany.html>
- [7] อนันตเดช แยมหอม และคณะ. ผลการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันทดแทนข้าวโพดบดในอาหารชั้นต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ และนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนของโคพื้นเมืองไทย. ภาควิชาสัตว วิทยาศาสตร์คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2552.
- [8] สุภิญญา ชูใจ และคณะ. ผลของระดับเนื้อในเมล็ดยางพาราและกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันในสูตรอาหาร ชั้นต่อปริมาณการกินได้และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนในแพะที่ได้รับหญ้าชิกแนลแห้งเป็นอาหารหลัก. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2552.
- [9] วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล. เทคโนโลยีอบแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2548

ผลของการอบแห้งแบบพ่นฝอยและสารช่วยอบแห้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ
แตงโมผงEffects of Spray Drying and Drying Aids on Physicochemical Properties and Antioxidant
Activity of Watermelon Powderจिरชาติ พูลศิริ^{1*}, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์¹ และ สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา²Jirachat Poonsiri^{1*}, Somchart Soponronnarit¹ and Sakamon Devahastin²¹สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ²ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ¹ Division of Energy Technology, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok² Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok

*Corresponding author: Jirachat Poonsiri, e-mail address: palm.jirachat@gmail.com

บทคัดย่อ

น้ำแตงโมเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม ผลผลิตส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบพร้อมดื่ม ไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน แตงโมผงจึงเป็นผลิตภัณฑ์อีกรูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเก็บไว้ได้นาน สะดวกในการพกพา และประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการอบแห้งน้ำแตงโมด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (130 150 และ 170 องศาเซลเซียส) ตลอดจนชนิดและปริมาณสารช่วยอบแห้ง ได้แก่ มอลโตเด็คซ์ตริน (ร้อยละ 12 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม) และโซเดียมเคซีเนต (ร้อยละ 0.9 และ 1.5 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม) ที่มีต่อคุณภาพของแตงโมผง การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลให้ค่าร้อยละผลผลิต ค่าความชื้น และค่า a_w ลดลง แต่ทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเพิ่มปริมาณโซเดียมเคซีเนตส่งผลให้ค่าร้อยละผลผลิตและความหนาแน่นรวมของแตงโมผงเพิ่มขึ้น แต่เวลาที่ต้องใช้ในการคั้นรูปลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเพิ่มทั้งอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณโซเดียมเคซีเนตไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการดูดความชื้นกลับและความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ: การอบแห้งแบบพ่นฝอย, น้ำแตงโมผง, มอลโตเด็คซ์ตริน, โซเดียมเคซีเนต, สมบัติทางเคมีกายภาพ

Abstract

Watermelon juice is among the most popular beverages. However, most products are commercially available in the ready-to-drink form, which exhibits short shelf life. Dried powdery form of watermelon juice is therefore of interest due to its longer shelf life, ease of handling and less storage requirement. The present research aimed to study the feasibility of drying watermelon juice using a spray dryer and to study the effects of inlet hot air temperature (130 150 and 170°C) as well as type and amount of drying aids (maltodextrin at 12% w/w and sodium caseinate at 0.9 and 1.5% w/w) on the quality of watermelon powder. Increasing inlet hot air temperature resulted in a lower percentage yield, moisture content and a_w ; antioxidant activity of the product, on the other hand, significantly ($p \leq 0.05$) increased. Increasing the amount of sodium caseinate increased the percentage yield and bulk density but resulted in the decreased solubility time ($p \leq 0.05$). Increasing both inlet hot air temperature and sodium caseinate content did not affect hygroscopicity and solubility of the product.

Keywords: Spray Drying, Watermelon juice powder, Maltodextrin, Sodium caseinate, Physicochemical properties

1. บทนำ

น้ำผักและผลไม้เป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม ผลผลิตส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบพร้อมดื่ม ไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน น้ำผักและผลไม้ชนิดผงจึงเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากสะดวกในการพกพาและประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ ทั้งนี้ ผลไม้ชนิดหนึ่งที่ผู้บริโภคนิยมมาก ได้แก่ แตงโม (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Citrullus lanatus*) ซึ่งอยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae และเป็นพืชล้มลุกไม้เถา มีอายุสั้น เถาเลื้อยแผ่ไปตามพื้นดิน แตงโมชอบแสงแดดจัด และอุณหภูมิค่อนข้างสูง ไม่ชอบที่แฉะ เนื้อแตงโมมีรสหวาน และมีน้ำมาก จึงทำให้ผู้บริโภครู้สึกสดชื่น ดังนั้น การวิจัยเพื่อแปรรูปแตงโมให้เป็นแตงโมผง เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ใช้น้ำสนใจ อย่างไรก็ตาม ต้องคำนึงถึงวิธีการแปรรูปที่เหมาะสม โดยเฉพาะขั้นตอนการอบแห้ง ซึ่งมีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์แตงโมผงที่ได้ ทั้งในแง่ของคุณค่าทางโภชนาการ สี กลิ่น และรส ที่ใกล้เคียงกับน้ำแตงโมสด รวมถึงความสามารถในการเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่สูญเสียคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นในวัสดุ เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ตลอดจนการเกิดปฏิกิริยาเคมีไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ ซึ่งอาจส่งผลเชิงลบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งอาหารซึ่งอยู่ในรูปของของเหลว โดยเมื่ออบแห้งแล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นอนุภาคนาขนาดเล็ก มีน้ำหนักและปริมาตรลดลง และสามารถนำไปคืนรูปกลับเป็นของเหลวได้ดี การอบแห้งแบบพ่นฝอยกระทำโดยการบีบอาหารเหลวผ่านหัวฉีด (atomizer) จนกลายเป็นละอองฝอยขนาดเล็ก จากนั้นระเหยน้ำออกโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิสูง การอบแห้งแบบนี้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสูง ทำให้น้ำระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็ว เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจึงสั้นมาก ทำให้รักษาคุณค่าทางโภชนาการ ตลอดจนสีและกลิ่นรสของอาหารชนิดต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี [1]

ในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยน้ำผลไม้ที่มีปริมาณน้ำตาลสูง เช่น น้ำตาลซูโครส มอลโทส กลูโคส และฟรุคโทส อาหารที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (amorphous system) มักเกิดการเปลี่ยนสถานะ เนื่องจากมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะแก้ว (glass transition temperature, T_g) ค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้เกิดการเกาะตัวกันเองของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนการเกาะตัวที่ผนังห้องอบแห้ง ทำให้ปริมาณผลผลิตต่ำลง [2] เพื่อลดปัญหาดังกล่าว จึงนิยมเติมสารช่วยอบแห้งในผลิตภัณฑ์ก่อนการอบแห้ง เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ T_g [3] โดยมอลโตเด็คซ์ตริน (maltodextrin) และโซเดียมเคซีเนต (sodium caseinate) เป็นสารช่วยอบแห้งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตน้ำผลไม้ผง

Shi, et al. [4] ศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้าต่อสมบัติทางกายภาพของแตงโมผงที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาอุณหภูมิลมร้อน 4 ระดับ ได้แก่ 120, 130, 140 และ 150 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินคงที่ที่ร้อยละ 15.6 พบว่า อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแตงโมผง ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำที่ร้อยละ 96 ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ORAC) เท่ากับ 253 $\mu\text{M/g}$ ขนาดอนุภาค (D_{50}) เท่ากับ $18.21 \pm 0.22 \mu\text{M}$ ความเป็นผลึกของผงแห้งผลิตได้ที่ 130 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่ากรณีการอบแห้งที่ 120 และ 150 องศาเซลเซียส และมีความเสถียรทางความร้อนสูงกว่า แตงโมผงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส มีกลิ่นหอมคล้ายกับน้ำแตงโมสดมากที่สุด อย่างไรก็ตาม แม้จะมีข้อมูลผลกระทบของอุณหภูมิอากาศขาเข้าต่อคุณภาพของแตงโมผง แต่ยังไม่มียังมีข้อมูลผลรวมของอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณสารช่วยอบแห้งต่อคุณภาพของแตงโมผง

จากเหตุดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องต้มแตงโมสำเร็จรูปที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพโดยใช้วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย รวมทั้งศึกษาสภาวะในการอบแห้งที่เหมาะสม และศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพ (ได้แก่ ค่าผลผลิต, ค่าความชื้น, ค่าแอกติวิตีของน้ำ, ค่าความหนาแน่นรวม, ค่าความสามารถในการละลายน้ำ, ค่าความสามารถในการดูดความชื้นกลับ, ค่าสี และฤทธิ์ต้านอนุมูล) ของแตงโมผงที่ผลิตได้ โดยศึกษาการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (130 150 และ 170 องศาเซลเซียส) และการใช้สารช่วยอบแห้ง ได้แก่ มอลโตเด็คซ์ตริน (ร้อยละ 12 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม) และโซเดียมเคซีเนต (ร้อยละ 0.9 และ 1.5 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม)

2. วิธีการศึกษา

2.1 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (GEA Niro A/S, Mobile Minor 2000 Model E, Denmark) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร สูง 62 เซนติเมตร มุมกรวย 60 องศา ให้ความร้อนกับอากาศด้วยเครื่องทำความร้อนชนิดขดลวดความร้อน (electric heater) ขนาด 7.5 กิโลวัตต์ ลักษณะการไหลของอากาศร้อนกับสารป้อน (feed) เป็นไปในทิศทางเดียวกัน (co-current flow) โดยสารป้อนจะถูกป้อนโดยปั๊มป้อนของเหลว (feed pump) ชนิด peristaltic pump (Watson Marlow, Model 505S, England) ไปยังหัวฉีด (atomizer) แบบ two-fluid nozzle เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.0 มิลลิเมตร ผงแห้งจะถูกรวบรวมในขวดแก้วที่ต่อกับไซโคลน (cyclone) พัดลมดูดอากาศ (exhaust fan) มีขนาดมอเตอร์ 0.75 กิโลวัตต์ ทำงานที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2860 รอบต่อนาที

2.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำแตงโม

ปอกเปลือกแตงโมให้เหลือเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อแตงโมสีแดง ปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องเครื่องปั่นอาหาร (Tefal, BL47YB66, Blendforce XL chopper, Thailand) และกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อขจัดอนุภาคขนาดใหญ่ จากนั้นเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแตงโมโดยการระเหยด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุนวน (Buchi, R-215, Flawil, Switzerland) ที่สภาวะความดันสุญญากาศ 60 มิลลิเมตรปรอท (น้ำแตงโมมีจุดเดือดประมาณ 40 องศาเซลเซียส) จนน้ำแตงโมมีปริมาณของแข็งร้อยละ 30 เก็บน้ำแตงโมเข้มข้นไว้ในขวดแก้วที่หุ้มด้วยกระดาษอลูมิเนียมฟอยล์ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันแสงแดดและความร้อนก่อนนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

ในการทดลองใช้น้ำแตงโมเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 30 มาเจือจางด้วยน้ำแตงโมก่อนเพิ่มความเข้มข้น (เพื่อรักษากลิ่นให้คล้ายน้ำแตงโมสดมากที่สุด) ให้ได้ปริมาณของแข็งตามเงื่อนไขการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ จากนั้นนำมาทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก (IKA, C-MAG HS 7, Staufen, Germany) ที่ 800 รอบต่อนาที ใช้แท่งกวนที่มีขนาด 5x25 มิลลิเมตร จากนั้นค่อย ๆ เติมนมโตนด์เด็กซ์ตรินและโซเดียมเคซีเนตตามเงื่อนไขการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ กวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส)

2.3 การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาสภาวะที่สามารถผลิตแตงโมผงได้

งานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานไว้ว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และปริมาณสารช่วยอบแห้ง (มอลโตเด็กซ์ตรินและโซเดียมเคซีเนต) ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแตงโมผง ดังนั้น เพื่อให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแบบพ่นฝอย จึงต้องทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของปัจจัยทั้งสองที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแตงโมผง โดยควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids content) ในสารป้อนก่อนการอบแห้งให้อยู่ระหว่างร้อยละ 30-31.5 ประกอบด้วย ปริมาณของแข็งในน้ำแตงโมร้อยละ 15, 18 และ 21 ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 9, 12 และ 15 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม ปริมาณโซเดียมเคซีเนตร้อยละ 0.3, 0.9 และ 1.5 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม ทดสอบอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ ได้แก่ 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนของเหลว 13.3 มิลลิลิตรต่อนาที ความดันบริเวณหัวฉีด 3 บาร์ ดัง Table 1

จากการทดลอง พบว่า สภาวะที่สามารถผลิตแตงโมผงได้และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค คือ ปริมาณของแข็งในน้ำแตงโมร้อยละ 18 ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 12 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม และปริมาณโซเดียมเคซีเนตร้อยละ 0.9 และ 1.5 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม แสดงดัง Table 1 โดยหากลดปริมาณของแข็งในน้ำแตงโมลงเหลือร้อยละ 15 ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 15 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม ปริมาณโซเดียมเคซีเนตร้อยละ 0.3, 0.9 และ 1.5 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม แตงโมผงที่ได้จะมีสีค่อนข้างอ่อน ไม่น่ารับประทาน หรือหากเพิ่มปริมาณของแข็งในน้ำแตงโมเป็นร้อยละ 21 ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 9 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม ปริมาณโซเดียมเคซีเนตร้อยละ 0.3, 0.9 และ 1.5 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม จะไม่สามารถผลิตแตงโมผงได้ โดยพบปัญหาการเกาะติดกับผนังเครื่องอบแห้งและและภาชนะที่ใช้บรรจุผง ผงที่ได้ส่วนมากจะลักษณะเป็นก้อนน้ำตาลเหนียวคล้ายคาราเมล

Table 1 Inlet air temperature and proportion of drying aid used to produce watermelon powders.

Condition	Inlet temperature (°C)	Feed composition			Total solids content (%)
		Concentrated watermelon juice (% w/w)	Maltodextrin (% w/w)	Sodium caseinate (% w/w)	
A	130±1	18	12	0.9	30.9
B	150±1	18	12	0.9	30.9
C	170±1	18	12	0.9	30.9
D	130±1	18	12	1.5	31.5
E	150±1	18	12	1.5	31.5
F	170±1	18	12	1.5	31.5

2.4 การวิเคราะห์แต่งโมผงที่ได้จากการอบแห้ง

2.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต

คำนวณหาปริมาณผลผลิต (yield) โดยน้ำหนักแห้ง (% dry basis) ตามคำแนะนำของ Chindapan, et al. [5] ดังนี้

$$\text{Yield (\% w/w dry basis)} = \frac{M_c \times (100 - X_w) \times 100}{C_s W_s} \quad (1)$$

เมื่อ M_c คือน้ำหนักของผงแห้ง (kg) X_w คือปริมาณความชื้นของผงแห้ง (% w.b.) W_s คือน้ำหนักของวัตถุดิบ (kg) C_s คือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของวัตถุดิบ (% w/w)

2.4.2 การวิเคราะห์แอกติวิตีของน้ำ

วิเคราะห์ค่าแอกติวิตีของน้ำของแต่งโมผง โดยนำแต่งโมผงใส่ในตลับให้มีปริมาณของแต่งโมผง 3 ใน 4 ของตลับ จากนั้นนำตลับที่มีผงแต่งโมเข้าไปวัดค่าแอกติวิตีของน้ำในเครื่องวัดค่าแอกติวิตีของน้ำ (Novasina, LabMaster, Lachen, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

นำแต่งโมผงมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยตัดแปลงวิธีวิเคราะห์จากวิธีของ AOAC [6] คือ ใช้แต่งโมผงปริมาณประมาณ 3 g ใส่ใน aluminium can ที่ผ่านการอบในตู้อบลมร้อน (Memmert-800, Schwabach, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นใน desiccator จากนั้นชั่งน้ำหนักก่อนอบ นำแต่งโมผงเข้าไปอบในตู้อบแห้งแบบสูญญากาศ (Binder, VD53, Germany) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยอบเป็นเวลาประมาณ 20 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 30-45 นาที ชั่งน้ำหนักหลังอบ คำนวณหาปริมาณความชื้น ดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (\% wet basis)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1 - W} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{ปริมาณความชื้น (\% dry basis)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2 - W} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ W คือน้ำหนักของ aluminium can (g) W_1 คือน้ำหนักของ aluminium can และตัวอย่างก่อนอบ (g) W_2 คือน้ำหนักของ aluminium can และตัวอย่างหลังอบ (g)

2.4.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดความชื้นกลับ

วิเคราะห์ความสามารถในการดูดความชื้นกลับ (hygroscopicity) โดยตัดแปลงจากวิธีของ Schuck, et al. [7] ใช้ผงแต่งโมประมาณ 2 กรัม ใส่ใน aluminium can วางใน desiccator ที่มีสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) อิ่มตัว (ความชื้นสัมพัทธ์ 75.3%) ปิดฝา desiccator ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน สามารถคำนวณหาความสามารถในการดูดความชื้นกลับ (%) ดังนี้

Japan) สำหรับ blank ใช้ น้ำกลั่นแทนสารสกัดตัวอย่าง และใช้กรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 5, 10, 20, 50 และ 100 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร เป็นสารละลายมาตรฐาน

ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) เริ่มจากปีเปตสารสกัดตัวอย่าง ปริมาตร 150 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองเติมสารละลาย FRAP ปริมาตร 2,850 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและบ่มที่อุณหภูมิห้อง ในที่มีเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer (Shimadzu, UV-2101PC, Tokyo, Japan) สำหรับ blank ใช้ น้ำกลั่นแทนสารสกัดตัวอย่าง และใช้ Trolox ความเข้มข้น 20, 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 μM เป็นสารมาตรฐาน รายงานผลในหน่วยของ μmol Trolox ต่อตัวอย่างผง 1 กรัม

ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging ability โดยใช้ 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl radical (DPPH) โดยนำสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 150 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.6 มิลลิ โมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้ เข้ากัน เก็บในที่มีที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโน เมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer (Shimadzu, UV-2101PC, Tokyo, Japan) โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น blank แทน สารสกัดตัวอย่าง และใช้ Trolox ความเข้มข้น 20, 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 μM เป็นสารมาตรฐาน รายงานผลในหน่วย ของ μmol Trolox ต่อตัวอย่างผง 1 กรัม

2.4.10 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) และเปรียบเทียบพหุคูณของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Fisher's LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ผลผลิต ความชื้น และ a_w

เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่แสดงใน Table 2 ผลผลิตของแตงโมผงมีค่าระหว่างร้อยละ 31.31-45.28 ซึ่งสูงกว่า ผลผลิตพันธุ์ผงอื่น ๆ เช่น ผลผลิตมะตูมผงร้อยละ 19.74-32.38 ผลผลิตน้ำหมอนผสมน้ำผึ้งชนิดผงร้อยละ 3.07-26.67 และผลผลิต ส้มจัดผงร้อยละ 21.57-23.81 (ศิริพร [11]; พิไลรัก และ ธนกิจ [12]; และ นพรัตน์ [13]) ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ผงดังกล่าวผลิต โดยใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารช่วยอบแห้ง ซึ่งแตกต่างจากการผลิตแตงโมผงที่มีสารช่วยอบแห้งคือมอลโตเด็คซ์ตรินและโซเดียมเค ซีเนต การเพิ่มโซเดียมเคซีเนตส่งผลให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากโซเดียมเคซีเนตเป็นพอลิเมอร์ที่ สามารถสร้างฟิล์มที่บริเวณผิวของอนุภาค ซึ่งช่วยลดการเกาะตัวระหว่างอนุภาคหรือระหว่างอนุภาคกับผนังห้องอบแห้ง ส่งผลให้ ผลผลิตเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลให้ผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แม้การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าจะช่วยเพิ่มอัตราการระเหย แต่กลับทำให้ผลิตภัณฑ์เกาะติดกับผนังของเครื่องอบแห้งมากขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของอาหารผงที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบมาก ผลิตภัณฑ์อยู่ในสถานะคล้ายยาง (rubbery state) ทั้งนี้ ยิ่งความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิลมร้อนขาออก (หรืออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์) กับ T_g ยิ่งสูงมากเท่าใดก็จะส่งเสริมให้เกิดการ เกาะติดมากขึ้น [14]

ความชื้นเฉลี่ยของแตงโมผงมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 3.65-4.58 (d.b.) ความชื้นของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณโซเดียมเคซีเนตเพิ่มขึ้น ผลการทดลองสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับผลการศึกษาการผลิต แตงโมผงด้วยวิธีอบแห้งแบบเยือกแข็งและการอบแห้งแบบพ่นฝอยของ Oberoi and Sogi [16] และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิริพร [11] ที่พัฒนาผลิตภัณฑ์มะตูมผงสำเร็จรูปด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งพบว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณสารช่วย อบแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความชื้นของมะตูมผงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ค่า a_w จากทุกสภาวะการทดลองอยู่ในช่วง 0.243-0.273 ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์น้ำผักและผลไม้ผงต้องไม่เกิน 0.5 [17] ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ แตงโมผงที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ได้จึงน่าจะเก็บรักษาไว้ได้นาน

Table 2 Inlet and outlet air temperatures as well as yield, moisture contents and water activities of watermelon powders.

Condition	Feed rate (mL/min)	Air Temperature (°C)		Yield (%)	Moisture content (% dry basis)	Water activity
		Inlet	Outlet			
A	13.3	130±1	75.1±0.4 ^c	36.83±4.23 ^{bc}	4.58±0.29 ^a	0.273±0.005 ^a
B	13.3	150±1	85.1±0.5 ^b	34.85±3.59 ^{bc}	4.12±0.13 ^{abc}	0.257±0.001 ^{ab}
C	13.3	170±1	90.5±2.2 ^a	31.31±3.37 ^c	3.65±0.48 ^c	0.238±0.012 ^b
D	13.3	130±1	77.1±1.7 ^c	45.28±2.63 ^a	4.50±0.42 ^{ab}	0.270±0.022 ^{ab}
E	13.3	150±1	83.2±2.2 ^b	40.48±0.63 ^{ab}	3.86±0.46 ^{bc}	0.249±0.027 ^{ab}
F	13.3	170±1	91.6±2.0 ^a	39.36±5.51 ^{ab}	3.72±0.41 ^c	0.243±0.028 ^{ab}

* Values are means ± standard deviations (n ≥ 3). Data with different superscript letters are significantly different (p < 0.05)

3.2 ความสามารถในการดูดความชื้นกลับ ความสามารถในการละลาย และความหนาแน่นรวม

ความสามารถในการดูดความชื้นกลับ ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการละลายในแง่ของเวลาการละลาย และความหนาแน่นรวมของแตงโมผง แสดงไว้ใน Table 3 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณสารช่วยอบแห้งไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการดูดความชื้นกลับของแตงโมผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยค่าความสามารถในการดูดความชื้นกลับของแตงโมผงอยู่ในช่วงร้อยละ 17.94-18.73 อย่างไรก็ตาม ในการเก็บรักษาแตงโมผง ควรใช้วิธีการที่เหมาะสมเพื่อลดการดูดความชื้นและคงคุณภาพของผง

ความสามารถในการละลายจากทุกสภาวะการทดลองอยู่ในช่วงร้อยละ 86-88 ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) สำหรับเวลาที่ใช้ในการละลาย พบว่า สภาวะอบแห้ง A B และ C ให้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้เวลาในการคั้นรูปมากกว่าผลิตภัณฑ์จากสภาวะอบแห้ง D E และ F เนื่องจากมีปริมาณสารโซเดียมเคซีเนตที่สูงกว่า สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นรวม โดยค่าความหนาแน่นรวมที่สูงขึ้นทำให้ผงจมลงและสัมผัสกับน้ำได้มากขึ้น จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เวลาการละลายลดลง อย่างไรก็ตาม การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนไม่มีผลกระทบต่อเวลาในการคั้นรูปของผงแตงโมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ความหนาแน่นรวมของแตงโมผงที่ผลิตที่สภาวะอบแห้ง A B และ C มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.47 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าผงที่ผลิตที่สภาวะอบแห้ง D E และ F ซึ่งมีความหนาแน่นรวมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.56 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณสารโซเดียมเคซีเนตที่แตกต่างกัน การเพิ่มปริมาณโซเดียมเคซีเนตส่งผลให้แตงโมผงมีมวลมากขึ้น เมื่อมีปริมาตรเท่ากัน อนุภาคภาคมีปริมาณน้ำที่จะระเหยลดลง การอบแห้งจึงรวดเร็วขึ้น จึงส่งผลให้ความหนาแน่นรวมมากขึ้น [18]

Table 3 Hygroscopicity, solubility, solubility time and bulk density values of watermelon powders.

Condition	Hygroscopicity (%)	Solubility (%)	Solubility time (s)	Bulk density (g/cm ³)
A	17.94±0.62 ^a	88.88±1.37 ^a	145.00±14.11 ^a	0.475±0.010 ^b
B	18.20±0.41 ^a	87.72±3.30 ^a	154.00±9.54 ^a	0.477±0.019 ^b
C	18.73±0.74 ^a	88.01±2.65 ^a	158.00±9.17 ^a	0.470±0.026 ^b
D	17.97±0.43 ^a	87.53±1.50 ^a	127.67±7.64 ^b	0.559±0.031 ^a
E	18.56±0.57 ^a	88.52±1.62 ^a	125.33±4.62 ^b	0.547±0.028 ^a
F	18.62±0.72 ^a	86.21±3.33 ^a	130.00±2.00 ^b	0.583±0.026 ^a

* Values are means ± standard deviations (n ≥ 3). Data with different superscript letters are significantly different (p < 0.05)

3.3 ค่าสี

สีเป็นสมบัติหรือคุณภาพของอาหารที่สำคัญ เนื่องจากเป็นสิ่งแรกที่ผู้บริโภคสามารถสังเกตเห็นได้ Table 4 รายงานผลค่าสีของแตงโมผง จากการทดลองพบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ของแตงโมผงจากทุกสภาวะการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าความสว่าง (L^*) ที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าสีแดง (a^*) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ เนื่องมาจากในการอบแห้งมีการเติมสารช่วยอบแห้ง คือ มอลโตเด็คซ์ตรินและโซเดียมเคซีเนตในปริมาณที่ต่างกัน ซึ่งเมื่ออบแห้งแล้วจะไปเพิ่มความสว่างให้กับแตงโมผง ค่าเฉดสี (h^*) อยู่ในช่วง 0.92-1.00 แสดงว่าแตงโมผงมีความเป็นสีแดงสูง ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าความเข้มของสี (C^*) อยู่ในช่วง 17.18-20.29 ดังแสดงใน Table 4

Table 4 Color of watermelon powders.

Condition	Color parameter			
	L^*	a^*	h^*	C^*
A	80.65±1.59 ^{ab}	11.81±0.52 ^a	0.92±0.06 ^a	19.80±0.86 ^{ab}
B	80.31±2.88 ^b	11.27±1.45 ^{ab}	0.98±0.04 ^a	20.29±1.51 ^a
C	80.79±0.19 ^{ab}	10.26±0.48 ^{abc}	1.00±0.01 ^a	19.04±0.50 ^{ab}
D	81.79±2.43 ^{ab}	9.89±1.63 ^{bc}	0.98±0.08 ^a	18.08±2.35 ^{ab}
E	83.91±0.41 ^a	9.51±0.19 ^{bc}	0.98±0.03 ^a	17.18±1.25 ^b
F	83.51±1.89 ^{ab}	9.86±1.43 ^c	0.97±0.08 ^a	17.64±0.99 ^{ab}

* Values are means ± standard deviations (n ≥ 3). Data with different superscript letters are significantly different ($p < 0.05$)

3.4 ปริมาณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแตงโมผง

Table 5 รายงานผลปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแตงโมผง จากผลการทดลองพบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแตงโมที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH และ FRAP มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน การเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งและปริมาณโซเดียมเคซีเนตทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแตงโมผงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับผลของ Trirattanapikul and Phoungchandang [19] ซึ่งพบว่าปริมาณฟีนอลิกรวมมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น เนื่องจาก การระเหยน้ำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงทำให้สามารถรักษาสารประกอบฟีนอลิกไว้ได้ดี การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแตงโมผงโดยวิธี FRAP ให้แนวโน้มของผลชัดเจนกว่าวิธีทดสอบแบบ DPPH ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวิธีการทดสอบแบบ FRAP ซึ่งเป็นการทดสอบการปลดปล่อยอิเล็กตรอนอาจจะเหมาะสมกับการหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแตงโมผงมากกว่าวิธีทดสอบแบบ DPPH เนื่องจากผลของสเตอริก (steric effect) โดยโมเลกุลในสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำปฏิกิริยากับ DPPH อยู่ในตำแหน่งที่เข้าทำปฏิกิริยาได้ยาก โดยแตงโมผงที่ผลิตที่สภาวะอบแห้ง F มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดที่ 96.98 ($\mu\text{M/g}$) และ 305.76 ($\mu\text{M/g}$) ตามลำดับ

Table 5 Total phenolics contents antioxidant activity of watermelon powders.

Condition	Total phenolic ($\mu\text{M/g}$)	DPPH ($\mu\text{M/g}$)	FRAP ($\mu\text{M/g}$)
A	64.73±7.99 ^d	52.80±20.00 ^b	168.08±5.73 ^c
B	80.75±2.26 ^{bc}	59.20±24.80 ^b	220.24±10.16 ^d
C	87.42±3.41 ^{abc}	64.60±20.90 ^b	257.08±10.65 ^c
D	76.42±8.48 ^{cd}	63.80±19.00 ^b	226.98±10.32 ^d
E	90.86±9.26 ^{ab}	84.01±3.72 ^{ab}	285.02±3.88 ^b
F	96.98±10.70 ^a	103.94±6.33 ^a	305.76±12.23 ^a

* Values are means ± standard deviations (n ≥ 3). Data with different superscript letters are significantly different ($p < 0.05$)

4. สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของอุณหภูมิร้อนขาเข้า ตลอดจนชนิดและปริมาณสารช่วยอบแห้ง (มอลโตเด็กซ์ตรินและโซเดียมเคซีเนต) ที่มีต่อคุณภาพของแตงโมผง โดยแปรค่าอุณหภูมิที่ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งในน้ำแตงโมร้อยละ 18 ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 12 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม และปริมาณโซเดียมเคซีเนตที่ร้อยละ 0.9 และ 1.5 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม จากผลการทดลอง พบว่า ผลผลิตที่ได้มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 31.31-45.28 ความชื้นร้อยละ 3.65-4.58 (d.b.) เมื่ออุณหภูมิร้อนขาเข้าสูงขึ้น แม้จะช่วยให้ความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่กลับส่งผลให้ผลผลิตที่ได้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การเพิ่มปริมาณโซเดียมเคซีเนตช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตและลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนี้ ยังช่วยให้ค่าความหนาแน่นของผงสูงขึ้นและใช้เวลาในการคั้นรูปลดลง ด้านค่าสี พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมเคซีเนต ค่าความสว่างของผง (L^*) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าสีแดง (a^*) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าเฉดสี (h^*) อยู่ในช่วง 0.92-1.00 และค่าความเข้มสี (C^*) อยู่ในช่วง 17.18-20.29 โดยรวมแล้วสีของแตงโมผงที่ได้จากการอบแห้งคือสีแดงที่ไม่อ่อนซีดจนเกินไป ในแง่ของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิร้อนขาเข้าและปริมาณโซเดียมเคซีเนตทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแตงโมผงด้วยวิธี DPPH และ FRAP เป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่วิธี FRAP ให้ผลที่ชัดเจนกว่า หากพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยรวมโดยใช้ผลผลิตและปริมาณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็นเกณฑ์ สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแตงโมผง คือ อุณหภูมิร้อนขาเข้าที่ 170 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 12 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม และปริมาณโซเดียมเคซีเนตที่ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักน้ำแตงโม ซึ่งจะให้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 39.36 และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดที่ 305.76 ($\mu\text{M/g}$)

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชาติ โสภณภณฤทธิ. 2563. การอบแห้งผลิตภัณฑ์การเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 228-231.
- [2] Sobulska, M. and Zbicinski, I. 2020. Advances in spray drying of sugar-rich products. *Drying Technology*. 15, 671-684, DOI: 10.1080/07373937.2020.1832513.
- [3] สโรบล สโรชวิสิต และ ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี. 2554. ผลของอุณหภูมิการอบแห้งและสารช่วยอบแห้งต่อคุณภาพของน้ำสับปะรดผง โดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. 34, 203-215.
- [4] Shi, Y., Wang, J., Wang, Y., Zhang, H., Ma, Y., Zhao, X. and Zhang, C. 2018. Inlet temperature affects spray drying quality of watermelon powder. *Czech Journal of Food Sciences*. 36, 321-328.
- [5] Chindapan, N., Devahastin, S. and Chiewchan, N. 2010. Effect of electrodialysis pretreatment on physicochemical properties and morphology of spray-dried-fish sauce powder. *Journal of Food Engineering*. 99, 31-39.
- [6] Association of Official Analytical Chemists. 2012. *Official Methods of Analysis*, 19th ed.; AOAC International. Washington, DC.
- [7] Schuck, P., Jeantet, R. and Dolivet, A. 2012. *Analytical Methods for Food and Dairy Powders*. Wiley-Blackwell. Chichester.
- [8] Shittu, T.A. and Lawal, M.O. 2007. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. *Food Chemistry*. 100, 91-98.
- [9] Caliskan, G. and Dirim, S.N. 2016. The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. *Powder Technology*. 287, 308-314.
- [10] Jinapong, N., Suphantharika, M. and Jamnong, P. 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*. 84, 194-205.
- [11] ศิริพร สอนสมบูรณ์สุข. 2561 การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมผงสำเร็จรูปด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- [12] พิไลรัก อินธิปัญญา และ ธนกิจ ถาหมี. 2557. ผลของกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของน้ำหมอนผสมน้ำผึ้ง ชนิดผง. *วารสารวิชาการเกษตร*. 34, 139-153.
- [13] นพรัตน์ หรรษะพันธุ์. 2564. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ส้มจี๊ดผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี, จันทบุรี.
- [14] Bhandari, B. R., Datta, N., and Howes, T. 1997. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology*. 15, 2, 671-684.
- [15] Quek, S.Y., Chok, N.K. and Swedlund, P. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing*. 46, 386-392.
- [16] Oberio, D.S. and Sogi, D.S., 2015. Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *Journal of Food Engineering*. 165, 172-178.
- [17] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2548. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.). เข้าถึงได้จาก: <http://www.agriman.doae.go.th/home/Research/Herb57/5.pdf> (เข้าถึงเมื่อ 15 มีนาคม 2566)
- [18] Abadio, F.D.B., Domingues, A.M., Borges, S.V. and Oliveira, V.M. 2004. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice - effect of maltodextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*. 64, 285-287.
- [19] Trirattanapikul, W. and Phoungchandang, S. 2016. Influence of different drying methods on drying characteristics, carotenoids, chemical and physical properties of gac fruit pulp (*Momordica cochinchinensis* L.). *International Journal of Food Engineering*. 12, 4, 395-409.

การออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานแบบเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการค้นหา
แบบตาบู่เชิงปรับตัวสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส

The Optimal Design of Shunt Active Power Filter Using Adaptive
Tabu Search for Single-Phase Power Systems

สุทธิณี ว้าวสูงเนิน ทศพร ณรงค์ฤทธิ์* กองพล อารีรักษ์ และ อาทิตย์ ศรีแก้ว

Sutthinee Waosungnern, Tosaporn Narongrit*, Kongpol Areerak and Arthit Srikaew

*กลุ่มวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง พลังงาน เครื่องจักรกล และการควบคุม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

*PEMC Research Group, Electrical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima

*Corresponding author: Tosaporn Narongrit, e-mail address: tosaporn@sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานอย่างเหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว (วิธี ATS) การใช้งานวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานเป็นวิธีที่ดีในการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส อย่างไรก็ตาม ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานนั้นสำคัญและจำเป็นต้องออกแบบเพื่อให้วงจรมีสมรรถนะการกำจัดฮาร์มอนิกที่ดีที่สุด ในบทความนี้จึงเสนอการออกแบบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานโดยใช้อัลกอริทึมการค้นหาทางปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) ที่เรียกว่าการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว โดยวัตถุประสงค์ของการออกแบบคือค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (%THD) ที่น้อยที่สุดของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการชดเชยด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน สำหรับการทดสอบสมรรถนะวงจรจะทำการจำลองสถานการณ์ระบบกำลังฮาร์มอนิกที่พิจารณาด้วยโปรแกรม Simulink/MATLAB ซึ่งผลการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวสามารถลดกระแสชดเชยเพื่อกำจัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟสได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพบว่าค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการชดเชยมีค่าน้อยเท่ากับ 0.43% ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE Std. 519-2014 นอกจากนี้ยังพบว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ออกแบบด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวให้ค่า %THD ที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรที่ใช้การออกแบบด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมดังนั้นจึงยืนยันได้ว่าวิธีการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวสามารถให้ประสิทธิภาพที่ดีในการออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

คำสำคัญ: การออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟ, วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน, วิธีค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว, การกำจัดฮาร์มอนิก, ตัวควบคุมฮิสเทอรีซิส

Abstract

This paper presents the optimal design of shunt active power filter using an Adaptive Tabu Search (ATS method). The shunt active power filter is well to eliminate current harmonic in single-phase power systems. However, the parameter values of the shunt active power filter are important and need to design for providing a high performance of harmonic elimination. A search algorithm in artificial intelligence called adaptive tabu search is applied to design the appropriate parameters of the shunt active power filter for this paper. The design objective is the minimum value of the total harmonic distortion percentage (%THD) of the source current after compensation by the shunt active power filter. For performance testing, the Simulink/MATLAB program is used to simulate the considered harmonic elimination system. The simulation results show that the shunt active power filter designed by the adaptive tabu search method can effectively inject the compensating current to eliminate harmonic in the single-phase power system. The %THD of the source current after compensation is a small value equal to 0.43% which satisfied under the IEEE std. 519-2014. Moreover, the shunt active power filter designed by the adaptive tabu search method can provide less %THD value than the conventional design method. It is confirmed that the ATS method can effectively design shunt active power filter.

Keywords: active power filter design, shunt active power filter, adaptive tabu search, harmonic elimination, hysteresis controller

1. บทนำ

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรม สถานประกอบการ และที่พักอาศัยผู้ใช้ไฟในระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟสได้มีการใช้งานโหลดที่ทำงานไม่เป็นเชิงเส้นจำนวนมาก ยกตัวอย่างเช่น วงจรอิเล็กทรอนิกส์ หม้อแปลงไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น นอกจากนี้ปัจจุบันยังนิยมใช้งานโซล่าเซลล์เพื่อลดการใช้ไฟจากการไฟฟ้า ซึ่งการใช้งานโหลดประเภทดังกล่าวจะทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า [1], [2] ฮาร์มอนิกส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายประการ เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้ามีอายุการใช้งานสั้นลง อุปกรณ์ป้องกันทำงานผิดพลาด เกิดกำลังสูญเสียที่หม้อแปลง และเครื่องจักรกล เป็นต้น [1], [3] จากผลกระทบดังกล่าวจึงมีความจำเป็นต้องกำจัดฮาร์มอนิกให้หมดหรือลดลง โดยบทความนี้ได้เลือกใช้วิธีกำจัดกระแสฮาร์มอนิกด้วยวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (Shunt Active Power Filter: SAPF) ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพที่ดี มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้า และไม่ทำให้เกิดสถานะเรโซแนนซ์ [4]

วงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสำหรับกำจัดฮาร์มอนิกในระบบที่พิจารณาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนการตรวจจับฮาร์มอนิก ทำหน้าที่คำนวณหาค่ากระแสอ้างอิงบทความนี้ใช้เป็นวิธีฟูริเยร์เอลดี (Synchronous Detection with Fourier analysis: SDF) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีรูปแบบการคำนวณที่ง่าย [5] ส่วนของระบบควบคุมกระแสชดเชย ทำหน้าที่ควบคุมกระแสชดเชยให้คล้อยตามกระแสอ้างอิง บทความนี้เลือกใช้ตัวควบคุมฮิสเตอร์ซิส (Hysteresis Controller) เนื่องจากเป็นตัวควบคุมที่ให้สมรรถนะการควบคุมที่ดีมีการทำงานและการออกแบบที่ไม่ซับซ้อน [6] และส่วนสุดท้ายคือ วงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน โดยบทความนี้จะนำเสนอการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจร ได้แก่ ค่าตัวเหนี่ยวนำ (L_f) และค่าแรงดันบัสไฟตรง (V_{DC}) และรวมถึงการออกแบบค่าแถบฮิสเตอร์ซิส (Hysteresis band: HB) สำหรับตัวควบคุมฮิสเตอร์ซิสโดยวิธีค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว (Adaptive Tabu Search: ATS) [7], [8] ซึ่งเป็นวิธีค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดวิธีหนึ่งทางปัญญาประดิษฐ์ (AI searching algorithm) และเพื่อยืนยันผลการออกแบบของวิธีค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวจึงนำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนานแบบดั้งเดิมด้วยเช่นกัน [9], [10]

สำหรับการนำเสนอของบทความนี้จะประกอบไปด้วย ในหัวข้อที่ 2 จะนำเสนอการออกแบบวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนานด้วยวิธีการดั้งเดิม หัวข้อที่ 3 จะนำเสนอการออกแบบวงจรด้วยวิธีค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว หัวข้อที่ 4 จะนำเสนอผลการจำลองสถานการณ์และการอภิปรายผล และในหัวข้อสุดท้ายจะนำเสนอการสรุปผลของบทความ

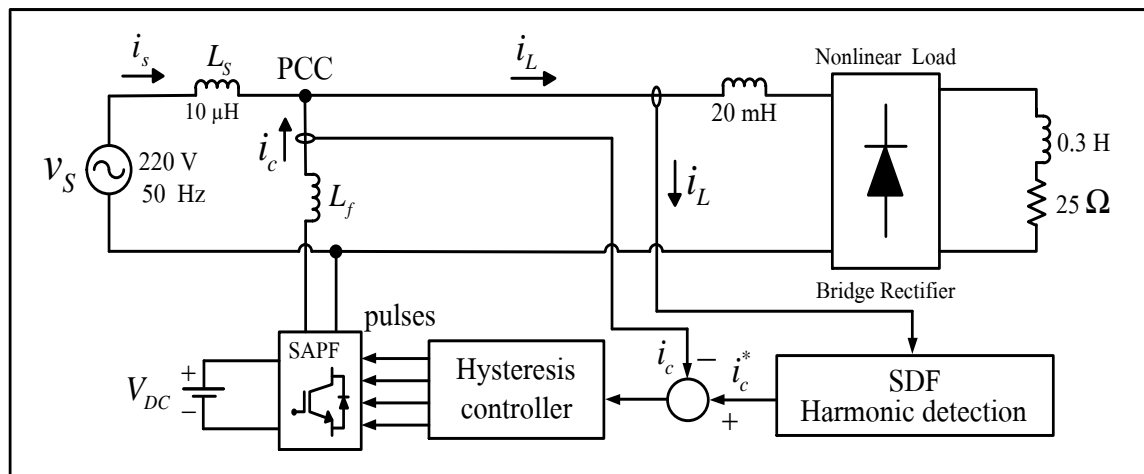


Figure 1 The harmonic elimination using the SAPF in single-phase power system

2. การออกแบบวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานด้วยวิธีการดั้งเดิม

2.1 การออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำ

การออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำ (L_f) ของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานจะใช้วิธีการของ D. M. E. Ingram และ S. D. Round [9], [10] โดยรายละเอียดขั้นตอนการออกแบบมีดังนี้

ขั้นที่ 1 คำนวณหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสอ้างอิงสูงสุดเทียบกับเวลา ($\max(di_c^* / dt)$) สามารถประมาณได้จากค่าความชันสูงสุดของรูปสัญญาณกระแสอ้างอิง (i_c^*) ที่แสดงในรูปที่ 2 โดยกระแสอ้างอิงได้จากการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี SDF [5] ดังสมการที่ (1)

$$\max\left(\frac{di_c^*}{dt}\right) \approx \max\left(\frac{\Delta i_c^*}{\Delta t}\right) \quad (1)$$

โดยเมื่อพิจารณารูปสัญญาณของกระแสอ้างอิงในรูปที่ 2 สามารถคำนวณค่าความชันได้เท่ากับ 4146.83 A/s ดังนี้

$$\max\left(\frac{di_c^*}{dt}\right) \approx \max\left(\frac{\Delta i_c^*}{\Delta t}\right) = \frac{0.6481 - (-7.4797)}{0.34240 - 0.34044} = 4146.83 \text{ A/s}$$

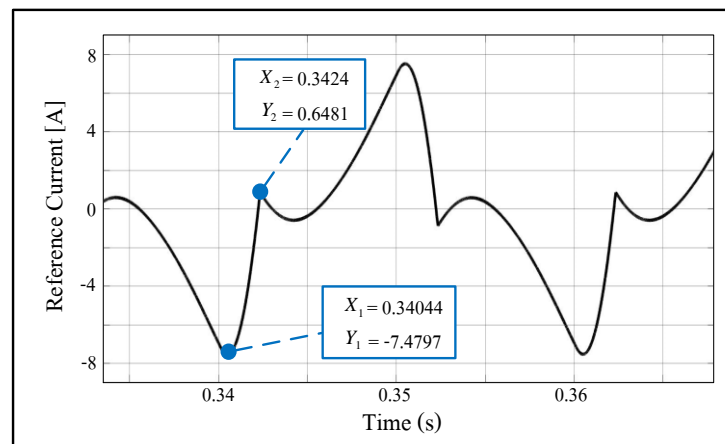


Figure 2 The reference current signal of SAPF

ขั้นที่ 2 คำนวณค่าตัวเหนี่ยวนำสูงสุด ($L_{f,max}$) ได้จากสมการที่ (2)

$$L_{f,max} = \frac{V_{DC} - V_{PCC}}{\max\left(\frac{di_c^*}{dt}\right)} \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) ค่ายอดของแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (Point of Common Coupling: PCC) (V_{PCC}) ของระบบที่พิจารณามีค่าเท่ากับ $\sqrt{2}(220)$ V และค่า V_{DC} ควรออกแบบให้มีค่ามากกว่าค่ายอดของแรงดันไฟฟ้าที่จุด PCC [9] บทความนี้ได้จึงออกแบบให้ค่า V_{DC} มีค่าเท่ากับ 400 V ดังนั้นการคำนวณค่า $L_{f,max}$ มีค่าเท่ากับ 21.43 mH

$$L_{f,max} = \frac{400 - (\sqrt{2} \times 220)}{4146.83} = 21.43 \text{ mH}$$

ขั้นที่ 3 การเลือกใช้ค่า L_f ที่มีขนาดไม่เกิน $L_{f,max}$ จะเลือกใช้จากวิธีการทดสอบปรับค่า L_f ขนาดต่างๆ เพื่อเลือกค่า L_f ที่เหมาะสมสำหรับกำจัดฮาร์มอนิก โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (%THD) ของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการชดเชยเป็นตัวชี้วัด ซึ่งผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 ดังนั้นบทความนี้จึงเลือกใช้ค่า L_f ที่ส่งผลให้ค่า %THD มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเท่ากับ 20 mH

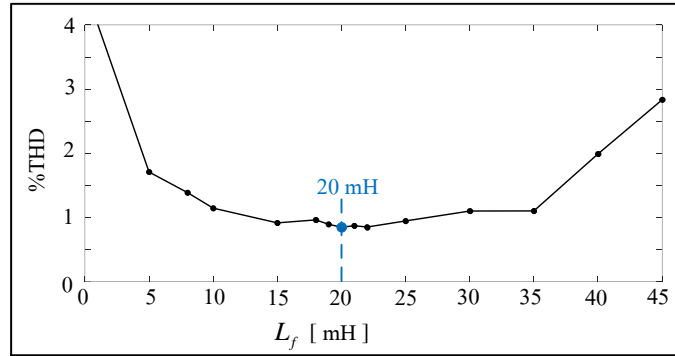


Figure 3 The design of the filter inductor (L_f)

2.2 การออกแบบตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิส

การออกแบบตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิสสำหรับควบคุมกระแสชดเชยของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนาน เนื่องจากตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิสมีสมรรถนะการควบคุมที่ดี มีหลักทำงานที่ไม่ซับซ้อน โดยสามารถแสดงแผนภาพบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมได้ดังรูปที่ 4 จะเห็นว่าตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิสจะรับค่าผลต่างระหว่างกระแสอ้างอิง (i_c^*) กับกระแสชดเชย (i_c) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าแถบฮีสเตอร์ซิส (Hysteresis band: **HB**) โดยที่รูปสัญญาณของกระแสชดเชยจะมีลักษณะแกว่งภายในขอบเขตของค่า **HB** ทำให้สามารถสร้างสัญญาณพัลส์สำหรับควบคุมการสวิตช์ไอจีบีที (IGBT) ของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนาน หลักการทำงานของ ตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิสสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5 โดยค่า **HB** สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 [6]

$$HB = \frac{V_{DC} - V_{PCC}}{2L_f f_{sw}} \quad (3)$$

โดยที่ f_{sw} คือ ค่าความถี่ในการสวิตช์สูงสุดกำหนดเท่ากับ 30 kHz (ซึ่งเป็นค่าความถี่สวิตช์สูงสุดของโมดูลไอจีบีที SK45GH063)

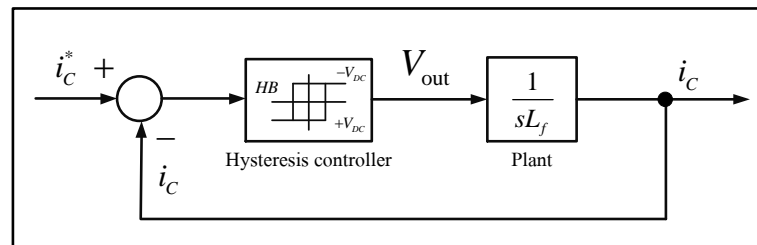


Figure 4 The block diagram for the compensating current control using Hysteresis controller

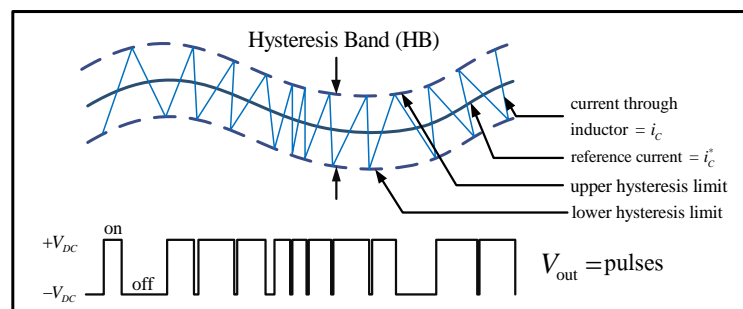


Figure 5 The principle of current control via Hysteresis controller

จากสมการที่ (3) สามารถคำนวณกรณีแรงดันไฟฟ้าที่จุด PCC น้อยที่สุด ($V_{PCC} = -\sqrt{2}(220) \text{ V}$) จะได้ขนาดแถบฮีสเตอร์ซีสมากที่สุด (HB_{\max}) เท่ากับ 0.592 A และในกรณีแรงดันไฟฟ้าที่จุด PCC สูงที่สุด ($V_{PCC} = \sqrt{2}(220) \text{ V}$) จะได้ขนาดแถบฮีสเตอร์ซีน้อยที่สุด (HB_{\min}) เท่ากับ 0.074 A ดังนั้นบทความนี้จึงเลือกใช้ค่า HB ให้อยู่ในขอบเขตของช่วง HB_{\min} ถึง HB_{\max} เท่ากับ 0.1 A ทั้งนี้เพื่อให้ขนาดการกระเพื่อมของกระแสชดเชยสูงจนเกินไป

ผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน และค่า HB ของตัวควบคุมกระแสฮีสเตอร์ซีสด้วยวิธีแบบดั้งเดิมสามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 1

3. การออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานด้วยวิธีค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว

วิธีค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวหรือวิธี ATS เป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีค้นหาแบบตาบู่ (Tabu Search: TS) โดยมีการเพิ่มกลไกการปรับลดรัศมี (adaptive radius) และกลไกการเดินย้อนรอย (black tacking) สามารถแสดงแผนภาพการค้นหาได้ดังรูปที่ 6 จากการพัฒนาดังกล่าวทำให้วิธี ATS มีผลการค้นหาที่ดีที่สุดแบบวงกว้าง และมีคุณสมบัติการลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมที่สุดในเวลาค้นหาที่จำกัด [7], [8] จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับนำมาช่วยในการค้นหาพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (ค่า L_f และค่า V_{DC}) และค่า HB ของควบคุมฮีสเตอร์ซีสที่เหมาะสมได้ดังแสดงแผนภาพในรูปที่ 7 ซึ่งค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา (objective function) คือ ค่า W แสดงดังสมการที่ (4) โดยค่า W ดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์กับค่า %THD ในลักษณะแปรผกผันตรง ($\%THD \propto W$) ดังนั้นค่า W ที่เหมาะสมคือค่าที่น้อยที่สุด

$$W = \frac{\sum error^2}{N} \quad (4)$$

โดยที่ $error$ คือ ค่าผลต่างของกระแสอ้างอิงกับกระแสชดเชย

N คือ จำนวนจุดข้อมูลทั้งหมด

สามารถอธิบายขั้นตอนการค้นหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ค่า W ด้วยวิธี ATS สำหรับออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจำนวนรอบการค้นหาสูงสุด ($count_{\max}$) เท่ากับ 500 รอบ และกำหนดค่าขอบเขตพารามิเตอร์ให้เป็นจำนวนรอบของการค้นหาได้แก่ค่า V_{DC} เท่ากับ 300 - 500 V, ค่า L_f เท่ากับ 0 - 80 mH และค่า HB เท่ากับ 0 - 1 A

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดการสุ่มค่าตอบเริ่มต้นจำนวน 30 คำตอบ แล้วเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด (S_{best}) ให้เป็นค่าเริ่มต้น (S_0)

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดสุ่มค่าตอบรอบข้างของ S_0 ภายในรัศมีการค้นหาจำนวน 50 คำตอบ โดยกำหนดค่ารัศมี (radius: r) เริ่มต้นสำหรับการค้นหาเท่ากับ 20 เก็บไว้ในเซต $S_1(r)$

ขั้นตอนที่ 4 ทำการประเมินค่าที่เหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ในเซต $S_1(r)$ แล้วหาค่าที่ดีที่สุด (S_1)

ขั้นตอนที่ 5 ถ้า S_1 ดีกว่า S_0 กำหนดให้ $S_0 = S_1$

ขั้นตอนที่ 6 กำหนดให้ $S_{\text{best}} = S_0$

ขั้นตอนที่ 7 ถ้า $count \geq count_{\max}$ ให้หยุดการค้นหา แต่ถ้าไม่ใช่ให้ดำเนินการขั้นตอนที่ 3 อีกครั้ง โดยกำหนดเงื่อนไขการเดินย้อนรอย คือ ถ้าระบบการค้นหาไม่สามารถหลุดออกจากคำตอบแบบท้องถิ่น (local solution) ได้เป็นจำนวน 100 รอบ การค้นหากำหนดให้มีการเดินย้อนรอยเกิดขึ้นและกำหนดให้ค่าตัวประกอบปรับลดรัศมีมีค่าเท่ากับ 1.5

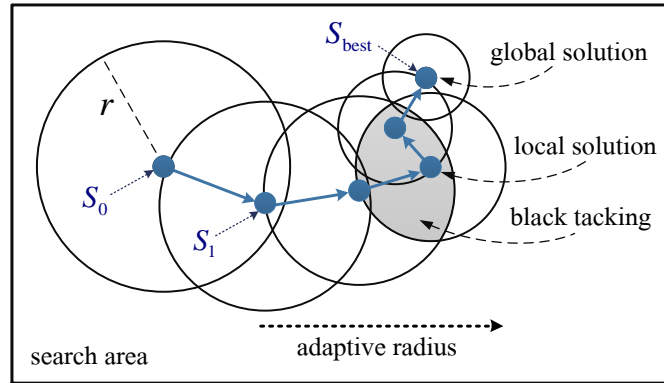


Figure 6 The mechanism of Adaptive Tabu Search (ATS)

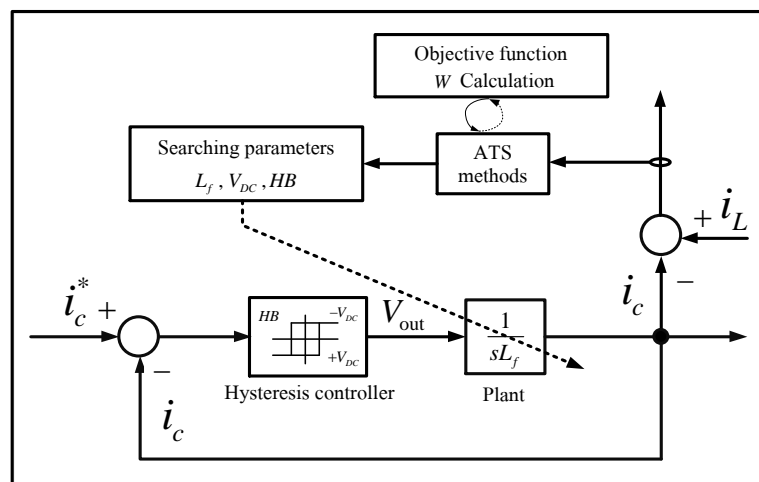


Figure 7 The SAPF design using ATS method

โดยผลการหาค่าตอบของค่า W ที่ค่าน้อยสุดเท่ากับ 0.0556 ในรอบการค้นหาที่ 150 สามารถแสดงดังรูปที่ 8 ให้ผลการค้นหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน คือ ค่า L_f เท่ากับ 20.8 mH และค่า V_{DC} เท่ากับ 449 V และค่า HB ของตัวควบคุมกระแสฮีสเทอรีซิสเท่ากับ 0.1743 A ซึ่งสามารถดูสรุปผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธี ATS ได้ในตารางที่ 1

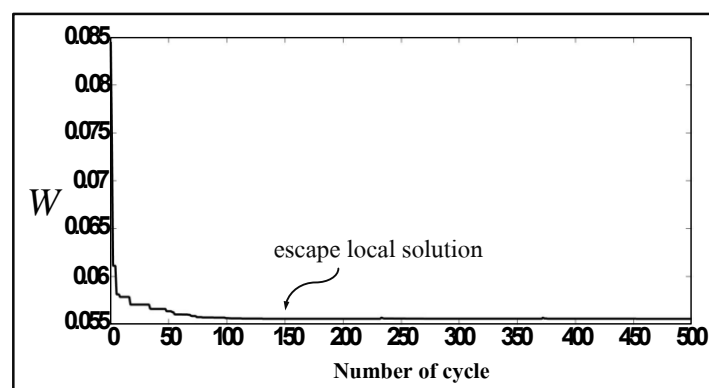


Figure 8 The convergence of W value

Table 1 The parameter results for SAPF design

Parameters	Design methods	
	Conventional method	ATS method
L_f (H)	0.02	0.0208
V_{DC} (V)	400	449
HB (A)	0.1	0.1743

4. ผลการจำลองสถานการณ์และการอภิปรายผล

การจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟสในรูปที่ 1 เพื่อทดสอบสมรรถนะการทำงานของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ออกแบบด้วยวิธี ATS สามารถแสดงผลการจำลองสถานการณ์ได้ดังรูปที่ 9 จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการชดเชยตั้งแต่เวลา 0 ถึง 0.1 s ลักษณะของสัญญาณกระแสที่แหล่งจ่าย (i_s) มีความผิดเพี้ยนไม่เป็นรูปไซน์เหมือนกับกระแสโหลด (i_L) เมื่อคำนวณค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายพบว่ามีความสูงเท่ากับ 26.88% จากนั้นเมื่อวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานร่วมกับตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิสที่ออกแบบด้วยวิธี ATS ทำการฉีดกระแสชดเชย (i_c) เข้าสู่ระบบไฟฟ้าพบว่ากระแสชดเชยดังกล่าวมีลักษณะคล้ายตามกระแสอ้างอิง (i_c^*) ที่ได้จากวิธี SDF ได้เป็นอย่างดีตั้งแต่เวลา 0.1 s เป็นต้นไป จากผลดังกล่าวทำให้กระแสที่แหล่งจ่ายมีลักษณะสัญญาณกลับมาเป็นรูปไซน์ และเมื่อคำนวณค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการชดเชยพบว่ามีความลดลงเหลือเท่ากับ 0.43%

ส่วนผลการจำลองสถานการณ์กรณีที่วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานออกแบบด้วยวิธีแบบดั้งเดิมสามารถแสดงผลการจำลองสถานการณ์ได้ดังรูปที่ 10 ซึ่งพบว่าค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการชดเชยมีค่าเท่ากับ 26.88% และเมื่อวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานร่วมกับตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิสที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีดั้งเดิมทำการฉีดกระแสชดเชย (ตั้งแต่เวลา 0.1 s เป็นต้นไป) พบว่าค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการชดเชยมีค่าลดลงเหลือเท่ากับ 0.86% โดยสามารถแสดงสรุปผลค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายได้ดังตารางที่ 2

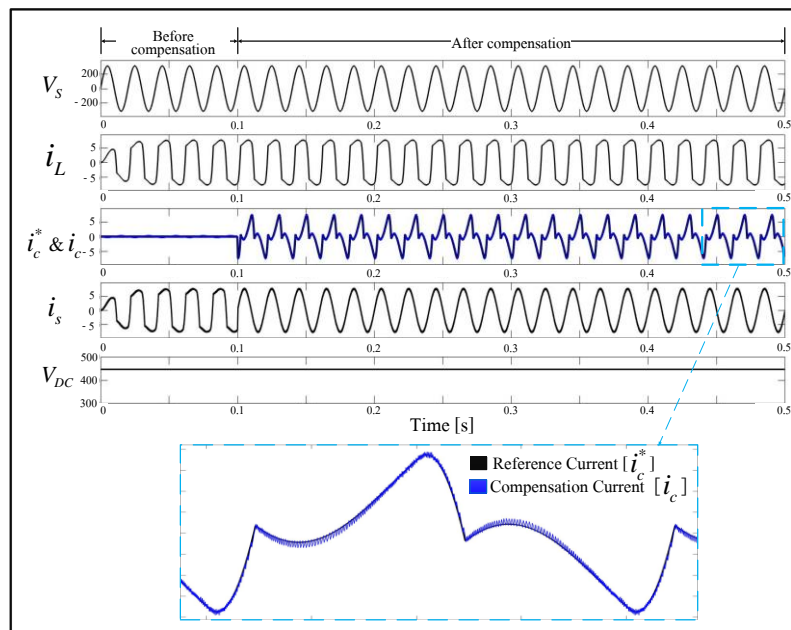


Figure 9 The harmonic elimination result using SAPF designed by ATS method

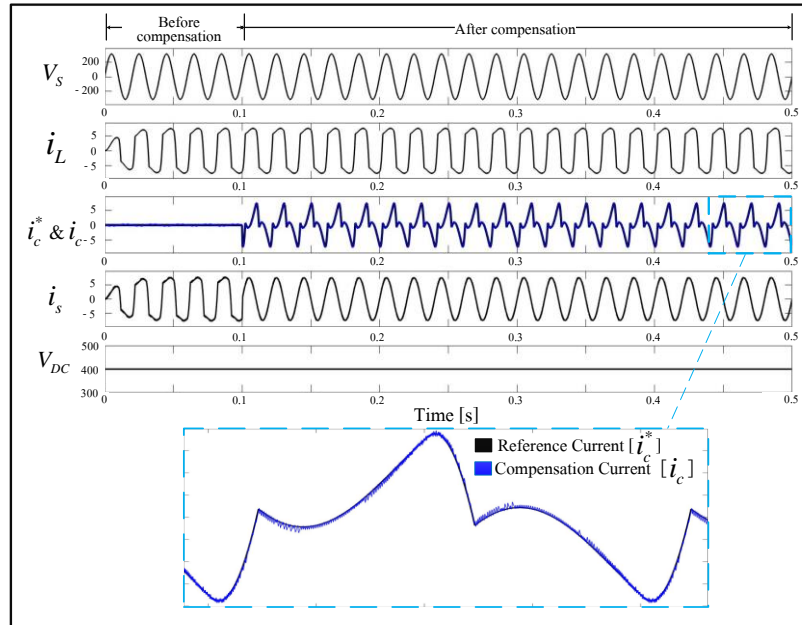


Figure 10 The harmonic elimination result using SAPF designed by Conventional method

Table 1 The comparison of harmonic elimination result (%THD and PF)

Design methods	Before compensation		After compensation	
	%THD	PF	%THD	PF
Conventional method	26.88%	0.81	0.86%	0.99
ATS method	26.88%	0.81	0.43%	0.99

จากตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการชดเชย พบว่าวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนาน และตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิสที่ออกแบบด้วยวิธี ATS สามารถให้ค่า %THD ที่มีค่าน้อยกว่าการออกแบบด้วยวิธีแบบดั้งเดิมที่ค่าเท่ากับ 0.43% จากผลดังกล่าวหมายความว่าวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ออกแบบด้วยวิธี ATS มีสมรรถนะการกำจัดฮาร์มอนิกดีกว่าวิธีการดั้งเดิม นอกจากนี้ในตารางที่ 2 ยังได้แสดงผลค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor: PF) ซึ่งจะเห็นว่าผลค่า PF ภายหลังจากชดเชยด้วยวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ได้จากการออกแบบทั้งสองวิธีมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.99 ในขณะที่ก่อนการชดเชยมีค่าเท่ากับ 0.81 ซึ่งค่า PF ที่เพิ่มขึ้นทำให้ลดการเกิดกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้า

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟสที่ประกอบด้วยค่าตัวเหนี่ยวนำ (L_f) และค่าแรงดันบัสไฟตรง (V_{DC}) และค่า HB ของตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิสด้วยวิธี ATS เพื่อทดสอบสมรรถนะการออกแบบจึงทำการเปรียบเทียบผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวกับวิธีการแบบดั้งเดิม โดยผลการจำลองสถานการณ์พบว่าวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธี ATS สามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการดั้งเดิม อย่างไรก็ตามค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังจากชดเชยได้จากทั้งสองวิธีการออกแบบมีค่าลดลงต่ำกว่า 5% ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 519-2014.

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และกลุ่มวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง พลังงาน เครื่องจักรกล และการควบคุม ที่ให้ทุนสนับสนุน การทำวิจัย รวมถึงสถานที่และเครื่องมือต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] V. E. Wagner. 1993. Effects of Harmonic on Equipment IEEE Trans. On Power Del. vol. 8. no. 2. April 1993. pp. 672-680.
- [2] I. Stoyanov, T. Iliev, B. Evstatiev and G. Mihaylov. 2019. Harmonic Distortion by Single-Phase Photovoltaic Inverter. 2019 11th Int. Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE). Bucharest, Romania, March 28-30 2019. pp. 1-4.
- [3] D. M. Said and K. M. Nor. 2008. Effects of Harmonic on Distribution Transformers. in Proc. the AUPEC'08, Sydney, NSW, Australia, Dec. 14-17 2008.
- [4] L. Motta and N. Faúndes. 2016. Active / passive harmonic filters: Applications, challenges & trends. 17th Int. Conf. on Harmonics and Quality of Power.
- [5] สุทธิณี ว้าวสูงเนิน, ทศพร ณรงค์ฤทธิ และ กองพล อารีรักษ์. 2564. การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีฟูริเยร์เอสดีสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 45, 17-19 พฤศจิกายน 2564. หน้า 517-520.
- [6] มณีนรัตน์ ผดุงศิลป์, ทศพร ณรงค์ฤทธิ และ กองพล อารีรักษ์. 2562. การเปรียบเทียบตัวควบคุมกระแสชดเชยสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 13. ฉบับที่ 1. 2562. หน้า 42-51.
- [7] อาทิตย์ ศรีแก้ว. 2552. ปัญญาเชิงคำนวณ. พิมพ์ครั้งที่1. จรัสสินทวงศ์การพิมพ์. กรุงเทพมหานคร.
- [8] D. Puangdownreong, K-N. Areerak, A. Srikaew, S. Sujjorn, and P. Totarong. 2002. System Identification via Adaptive Tabu Search. in Proc. of the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT'02). pp. 915-920.
- [9] สุทธิณี ว้าวสูงเนิน, ทศพร ณรงค์ฤทธิ และ กองพล อารีรักษ์. 2564. การออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัล. ปีที่ 9. ฉบับที่ 1. 27-36.
- [10] D. M. E. Ingram and S. D. Round. 1997. A novel digital hysteresis current controller for an active power filter. in Proc. of Second Int. Conference on Power Electronics and Drive Systems, Singapore, May 26-29 1997. vol. 2. pp. 744-749.

การประเมินประสิทธิภาพและอัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้วิธีการ
ถดถอยเชิงเส้นEvaluation of Performance and Degradation Rate of Photovoltaic Systems Using Linear
Regressionพรกิติ มหิทธิบุรินทร์¹ และ วาতিต เบนจพกุล¹
Pornkitti Mahitthiburin¹ and Watit Benjapolakul¹¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330¹Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

*Corresponding author: Pornkitti Mahitthiburin, e-mail address: 6270172121@student.chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ฉบับนี้นำเสนอถึงแนวทางการประเมินสมรรถนะ และอัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์ โดยใช้ข้อมูลจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ระบบโซลาร์เซลล์ที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ที่ต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ Copper indium gallium selenide (CIGS), Micro crystalline silicon thin film (μ c-Si) และ Amorphous silicon thin film (a-Si) การประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการกำหนดตัวพารามิเตอร์สำหรับใช้ประเมินประสิทธิภาพการผลิตได้นำ Performance ratio มาใช้ในการประเมินสมรรถนะ และขั้นตอนที่สองเป็นการประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะจากสมการเส้นตรงด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นและวิธีการแยกส่วนประกอบร่วมกับวิธีการถดถอยเชิงเส้น จากการทดสอบและเปรียบเทียบพบว่าการใช้วิธีการแยกส่วนประกอบเข้ามาช่วยลดการกระจายของข้อมูลการผลิตที่เกิดจากสภาพอากาศได้ การคำนวณอัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์แสดงถึงความเหมาะสมของชนิดแผงโซลาร์เซลล์กับพื้นที่ติดตั้ง ผลการทดสอบโดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นแสดงผลอัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์ชนิด μ c-Si ให้ผลสูงที่สุดเท่ากับ -4.6535%/ปี และระบบโซลาร์เซลล์ชนิด a-Si ให้ผลอัตราการเสื่อมสมรรถนะต่ำสุดเท่ากับ -0.4074%/ปี และการทดสอบโดยใช้วิธีการแยกส่วนประกอบแสดงผลอัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์ชนิด μ c-Si สูงที่สุดเท่ากับ -5.4237%/ปี และระบบโซลาร์เซลล์ชนิด a-Si ให้ผลอัตราการเสื่อมสมรรถนะต่ำสุดเท่ากับ -0.3235%/ปี จากผลการทดสอบการเปรียบเทียบอัตราการเสื่อมสมรรถนะกับระยะเวลาการคืนทุนสามารถสรุปได้ว่าระบบโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งแผงชนิด a-Si มีความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งในประเทศไทย

คำสำคัญ: ระบบโซลาร์เซลล์, แผงโซลาร์เซลล์, โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์, สมรรถนะของระบบ, อัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบ

Abstract

The purpose of this research is to offer an analysis of the performance and degradation rate of photovoltaic (PV) systems of three different photovoltaic technologies installed in solar farm at Thap Sakae, Prachuap Khiri Khan. The PV technologies which used in this research are Copper indium gallium selenide (CIGS), Micro crystalline silicon thin film (μ c-Si), and Amorphous silicon thin film (a-Si). The methods to estimate the degradation rate are separated into two parts. The first part is to evaluate the performance of the PV system. The Performance ratio is selected as a parameter to evaluate performance of the PV system. The second part is to estimate the PV degradation rate by using a linear equation of the performance ratio. Two methods are used to evaluate degradation rate, which are Linear regression and Decomposition combined with Linear regression to calculate a linear equation. It was discovered that the Decomposition method can reduce some outliers caused by the environment. The evaluation of PV degradation rate shows which technologies are suitable for the environment. The results show that the μ c-Si has the highest degradation rate of -4.6535%/year, and the a-Si has the lowest degradation rate of -0.4074 %/year using Linear regression method, and the μ c-Si has the highest degradation rate with -5.4237 %/year, and the degradation rate of a-Si has the lowest degradation rate with -0.3235 %/year using Decomposition combined with Linear regression method. To

conclude, the comparison of degradation rate and payback period makes the a-Si PV type technology the best option for the solar farm system in Thailand.

Keywords: Photovoltaic system, PV module, Solar farm, PV Performance, Degradation rate

1. บทนำ

ประเทศไทยในปัจจุบันมีอัตราการติดตั้งพลังงานหมุนเวียนชนิดโซลาร์เซลล์เพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Tropical climate) และภูมิประเทศอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้ได้รับแสงแดดตลอดทั้งปี ผสมกับพลังงานโซลาร์เซลล์ได้มีการยอมรับว่าเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าที่ราคาถูกที่สุดโดย IEA [1] ทำให้พลังงานหมุนเวียนได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพลังงานที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์มีความไม่แน่นอน เนื่องจากมีปัจจัยทางธรรมชาติที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตของตัวแผงโซลาร์เซลล์ลดลง และผลิตไฟฟ้าได้น้อยลงตามระยะเวลาการใช้งาน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการเสื่อมสมรรถนะ (Degradation) จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้การประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์นั้นมีความสำคัญ เพราะเมื่อการอัตราเสื่อมสมรรถนะของแผงโซลาร์เซลล์สูง ส่งผลให้ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็ลดลงและส่งผลกระทบต่อรายได้ในการขายไฟฟ้าในอนาคต

อัตราการเสื่อมสมรรถนะของแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งในแต่ละประเทศ และแต่ละภูมิภาคมีความแตกต่างกัน การเสื่อมสมรรถนะตามมาตรฐาน Standard Test Condition (STC) จะอยู่ที่ 0.8% ต่อปี แต่ในความเป็นจริงการเสื่อมสมรรถนะจะมากกว่าหรือน้อยกว่า 0.8%/ปี ขึ้นอยู่กับวัสดุและเทคโนโลยีของแผงโซลาร์เซลล์ และความแตกต่างของสภาพอากาศ ความชื้น รวมถึงการเสื่อมของอุปกรณ์ภายในแผงโซลาร์เซลล์และการออกแบบโครงสร้างระบบ [2] งานวิจัย [3] กล่าวถึงผลกระทบของความชื้นแสงและอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานและอายุการใช้งานของแผงโซลาร์เซลล์ พบว่าในสภาพแวดล้อมที่ความชื้นแสงและอุณหภูมิมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้น แต่เมื่อปริมาณความชื้นแสงและอุณหภูมิที่สูงเกินเกณฑ์ส่งผลให้การเสื่อมสมรรถนะสูงกว่าภูมิภาคที่มีแสงแดดน้อยถึงปานกลาง งานวิจัย [4] ได้ศึกษาถึงผลกระทบต่อสภาพอากาศกับอัตราการเสื่อมสมรรถนะของแผงโซลาร์เซลล์ในแต่ละทวีปทั่วโลก โดยทวีปอเมริกาอัตราการเสื่อมสมรรถนะตั้งแต่ -0.8% ถึง -1.25% ต่อปี ทวีปยุโรปอัตราการเสื่อมสมรรถนะตั้งแต่ -0.5% ถึง 1.13% ต่อปี ทวีปเอเชียอัตราการเสื่อมสมรรถนะตั้งแต่ -1.3% ถึง -2% และยังได้ศึกษาอัตราการเสื่อมสมรรถนะในประเทศไทย โดยระบุว่าประเทศไทยมีอัตราการเสื่อมสมรรถนะที่กว้างถึง -0.5% ถึง -4.9% ต่อปี โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นนี้ได้แสดงถึงผลกระทบของสภาพอากาศต่อการเสื่อมสมรรถนะของแผงโซลาร์เซลล์ ในงานวิจัยที่อ้างอิงส่วนถัดไปจะเสนอถึงแนวทางการประเมินประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์

งานวิจัย [5] สรุปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ของงานวิจัยในอดีตถึงปัจจุบัน ขั้นตอนการคำนวณอัตราการเสื่อมสภาพแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ขั้นตอนแรกจำเป็นต้องวิเคราะห์และกำหนดพารามิเตอร์ในการประเมินประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า และส่วนที่สองได้นำข้อมูลประสิทธิภาพจากกระบวนการแรกมาวิเคราะห์เชิงสถิติ ในรูปแบบกราฟแนวโน้ม (trend) ในแต่ละช่วงเวลา โดยวิธีที่ได้รับความนิยมในการทำวิจัยมากที่สุดได้แก่ วิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) งานวิจัย [6] เสนอถึงวิธีการประเมินประสิทธิภาพและอัตราการเสื่อมสภาพของแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อเปรียบเทียบแผงโซลาร์เซลล์ต่างชนิดที่ติดตั้งในภูมิภาคเขตทะเลทราย การทดสอบค่ากำลังสูงสุดเฉลี่ยในแต่ละเดือน และใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นเพื่อตรวจสอบการลดลงของกำลังการผลิตสูงสุด โดยมีข้อสังเกตได้ว่าแผงโซลาร์เซลล์ที่มีกำลังการผลิตสูงสุด ไม่ได้มีเหมาะสมที่สุดเสมอไปแต่ควรคำนึงถึงอัตราการเสื่อมสภาพที่ลดลงรายปีด้วย

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้นำเสนอวิธีคำนวณประสิทธิภาพและอัตราการเสื่อมสภาพ รวมถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ งานวิจัยนี้จึงศึกษาและนำเสนอแนวทางประเมินค่าการเสื่อมสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์สำหรับการเสื่อมสมรรถนะประจำปี รวมถึงพฤติกรรมการเสื่อมสมรรถนะของแผงโซลาร์เซลล์ต่างเทคโนโลยี 3 ชนิด ได้แก่ Copper indium gallium selenide (CIGS), Crystalline silicon (c-Si), Micro crystalline silicon thin film (μ c-Si) และ Amorphous silicon thin film โดยคำนึงถึงโครงสร้างของระบบโซลาร์เซลล์ทั้งระบบ ซึ่งในงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้คำนึงถึงเพียงในส่วนในระดับแผงโซลาร์เซลล์เท่านั้น แนวทางการประเมินประสิทธิภาพของระบบโซลาร์เซลล์ได้กำหนดพารามิเตอร์ Performance ratio สำหรับแสดงสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์ และได้้นำวิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) และวิธีการแยกส่วนประกอบ (Decomposition) ในการประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะ โดยได้คำนวณและเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเสื่อมสมรรถนะเพื่อทดสอบความเหมาะสมในการติดตั้งในภูมิภาคประเทศไทย ทำให้ข้อมูลจากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้าง การวัดค่าการเสื่อมสมรรถนะประจำปีของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และ

ปรับปรุงคุณภาพการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และใช้เป็นข้อมูลสำหรับการอ้างอิงและเปรียบเทียบอัตราการเสื่อมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งในพื้นที่อื่นได้

2. วิธีการศึกษา

2.1 โครงสร้าง ช่วงเวลาเก็บข้อมูลและข้อกำหนดทางเทคนิคของแผงโซลาร์เซลล์

งานวิจัยนี้ฉบับนี้ได้รับข้อมูลจากโซลาร์ฟาร์มที่อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งแบ่งเป็น 5 โซน (A, B, C, D และ E) ที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ (1) Copper indium gallium selenide (CIGS), (2) Crystalline silicon (c-Si), (3) Micro crystalline silicon thin film (μ -Si) และ (4) Amorphous silicon thin film (a-Si) โดยโซน D และ E ใช้แผงชนิดเดียวกัน และแต่ละโซนมีกำลังการผลิตที่ติดตั้งโซนละ 1 MW ดังรูปที่ 1 แต่เนื่องจากระบบโซลาร์เซลล์ในโซน B มีปัญหาในระบบติดตามดวงอาทิตย์ (Tracking) ทำให้ข้อมูลที่เก็บได้มีผันผวนสูง การทดสอบจึงเลือกใช้ข้อมูลระบบโซลาร์เซลล์ของโซน A, C, D และ E เท่านั้น โดยระบบโซลาร์ฟาร์มที่อำเภอทับสะแกในแต่ละโซนได้ต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ เพื่อแปลงไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นกระแสสลับ (AC) และต่อไปยังระบบกริดไฟฟ้าเพื่อส่งและแจกจ่ายไฟฟ้าที่ผลิตไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า



Figure 1 Diagram of PV technologies and photovoltaic systems at Thap Sakae solar farm, Prachuap Khiri Khan.

การเก็บข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบเริ่มเก็บตั้งแต่เดือนตุลาคมปี 2018 ถึงเดือนสิงหาคม ปี 2022 แต่เนื่องจากระบบเก็บข้อมูลในโซน A (CIGS) มีปัญหา และแผงโซลาร์เซลล์ในโซน C (μ -Si) เกิดการชำรุด ทำให้ระยะเวลาเก็บข้อมูลของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดไม่เท่ากัน ตารางที่ 1 ได้แสดงถึงข้อกำหนดทางเทคนิคของแผงโซลาร์เซลล์ พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจติดตามการผลิตและได้บันทึกไว้ในระบบได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้า, ค่าความแรงดันไฟฟ้า, ค่ากำลังไฟฟ้า และความเข้มแสง ตารางที่ 2 แสดงถึงรายละเอียดการติดตั้ง จำนวนแผงโซลาร์เซลล์ ระยะเวลาเก็บข้อมูล และระยะเวลาคืนทุนตลอดการใช้งาน

Table 1 Specification of PV technologies at Thap Sakae solar farm

Specification Parameter	Type of PV technology		
	CIGS (A)	μ -Si (C)	a-Si (D, E)
1. Power rate (P_{rate})	115 W/panel	132.4 W/panel	65 W/panel
2. Open-circuit voltage (V_{oc})	97.6 V	74.38 V	89 V
3. Short-circuit current (I_{sc})	1.69 A	2.74 A	1.12 A
4. Temperature coefficient (%/°C)	-0.38 %/°C	-0.29%/°C	-0.19%/°C
5. Efficiency (%)	$\geq 12\%$	$\geq 9\%$	$\geq 6\%$

Table 2 PV Installation details and payback period of PV systems

PV installation detail and cost	Type of PV technology		
	CIGS (A)	μc-Si (C)	a-Si (D, E)
1. Number of panels	10,880	9,792	20,000 (D), 20,000 (E)
2. Amount of Monitoring Data (Month)	30	35	47 (D), 42 (E)
3. Area of PV system (m ²)	8,192	11,104	12,544 (D), 12,544 (E)
4. Payback period (year)	15	18	14 (D), 13 (E)
5. Internal rate of return (IRR)	4.58%	2.65%	5.14% (D), 5.76% (E)

2.2 วิธีการประเมินประสิทธิภาพของระบบโซลาร์เซลล์ที่ศึกษา

การกำหนดพารามิเตอร์ในการประเมินประสิทธิภาพเป็นขั้นตอนแรกของการประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์ ในปัจจุบันวัสดุที่ใช้ผลิตแผงโซลาร์เซลล์มีความหลากหลายมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ต่างชนิดไม่เท่ากัน จึงมีการกำหนดพารามิเตอร์เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ต่างชนิดกันได้ โดยงานวิจัยนี้ได้นำพารามิเตอร์ Performance ratio ที่ได้รับความนิยมในการประเมินประสิทธิภาพมากที่สุด พารามิเตอร์นี้ได้อ้างอิงจากมาตรฐาน International Electrotechnical Commission 61724 [8] ซึ่งเหมาะสำหรับเปรียบเทียบระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ที่มีเทคโนโลยีและภูมิประเทศหรือสภาพอากาศที่ต่างกัน สมการประกอบด้วย Array yield, Final yield ที่เป็นส่วนของกำลังการผลิต และ Reference yield ที่เป็นส่วนของปริมาณความเข้มแสง [11] โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

Array yield (Y_A) คืออัตราส่วนระหว่างพลังงาน DC ของแผงโซลาร์เซลล์ที่ผลิตได้ ในระดับ array กับพิกัดกำลังไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ (Rated power) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$Y_A = \frac{E_{pv(DC)}}{P_{o, rated}} \quad (1)$$

โดยกำหนดให้ $E_{pv(DC)}$ คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า DC ที่ผลิตจากแผงโซลาร์เซลล์ (kWh) และ $P_{o, rated}$ คือ ขนาดพิกัดของระบบผลิตไฟฟ้าที่ติดตั้ง (kWp)

Final yield (Y_f) คืออัตราส่วนระหว่างพลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ทั้งหมดที่ผลิตได้ในระดับ AC กับพิกัดกำลังไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ (Rated power) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$Y_f = \frac{E_{pv(AC)}}{P_{o, rated}} \quad (2)$$

โดยกำหนดให้ $E_{pv(AC)}$ คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า AC ที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้าทั้งหมด (kWh) ซึ่งต่างจาก Array yield ที่คำนวณเฉพาะระดับ array เท่านั้น

Reference yield (Y_r) คืออัตราส่วนระหว่างความเข้มแสงทั้งหมดที่ตกกระทบบนแผงโซลาร์เซลล์ต่อความเข้มแสงที่ระดับการทดสอบตามเงื่อนไขมาตรฐาน Standard test condition ซึ่งคือการทดสอบแผงโซลาร์เซลล์เมื่อได้รับค่าความเข้มแสงเท่ากับ 1,000 W/m² ที่อุณหภูมิที่แผงโซลาร์เซลล์เท่ากับ 25 °C และแสงที่ผ่านชั้นบรรยากาศ (Air mass) เท่ากับ 1.5 โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$Y_r = \frac{G_i}{G_{STC}} \quad (3)$$

โดยกำหนดให้ G_i คือ ค่าความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ (kWh/m²) และ G_{STC} คือ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่อ้างอิงเงื่อนไขมาตรฐาน Standard Test Condition มีค่าเท่ากับ 1,000 W/m² (W/m²)

Performance ratio (R_p) เป็นอัตราส่วนระหว่าง Final yield และ Reference yield ดังสมการที่ 4 บอกถึงข้อมูลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเช่น อุณหภูมิ, การตกกระทบของแสง และการเสื่อมของแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อเป็นการแสดงถึงเปอร์เซ็นต์อัตราผลิตไฟฟ้าหลังจากหักลบการสูญเสียพลังงาน

$$R_p = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100\% \quad (4)$$

โดยกำหนดให้ R_p (Performance ratio) คือ อัตราส่วนประสิทธิภาพ การผลิตไฟฟ้าของระบบ

Performance ratio (R_p) สามารถกำหนดช่วงเวลาในการคำนวณได้ เช่น รายวัน, รายสัปดาห์, รายเดือน, รายปี ทำให้วิธีนี้เป็นจุดเด่นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น เช่น เมื่อต้องการประสิทธิภาพรายวัน สามารถนำข้อมูลการผลิตในระดับรายวันมาใช้ในการคำนวณได้ โดยหน่วยงาน IEA PVPS (Photovoltaic Power Systems Programme) ได้รวบรวมข้อมูล R_p ของระบบโซลาร์เซลล์ของทั้งหลายประเทศและสรุปได้ว่า ระบบโซลาร์เซลล์ที่มีเปอร์เซ็นต์ R_p เฉลี่ยต่อปีสูงกว่า 75% ถือว่าเป็นระบบที่วางแผนโครงสร้างได้ดี [9] โดยสาเหตุที่ระบบโซลาร์เซลล์ที่มีค่า R_p ต่ำ เกิดได้จากการบังเงา, มีข้อบกพร่องในโครงสร้าง, อินเวอร์เตอร์เสียหาย รวมถึงการระบายความร้อนของแผงที่ไม่เพียงพอ

2.3 การประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์ที่ศึกษา

การเสื่อมสมรรถนะในระบบโซลาร์เซลล์ แสดงถึงอัตราการลดลงของประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้ารายปี (Performance loss rate) ซึ่งพฤติกรรมการลดลงของประสิทธิภาพจะมีรูปแบบใกล้เคียงกับสมการเส้นตรง ดังนั้นการวิเคราะห์เพื่อหาแนวโน้มและทิศทางการลดลงของ Performance ratio ในรูปแบบสมการเส้นตรง จึงนำมาประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์ได้ [7]

2.3.1 วิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) โดยใช้กำลังสองน้อยที่สุด (Least square method)

วิธีการถดถอยเชิงเส้นเป็นวิธีที่ใช้ในการประเมินแนวโน้มของข้อมูลบนกราฟให้อยู่ในรูปแบบของสมการเส้นตรงเรียกว่า Regression line โดยการนำค่า Performance ratio เฉลี่ยรายเดือนมาพล็อตลงในกราฟ และใช้กำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) เพื่อคำนวณสมการเส้นตรง ทำให้สามารถประเมินอัตราการลดลงของ Performance ratio ได้ รูปที่ 2 แสดงถึงขั้นตอนการคำนวณการถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาสมการเส้นตรงของกราฟ Performance ratio โดยใช้กำลังสองน้อยที่สุด โดยความชันและจุดตัดแกน y ของสมการเส้นตรงสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5 และ 6

สมการการถดถอยเชิงเส้นเพื่อคำนวณความชัน โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

สมการการถดถอยเชิงเส้นเพื่อคำนวณจุดตัดแกน y ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

$$c = \bar{y} - m\bar{x} \quad (6)$$

โดยกำหนดให้ตัวแปร x_i คือ ค่าของแกน x โดยที่ i เป็นลำดับของตัวแปร ตัวแปร y_i คือ ค่าของแกน y โดยที่ i เป็นลำดับของตัวแปร ตัวแปร \bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของแกน x และตัวแปร \bar{y} คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของแกน y

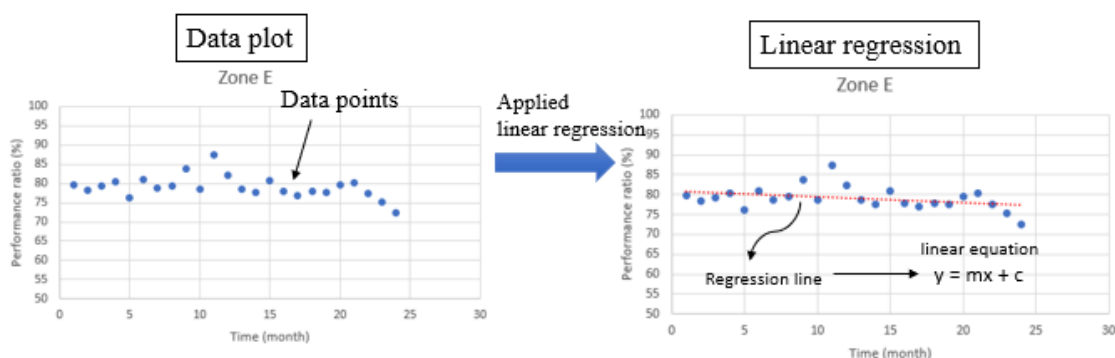


Figure 2 An Example of linear regression using least squares method to extract the linear equation.

2.3.2 วิธีการแยกส่วนประกอบ (Decomposition) โดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving average) ร่วมกับการถดถอยเชิงเส้น

การประเมินสมการเส้นตรงโดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นที่สุดมีความไม่แน่นอน ส่งผลให้อัตราการเสื่อมสมรรถนะมีการเพิ่มขึ้น-ลดลงมากจนเกินไปเมื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บข้อมูล ดังนั้นการประยุกต์นำวิธีการแยกส่วนประกอบ (Decomposition) มาใช้ร่วมกับวิธีการถดถอยเชิงเส้น จึงช่วยเพิ่มผลการกระจายของ Performance ratio ที่ใช้ในการประเมินการเสื่อมสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์ วิธีการแยกส่วนประกอบได้นำค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving average) ในการประเมินแนวโน้ม (Trend) ของข้อมูล ซึ่งเป็นการนำข้อมูลย้อนหลังมาหาค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาที่กำหนด [10] เพื่อให้สะดวกในการใช้แสดงค่าเฉลี่ยการลดลงของกำลังการผลิต และช่วยให้ลดความผิดพลาดออกไปจากข้อมูลในกรณีที่มีข้อมูลเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไม่มีเหตุผล ทำให้มีความเสถียรภาพมากกว่าประเมินโดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นเพียงอย่างเดียว รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการคำนวณแนวโน้มของ Performance ratio โดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ โดยค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่มีสมการคำนวณได้ดังสมการที่ 7

สมการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ในช่วง M (Moving average of order M)

$$T_t = \frac{1}{M} \sum_{j=-k}^k y_{t+j} \quad (7)$$

โดยกำหนดให้ T_t คือ ค่าแนวโน้มของข้อมูลที่เวลา t ตัวแปร M คือ ขอบเขตที่ใช้การเฉลี่ยของข้อมูล ซึ่งในการทดสอบนี้ได้กำหนดขอบเขตการเฉลี่ยให้ $M = 12$ และ y_t คือ ค่าข้อมูลในรูปแบบ time-series ที่เวลา t

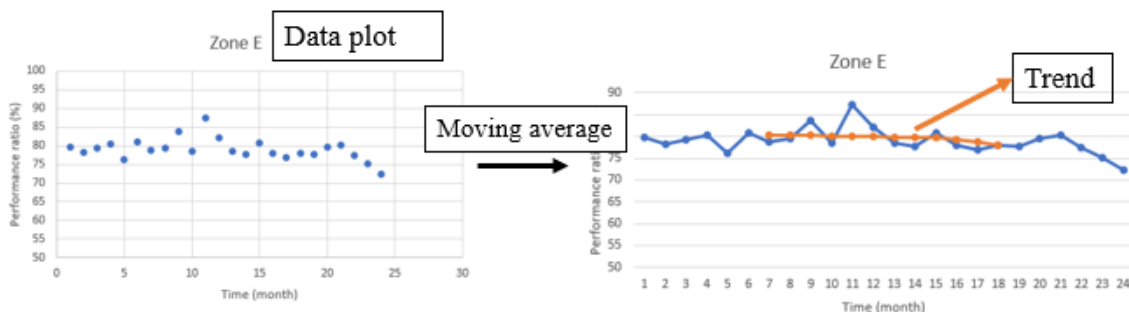


Figure 3 An example of Decomposition method using moving average to extract trend of the data points

2.3.3 การประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์จากสมการเส้นตรง

สมการเส้นตรงสามารถใช้ประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะรายปีได้จากการคำนวณการลดลงของ Performance ratio เมื่อคำนวณการลดลงของ performance ratio ในหนึ่งปีได้ ก็จะสามารถประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะรายปีได้จากสมการที่ 8 และ 9 โดยใช้ความชันและจุดตัดแกน y ของสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟเส้นตรง การคำนวณหาอัตราการเสื่อมสมรรถนะสามารถทำได้จากการใช้ความชันและจุดตัดแกน y ของสมการเส้นตรงได้ดังนี้

สมการการคำนวณอัตราการเสื่อมสมรรถนะ

$$R_D = \left(\frac{t \cdot m}{c} \right) * 100\% \quad (8)$$

สมการการคำนวณอัตราการเสื่อมสมรรถนะรายปี โดยกำหนดให้จำนวนเดือนเท่ากับ 12 (t=12)

$$R_D(\text{yearly}) = \left(\frac{12m}{c} \right) * 100\% \quad (9)$$

โดยกำหนดให้ t แสดงถึงจำนวนเดือนที่ต้องการหาอัตราการเสื่อมสมรรถนะ ในกรณีอัตราการเสื่อมสมรรถนะรายปี t จะเท่ากับ 12, c คือ จุดตัดแกน y ของสมการเส้นตรง, m แสดงถึงความชันของสมการของสมการเส้นตรง และ R_D (%/ปี) แสดงถึงอัตราการเสื่อมสมรรถนะรายปีของแผงโซลาร์เซลล์

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

การทดสอบได้นำระบบโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ต่างชนิด แบ่งออกเป็น 4 โซนได้แก่ CIGS (A), $\mu\text{-Si}$ (C), a-Si 1(D) และ a-Si 2(E) แต่ละโซนได้ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจติดตามข้อมูล โดยตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์และเก็บข้อมูลการผลิตเพื่อส่งไปที่หน้าจอแสดงผลได้แสดงดังรูปที่ 4 ในการทดสอบนี้ได้ใช้ข้อมูลการผลิตในระดับ AC เป็นหลัก เนื่องจากต้องการคำนวณอัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์ทั้งหมด การทดสอบได้แบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ การประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะโดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้น และการประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะโดยใช้วิธีการแยกส่วนประกอบร่วมกับวิธีการถดถอยเชิงเส้น

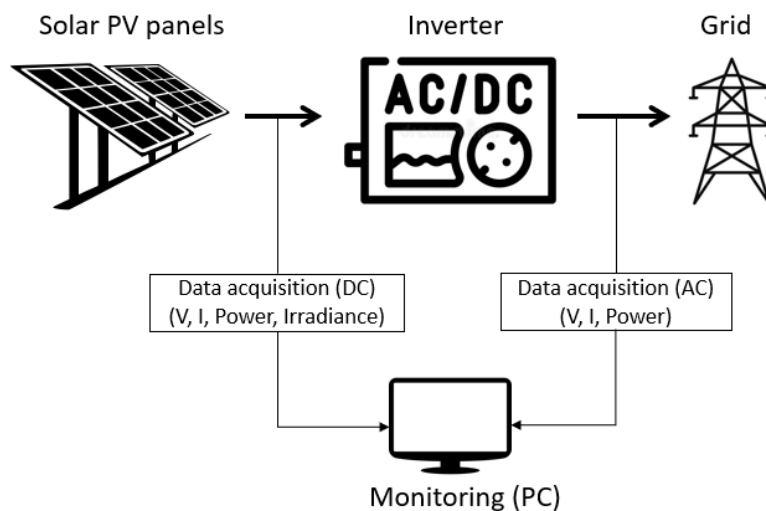


Figure 4 Diagram of PV data acquisition and monitoring system

3.1 ผลการทดสอบการประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะโดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้น

การทดสอบการประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะโดยใช้การถดถอยเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เพื่อหาสมการเส้นตรงของการลดลงรายปีของ R_p โดยคำนวณจากสมการที่ 2, 3 และ 4 และกรองเอาเฉพาะค่า R_p ที่อยู่ในช่วง 30% ถึง 100% มาใช้ในการเฉลี่ย เพื่อลดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากปัญหาการบังเงาหรือความผิดพลาดที่ทำให้ R_p น้อยหรือเท่ากับ 0 ผลการทดสอบได้แสดงดังรูปที่ 5 จากกราฟถึง R_p เฉลี่ยรายเดือนและกราฟเส้นตรงที่ได้จากการทำการถดถอยเชิงเส้น ตารางที่ 3 แสดงถึงค่าของสมการความชันและจุดตัดแกน y ที่ได้จากการถดถอยเชิงเส้น รวมถึงอัตราการเสื่อมสมรรถนะที่ได้คำนวณจากสมการที่ 6 ของแต่ละโซน อัตราการเสื่อมสมรรถนะรายปีของแผงโซลาร์เซลล์ชนิด CIGS เท่ากับ $-3.6621\%/ปี$, แผงโซลาร์เซลล์ชนิด $\mu\text{-Si}$ เท่ากับ $-4.6535\%/ปี$ และมีผลอัตราการเสื่อมสมรรถนะมากที่สุด, แผงโซลาร์เซลล์ชนิด a-Si 1(D) เท่ากับ $-0.4074\%/ปี$ และแผงโซลาร์เซลล์ชนิด a-Si 2(E) เท่ากับ $-1.8272\%/ปี$

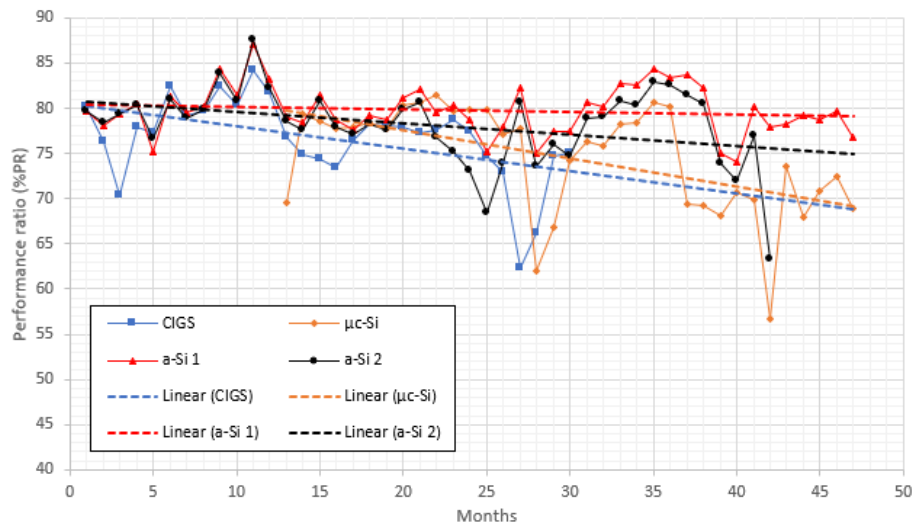


Figure 5 Monthly average of R_p and linear regressing using least square method.

Table 3 Linear equation and degradation rate of PV systems obtained from least square method.

Parameter	Type of PV technology			
	CIGS (A)	μ c-Si (C)	a-Si 1(D)	a-Si 2(E)
Slope (m)	-0.2455	-0.3105	-0.0273	-0.123
y-intercept (c)	80.4521	80.071	80.4274	80.7924
R_D (%/year)	-3.6621	-4.6535	-0.4074	-1.8272

3.2 ผลการทดสอบการประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะโดยใช้วิธีการแยกส่วนประกอบ

ผลทดสอบการประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะด้วยวิธีการแยกส่วนประกอบด้วยค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ร่วมกับวิธีการถดถอยเชิงเส้น ผลการทดสอบได้แสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งบอกถึงแนวโน้มการลดลงของ R_p ของระบบโซลาร์เซลล์ทั้ง 4 โชน ที่คำนวณจากการแยกส่วนประกอบโดยใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่จากสมการที่ 7 และรายละเอียดของสมการเส้นตรงได้แสดงดังตารางที่ 4 โดยอัตราการเสื่อมสมรรถนะรายปีของแผงโซลาร์เซลล์ชนิด CIGS เท่ากับ -4.1917 %/ปี, แผงโซลาร์เซลล์ชนิด μ c-Si เท่ากับ -5.4237 %/ปีและให้ผลอัตราการเสื่อมสมรรถนะมากที่สุด, แผงโซลาร์เซลล์ชนิด a-Si 1(D) เท่ากับ -0.3235 %/ปี และแผงโซลาร์เซลล์ชนิด a-Si 2(E) เท่ากับ -1.7598 %/ปี

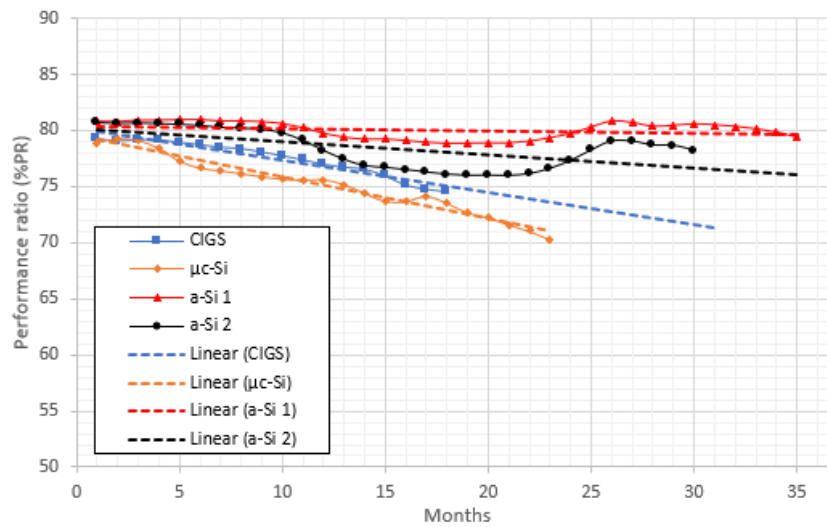


Figure 6 Monthly average trend of R_p and linear regression using decomposition and least square method.

Table 4 Linear equation and degradation rate of PV systems obtained from decomposition and least square method.

Parameter	Type of PV technology			
	CIGS (A)	μ c-Si (C)	a-Si 1(D)	a-Si 2(E)
Slope (m)	-0.2861	-0.3695	-0.0217	-0.1186
y-intercept (c)	81.9178	81.7541	80.5523	80.8819
R_p (%/year)	-4.1917	-5.4237	-0.3235	-1.7598

จากผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพของระบบโซลาร์เซลล์ในโซน A และ C มีอัตราการลดลงของการผลิตสูงซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณอัตราการเสื่อมสมรรถนะ โดยแผงโซลาร์เซลล์ชนิด CIGS เกิดปัญหาการเกิดฟองอากาศทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าลดลง แผงโซลาร์เซลล์ชนิด μ c-Si เกิดเหตุการณ์แผงชำรุดทำให้ต้องเปลี่ยนแผงใหม่และมีการลดลงของ R_p อย่างต่อเนื่อง จึงคาดการณ์ได้ว่าแผงโซลาร์เซลล์ชนิด μ c-Si ไม่เหมาะสำหรับติดตั้งในภูมิประเทศไทย และสาเหตุที่ระบบที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ชนิด a-Si 2(E) มีอัตราการเสื่อมสมรรถนะสูงกว่า a-Si 1(D) แม้ว่าจะมีติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ชนิดเดียวกัน เกิดจากปัญหาความผิดพลาดของอินเวอร์เตอร์ (inverter failure) ทำให้ R_p มีการลดลงในช่วงท้ายของการเก็บข้อมูลและมีอัตราการเสื่อมสมรรถนะสูงกว่า

จากการเปรียบเทียบการประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะของทั้ง 2 วิธี พบว่าวิธีการแยกส่วนประกอบร่วมกับวิธีการถดถอยเชิงเส้นมีความเสถียรมากกว่า เนื่องจากการคำนวณสมการเส้นตรงจากการใช้กำลังสองน้อยที่สุดของวิธีการถดถอยเชิงเส้นนำข้อมูลทุกจุดมาคำนวณ ทำให้เปอร์เซ็นต์อัตราการเสื่อมสมรรถนะมีความไม่แน่นอนเมื่อมีข้อมูลที่แตกต่างไปจากข้อมูลค่าอื่นหรือมีค่าห่างจากกลุ่ม (outlier) เนื่องจากปริมาณการผลิตของระบบโซลาร์เซลล์ที่แปรผันกับสภาพอากาศและแสงอาทิตย์ ทำให้ลักษณะของการลดลงของ R_p จึงเป็นลักษณะคล้ายคลื่นรูปไซน์ (sine wave) ดังนั้นการหาค่าเฉลี่ยมาเป็นกราฟแนวโน้มด้วยวิธีการแยกส่วนประกอบ และจึงใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นจึงให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมกว่า เพราะสามารถลดความผิดพลาดที่เกิดจากข้อมูลที่ห่างจากกลุ่มและตัวแปรทางฤดูกาลได้ดีขึ้น

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ประเมินประสิทธิภาพและประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ 3 ชนิดที่ติดตั้งในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ประเทศไทย ได้แก่ Copper indium gallium selenide (CIGS), Micro crystalline silicon thin film (μ c-Si) และ Amorphous silicon thin film (a-Si) เพื่อทดสอบว่าแผงโซลาร์เซลล์ชนิดใดมีประสิทธิภาพสูงและมีอัตราการเสื่อมสมรรถนะรายปีน้อยที่สุด ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมในการติดตั้งกับภูมิอากาศประเทศไทยหรือประเทศที่มีภูมิอากาศคล้ายคลึงกัน

การประเมินประสิทธิภาพได้เลือกใช้พารามิเตอร์ Performance ratio (R_p) ซึ่งแสดงถึงเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าหลังจากหักลบการสูญเสียพลังงานภายนอก หรือเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าเปอร์เซ็นต์ค่าพลังงานในระบบที่ผลิตได้ เมื่อเทียบกับค่าการผลิตในอุดมคติที่อ้างอิงเงื่อนไขมาตรฐาน STC การทดสอบได้นำข้อมูลการผลิตที่ได้จากระบบตรวจติดตามของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาคำนวณ R_p เฉลี่ยรายเดือนและนำมาเปรียบเทียบ ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าระบบที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ชนิด a-Si มีค่า R_p ที่สุดและมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีสูงกว่า 75% ซึ่งกำหนดเป็นมาตรฐานของระบบโซลาร์เซลล์ที่เหมาะสมโดย IEA PVPS และระบบโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งแผง μ c-Si มีค่า R_p น้อยที่สุด ซึ่งเป็นแผงมีรายงานการเกิดปัญหาแผงชำรุดและต้องเปลี่ยนแผงโซลาร์เซลล์ใหม่ จึงสรุปได้ว่าแผงโซลาร์เซลล์ชนิด μ c-Si ไม่เหมาะสมสำหรับติดตั้งในภูมิประเทศที่มีอากาศร้อนชื้น รวมถึงให้ผลอัตราการผลิตลดลงรายปีสูงซึ่งสอดคล้องกับอัตราการเสื่อมสมรรถนะที่สูงกว่าแผงโซลาร์เซลล์ชนิดอื่น จากการทดสอบผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าระบบที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ชนิด a-Si ที่ติดตั้งในโซน D มีเปอร์เซ็นต์อัตราการเสื่อมสมรรถนะต่ำที่สุด และ μ c-Si มีเปอร์เซ็นต์อัตราการเสื่อมสมรรถนะสูงที่สุด ทำให้แผงโซลาร์เซลล์ชนิด a-Si เหมาะสมสำหรับติดตั้งในประเทศไทย แต่มีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ของการติดตั้ง จากตารางที่ 1 พบว่าระบบโซลาร์เซลล์ที่ใช้แผงชนิด a-Si มีระยะเวลาคืนทุนไวที่สุด แต่เนื่องจากแผงโซลาร์เซลล์ชนิด a-Si ถูกออกแบบมาให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมภายนอก แต่แลกมากับกำลังการผลิตต่อแผงที่ลดลง ระบบโซลาร์เซลล์ชนิด a-Si จึงใช้แผงและพื้นที่การติดตั้งมากกว่าแผงชนิด CIGS และ μ c-Si ประมาณ 2 เท่า เพื่อให้กำลังการผลิตเท่ากับ 1 MW

การประเมินอัตราการเสื่อมสมรรถนะได้นำวิธีการถดถอยเชิงเส้นในการประเมิน โดยวิเคราะห์การลดลงของ R_p ต่อปีจากสมการเส้นตรง วิธีการถดถอยเชิงเส้นและวิธีการแยกส่วนประกอบร่วมกับการถดถอยเชิงเส้น ได้นำมาใช้ในการคำนวณสมการเส้นตรง การใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นเพียงอย่างเดียวกับการนำวิธีการแยกส่วนประกอบเข้ามาคำนวณ มีความแตกต่างกันของทั้ง 2 วิธี โดยการประเมินด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นมีความไม่แน่นอนสูงกว่า เนื่องจากข้อมูล R_p ในแต่ละเดือนส่งผลต่อสมการเส้นตรง ทำให้อัตราการเสื่อมสมรรถนะมีการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างมากเมื่อทำการเพิ่มจำนวนข้อมูล R_p ในวิธีการแยกส่วนประกอบได้ใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เพื่อลดการกระจายของข้อมูลการผลิต R_p ก่อนที่จะคำนวณหาสมการเส้นตรงด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้น ทำให้อัตราการเสื่อมสมรรถนะไม่มีการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างไม่ปกติ เนื่องจากค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เป็นการเฉลี่ยข้อมูลในช่วงเวลาหนึ่ง ทำให้ลดความผิดพลาดจากข้อมูล R_p ที่ไม่คงที่จากฤดูกาลและแสงแดดได้ ส่งผลให้สามารถวางแผนการคาดการณ์กำลังการผลิตได้ดีขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่ให้การสนับสนุนด้านการให้ข้อมูลการผลิต เครื่องมือ และสถานที่ทำการวิจัย จนงานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] International Energy Agency. 2022. Solar PV. IEA, Paris. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.iea.org/reports/solar-pv>. (เข้าถึงเมื่อ 12 กุมภาพันธ์ 2566)
- [2] Hocine, L. and K. M. Samira. 2019. Optimal PV Panel's end-life assessment based on the supervision of their own aging evolution and waste management forecasting. Solar Energy 191: 227–234.
- [3] Peng, Z., M. R. Herfatmanesh and Y. Liu. 2017. Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimisation. Energy Conversion and Management 150: 949–955.
- [4] Dhimish, Mahmoud, and Abdullah Alrashidi. 2020. "Photovoltaic Degradation Rate Affected by Different Weather Conditions: A Case Study Based on PV Systems in the UK and Australia" Electronics 9, no. 4: 650.
- [5] Phinikarides, A., N. Kindyni, G. Makrides and G.E. Georghiou. 2014. Review of photovoltaic degradation rate methodologies. Renewable Sustain Energy Review 40: 143–152.
- [6] Sharma, V. and S.S. Chandel. 2013. Performance and degradation analysis for long term reliability of solar photovoltaic systems: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 27: 753–767.
- [7] Silvestre, S., A. Tahri, F. Tahri, S. Benlebna and A. Chouder. 2018. Evaluation of the performance and degradation of silicon-based photovoltaic modules in the Saharan environment. Energy 152: 57-63.
- [8] International Electrotechnical Commission. (1998). Photovoltaic system performance monitoring – Guidelines for measurement, data exchange and analysis IEC61724. IEC standard.
- [9] IEA PVPS Task 2. 2004. COUNTRY REPORTS ON PV SYSTEM PERFORMANCE. Report IEA-PVPS T2-05:2004
- [10] Hyndman, R.J. and Athanasopoulos, G. 2018. Forecasting: principles and practice, 2nd edition, OTexts: Melbourne, Australia.
- [11] พิระวุฒิ ชินวรรังสี, ศศิวิมล ทรงไตร, ณัฐกานต์ อุดมเดชาฉันทิ, ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์, อัครวิน หงษ์สิงห์ทอง, ทวีวัฒน์ กระจ่างสังข์, จรรย์ ศรีธาราธิคุณ และ กอบศักดิ์ ศรีประภา. 2563. การประเมินสมรรถนะและความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายเทคโนโลยีที่ติดตั้งบนหลังคาในประเทศไทย. วิศวกรรมลาดกระบัง, 32(2): 19-24.

การตรวจจับและจำแนกประเภทความผิดปกติในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ AdaBoost เปรียบเทียบกับ Gradient Boosting Fault Detection and Classification in Photovoltaic Systems using AdaBoost compared to Gradient Boosting

เสถียรวุฒิ ยิวเที่ยง¹ และ วาতিต เบนจพลกุล¹
Setthawut Yiw Chiang¹ and Watit Benjapolakul¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

¹Department of electrical engineering, Chulalongkorn University, Bangkok

*Corresponding author: Setthawut Yiw Chiang, e-mail address: 6270307621@student.chula.ac.th

บทคัดย่อ

การใช้พลังงานหมุนเวียนโดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้าได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์มีความผันผวนค่อนข้างสูงและเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติ ทำให้มีความท้าทายในการรวมเข้ากับระบบไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแบบดั้งเดิมซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าหลัก การเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้ระบบไฟฟ้า งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตรวจจับและจำแนกประเภทความผิดปกติในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ฝั่งกระแสตรงด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอัลกอริทึม AdaBoost และ Gradient Boosting ในการตรวจจับและจำแนกประเภทความผิดปกติ 4 ประเภท ได้แก่ การลัดวงจรระหว่างสาย การเปิดวงจร การบังเงาบางส่วน และการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ โดยการฝึกและทดสอบอัลกอริทึมที่มี 4 พารามิเตอร์ที่เป็นอินพุต ได้แก่ กระแสไฟฟ้าแต่ละสตริง แรงดันไฟฟ้าของระบบ กำลังไฟฟ้าของระบบ และความเข้มแสงซึ่งได้มาจากการจำลองความผิดปกติบนระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 180 W ที่ติดตั้งแบบ 2 สตริง สตริงละ 3 แผง และใช้การส่งข้อมูลแบบไร้สายด้วยเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย LoRa เพื่อประหยัดและลดความยุ่งยากในการใช้สายไฟต่อจากอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์มายังศูนย์ควบคุม จากการจำลองได้ข้อมูลความผิดปกติมาทั้งสิ้น 1,229 กรณี และใช้การแบ่งข้อมูลแบบ Holdout เพื่อแบ่งข้อมูลเป็นชุดฝึกและชุดทดสอบด้วยอัตราส่วน 70:30 โมเดลจำแนกประเภทความผิดปกติของ AdaBoost และ Gradient Boosting สร้างมาด้วยการใช้ภาษา Python บนโปรแกรม Anaconda ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโมเดล Gradient Boosting มีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทความผิดปกติภายใต้ชุดข้อมูลดังกล่าวได้ดีกว่า AdaBoost

คำสำคัญ: การตรวจจับความผิดปกติในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์, การจำแนกประเภทความผิดปกติในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์, การเรียนรู้ของเครื่อง, AdaBoost, Gradient Boosting

Abstract

Solar energy is increasingly popular for generating electricity. But solar energy has a high fluctuation and risks a fault occurring. This causes a challenge for combining with conventional power systems. The fault occurring in the photovoltaic system is one of the important factors to consider to increase the reliability of the power system. This research studies fault detection and classification on the DC-side of photovoltaic systems using machine learning and compares the performance of the AdaBoost and the Gradient Boosting algorithms in fault detection and classification. 4 Faults that are classified: short circuit (line-to-line fault), open circuit, partial shading, and degradation. The algorithm training and testing has 4 parameters as inputs: string current, system voltage, system power, and irradiance. The dataset of 4 parameters was get from the fault simulation on a stand-alone 180 W PV system (2 strings, 3 modules per string). LoRa wireless communication technology is used instead of wires to save and simplify data transmission. The fault simulation provides a total of 1,229 fault

cases. The Holdout technique was applied to divide into 70% training dataset and 30% testing dataset. The python in the anaconda program was used to produce AdaBoost and Gradient Boosting model. The experimental results show that the Gradient Boosting model is more effective at classifying faults under this dataset than the AdaBoost model.

Keywords: fault detection in photovoltaic systems, fault classification in photovoltaic systems, machine learning, AdaBoost, Gradient Boosting

1. บทนำ

เนื่องจากการตระหนักถึงสถานะโลกร้อนและความต้องการลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลที่เป็นพลังงานดั้งเดิมในการผลิตไฟฟ้า ความนิยมในการใช้พลังงานหมุนเวียนจึงเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่เติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาอย่างไรก็ตามการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ก็ยังมีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแบบดั้งเดิมซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าหลัก เนื่องจากความไม่แน่นอนและความเสี่ยงในการเกิดความผิดปกติ (Fault) ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการศึกษาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและปรับปรุงความเชื่อถือได้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นการตรวจจับและระบุตำแหน่งความผิดปกติในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่จะต้องพิจารณาและพัฒนาให้มีความแม่นยำและสามารถแก้ไขความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

การใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เป็นหนึ่งในเทคนิคที่สามารถตรวจจับและระบุประเภทความผิดปกติในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ [1] งานวิจัย [2] เสนอระบบสำหรับตรวจสอบความผิดปกติและการแยกประเภทความผิดปกติแบบออนไลน์ของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 5 kW โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าจริงกับกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าทางทฤษฎีสำหรับการตรวจสอบการเกิดความผิดปกติในระบบ และใช้เทคนิค Machine Learning มาจำแนกประเภทความผิดปกติที่เกิดขึ้นว่าเป็นความผิดปกติจากการเปิดวงจร (Open Circuit), ลัดวงจร (Short Circuit) การบังเงาบางส่วน (Partial Shading) หรือความเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ โดย Artificial Neural Network (ANN) มีความแม่นยำ 95.44% ซึ่งสูงสุดเมื่อเทียบกับ k-Nearest Neighbors (KNN), Decision Tree และ Support Vector Machine (SVM) งานวิจัย [3] เสนอวิธีการระบุจำนวนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกลัดวงจรในสตริงเดียวกัน โดยการใช้ ANN ที่มีเลเยอร์ซ่อนเพียงเลเยอร์เดียวและใช้ตัวแปรความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าฝั่งกระแสตรงของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยวิธีการที่เสนอนี้มีความแม่นยำ 97.9% ในการระบุจำนวนโมดูลที่ถูกลัดวงจรได้ตั้งแต่ 1 โมดูล จนกระทั่งเกิดการลัดวงจร 9 โมดูล จากจำนวนโมดูลในสตริง 10 โมดูล งานวิจัย [4] เสนอวิธีการตรวจจับและการระบุตำแหน่งความผิดปกติแบบลัดวงจรระหว่างสาย, ลัดวงจรระหว่างสายกับดิน (Line-Ground Fault) และการเปิดวงจร รวมถึงการแยกการบังเงาบางส่วนออกจากความผิดปกติอื่นๆ โดยใช้เพียงแคเซนเซอร์วัดแรงดันติดตั้งแต่ละสตริงและใช้เทคนิค Real-Time Difference Measurement (RDM) ซึ่งเป็นการวัดค่าพารามิเตอร์ที่เป็นแรงดันไฟฟ้าแบบเรียลไทม์เทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่วนการระบุตำแหน่งความผิดปกตินั้นใช้วิธีการแปลงเวฟเล็ต (Wavelet transform) และ ANN ระบุตำแหน่งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผิดปกติในแต่ละสตริง โดยวิธีการที่เสนอนี้มีความแม่นยำในการตรวจจับความผิดปกติ 99.14% และการระบุตำแหน่งความผิดปกติ 98.41%

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น เป็นการเสนอวิธีการตรวจจับและจำแนกประเภทความผิดปกติในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการใช้เครื่องมือ Machine Learning ที่เป็น Neural Network เป็นส่วนใหญ่ จากงานวิจัย [5] ได้มีการรวบรวมงานวิจัยที่ศึกษาการตรวจจับความผิดปกติในระบบไฟฟ้าเซลล์อาทิตย์ไว้บางส่วน โดยเครื่องมือทาง Machine Learning ที่นิยมใช้กัน ได้แก่ Extreme learning machine (ELM), SVM, Decision Tree, Random Forest, KNN และในช่วงหลังมีการนำการเรียนรู้ของเครื่องแบบเชิงลึก (Deep Learning) มาใช้มากขึ้น ได้แก่ ANN, Long short-term memory (LSTM), Convolutional neural network (CNN) เป็นต้น ซึ่งมีหนึ่งเทคนิคที่งานวิจัยข้างต้นไม่ได้กล่าวคือการใช้เทคนิค Boosting ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครื่องมือการเรียนรู้ของเครื่องที่ไม่ซับซ้อนได้ โดยเครื่องมือที่ใช้เทคนิค Boosting ที่นิยมนำมาใช้ในงานจำแนกประเภทได้แก่ AdaBoost และ Gradient Boosting (GB)

ในงานวิจัย [6] ได้เสนอ AdaBoost สำหรับการจำแนกประเภทความผิดปกติแบบลัดวงจร 3 แบบ ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ การลัดวงจรในสตริง, การลัดวงจรระหว่างสตริง, และการลัดวงจรจากสตริงถึงสายดิน ซึ่งพารามิเตอร์ที่เป็น

อินพุตให้ AdaBoost ได้แก่ กระแสรวมของระบบไฟฟ้า แรงดันรวมของระบบไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความเข้มแสง อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และความต้านทานขณะเกิดความผิดพลาด ในงานวิจัย [7] ได้มีการนำ GB มาร่วมทดสอบจำแนกประเภทความผิดพลาดในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ การลัดวงจร และการบังเงาบางส่วน โดยพารามิเตอร์ที่เป็นอินพุตให้ GB ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความเข้มแสง อุณหภูมิพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละโมดูล อุณหภูมิพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย และ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม โดยทั้งงานวิจัย [6] และ [7] ไม่ได้มีการนำ AdaBoost และ GB มาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการทำงาน สำหรับการจำแนกประเภทความผิดพลาดในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยไม่สามารถสรุปได้ว่า AdaBoost หรือ GB เครื่องมือใดจะจำแนกประเภทได้ดีกว่า ซึ่งความเหนือกว่าในการจำแนกประเภทของเครื่องมือทั้งสองจะขึ้นอยู่กับชุดข้อมูลที่นำมาฝึก

งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับและจำแนกประเภทความผิดพลาดในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทางฝั่งกระแสตรง โดยใช้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง AdaBoost และ GB ในการตรวจจับและจำแนกประเภทความผิดพลาด ได้แก่ การลัดวงจรระหว่างสาย [1] การเปิดวงจร [8] การบังเงาบางส่วน [1] และการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ [9] รวมทั้งสามารถแยกความผิดพลาดเหล่านี้ออกจากสถานะการทำงานปกติได้ สำหรับชุดข้อมูลที่นำมาฝึกและทดสอบให้กับ AdaBoost และ GB ได้จากการจำลองความผิดพลาดทั้ง 4 ประเภทข้างต้นบนระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 180 W ที่ติดตั้งแบบ 2 สตริง สตริงละ 3 แผง

2. วิธีการศึกษา

2.1 Adaptive Boosting และ Gradient Boosting

Boosting เป็นหนึ่งในเทคนิคของ Ensemble Learning (EL) ที่สร้างเครื่องมือจำแนกประเภทที่แข็งแกร่งจากการใช้การรวมกันของเครื่องมือจำแนกประเภทอย่างง่ายหลายตัว โดยจะทำงานต่อกันในลักษณะเป็นลูกโซ่ ซึ่งแต่ละตัวจะแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดจากแบบจำลองก่อนหน้า เครื่องมือจำแนกประเภทอย่างง่ายจะถูกเพิ่มจำนวนเข้าไปจนกว่าจะได้การคาดการณ์ที่แม่นยำหรือเป็นค่าความแม่นยำที่เหมาะสม [10-11]

2.1.1 Adaptive Boosting (AdaBoost) เป็นอัลกอริทึมหนึ่งของเทคนิค Boosting มักใช้กับเครื่องมือจำแนกประเภทอย่างง่าย (Weak Classifier) เช่น ต้นไม้ตัดสินใจมาฝึกต่อกันเป็นลูกโซ่ คือแต่ละต้นไม้ตัดสินใจจะแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้ตัดสินใจก่อนหน้า โดยการฝึกแต่ละรอบจะมีการกำหนดค่าน้ำหนักให้ข้อมูลแต่ละรายการ ถ้ามีการจำแนกประเภทผิดค่าน้ำหนักของข้อมูลรายการที่จำแนกผิดนั้นจะเพิ่มขึ้น ต้นไม้ตัดสินใจจะทำงานต่อกันแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าค่าผิดพลาดจะน้อยที่สุดหรือจนกว่าจะทำงานถึงจำนวนต้นไม้ตัดสินใจที่กำหนด [10-12]

2.1.2 Gradient Boosting (GB) เป็นอีกอัลกอริทึมหนึ่งของเทคนิค Boosting สามารถใช้ได้กับการวิเคราะห์การถดถอยและการจำแนกประเภท โดยนำ Weak Classifier มาทำงานต่อกันเป็นลูกโซ่เหมือนกับ AdaBoost แต่เปลี่ยนจากการปรับค่าน้ำหนักของรายการที่จำแนกผิดจาก Weak Classifier ก่อนหน้าเป็นการปรับค่าความผิดพลาดสะสมจาก Weak Classifier ก่อนหน้า โดยจะเพิ่ม Weak Classifier ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะสามารถลดค่าความผิดพลาดรวมของการจำแนกประเภทให้น้อยที่สุดหรือจนกว่าจะทำงานถึงจำนวน Weak Classifier ที่กำหนด ซึ่ง Weak Classifier ที่นิยมคือต้นไม้ตัดสินใจ [13-14]

2.2 การจำลองความผิดพลาดบนระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การจำแนกประเภทความผิดพลาดด้วย Machine Learning นั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่มาจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะตรวจจับ ไม่มีข้อมูลเป็นมาตรฐานเพื่อมาฝึกเครื่องมือทาง Machine Learning ให้เรียนรู้และสามารถตัดสินใจได้อย่างแม่นยำ [1]

งานวิจัยนี้ใช้พารามิเตอร์ 4 ชนิดสำหรับนำมาฝึกและทดสอบ AdaBoost และ Gradient Boosting ได้แก่ กระแสไฟฟ้าแต่ละสตริง แรงดันไฟฟ้าของระบบ กำลังไฟฟ้าของระบบ และความเข้มแสง สำหรับชุดข้อมูลของพารามิเตอร์ดังกล่าวได้มาจากการจำลองความผิดพลาดบนระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 180 W ที่ติดตั้งแบบ 2 สตริง สตริงละ 3 แผง โดยงานวิจัยนี้จะพิจารณาความผิดพลาด 4 ประเภท ตามขอบเขตดังนี้

1. การลัดวงจรระหว่างสาย พิจารณาแค่การลัดวงจรของแผงที่ 1 ของสตริงที่ 1 เท่านั้น
2. การเปิดวงจร พิจารณาแค่การเปิดวงจรที่สตริงที่ 1 เท่านั้น
3. การบังเงาบางส่วน พิจารณาแค่การเกิดการบังเงาที่แผงที่ 1 ของสตริงที่ 1 เท่านั้น
4. การเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ พิจารณาแค่การเสื่อมสภาพของสายของสตริงที่ 1 เท่านั้น

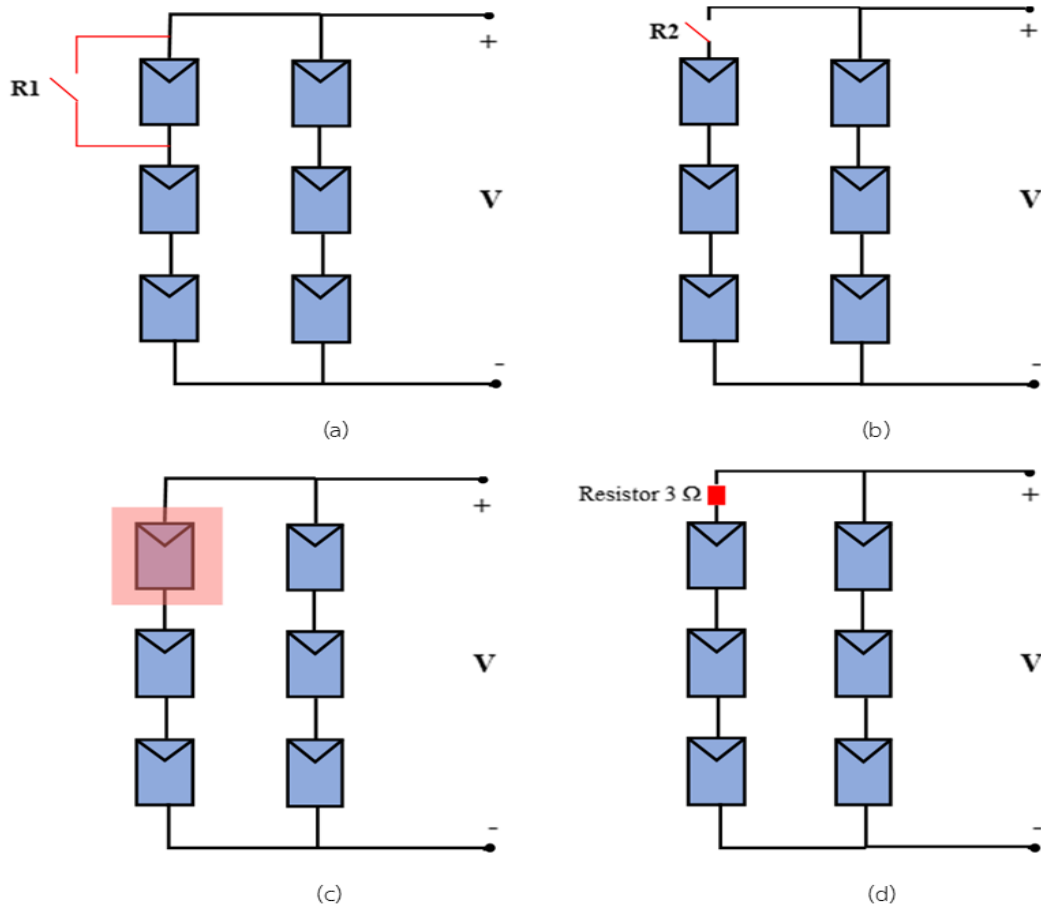


Figure 1 Simulation of faults in PV system; short circuit (a) open circuit (b) partial shading (c) and degradation (d).

การลัดวงจรระหว่างสายถูกจำลองขึ้นด้วยการใช้สวิตช์รีเลย์ต่อक्रमที่ 1 ของสตริงที่ 1 ดังรูปที่ 1(a) เช่นเดียวกับการเปิดวงจรก็นำสวิตช์รีเลย์มาต่อแบบอนุกรมที่สตริงที่ 1 เพื่อตัดวงจรดังรูปที่ 1(b) ในส่วนของการบังเงาบางส่วนนั้นถูกจำลองขึ้นด้วยการใช้แผ่นกันกระแทกคลุมที่แผงที่ 1 ของสตริงที่ 1 ดังรูปที่ 1(c) และการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ถูกจำลองขึ้นด้วยการต่อตัวต้านทานขนาด 3 Ω อนุกรมเข้ากับสตริงที่ 1 ดังรูปที่ 1(d)

นอกจากชุดข้อมูลจากความผิดพลาดดังที่กล่าวมาแล้ว การฝึกและทดสอบ Machine Learning ให้สามารถตรวจจับและจำแนกประเภทความผิดพลาดจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในสถานะการทำงานปกติมาฝึกด้วย เพื่อให้สามารถแยกความผิดพลาดประเภทต่างๆ ออกจากสถานะการทำงานปกติได้ รูปที่ 2 แสดงระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 180 W ที่ติดตั้งแบบ 2 สตริง สตริงละ 3 แผง โดยมีหลอดไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 15 W จำนวน 4 หลอดเป็นภาระไฟฟ้า (Load) รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการจำลองความผิดพลาดทั้ง 4 ประเภท



Figure 2 Laboratory small-scale PV system.

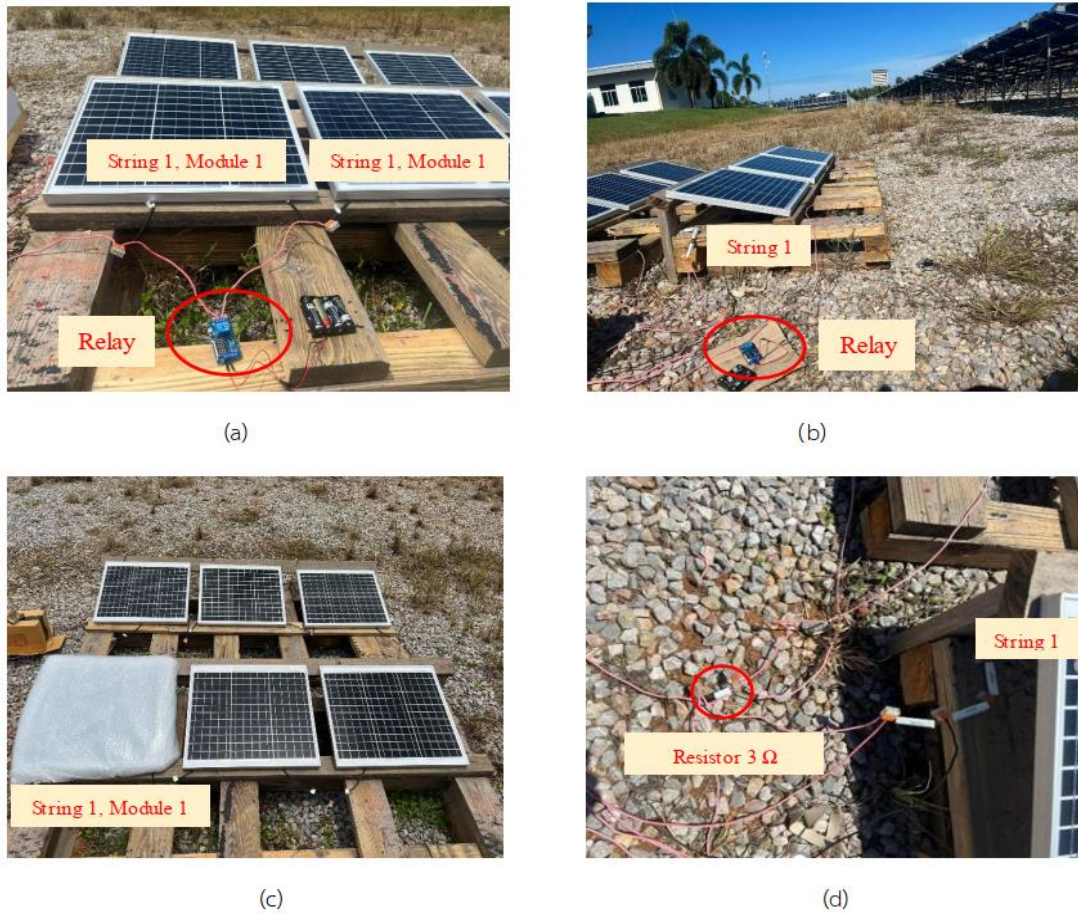


Figure 3 Experimental setting for faults simulation on the real PV system; short circuit (a), open circuit (b) partial shading (c) and degradation (d).

2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับนำมาฝึกและทดสอบ Machine Learning

งานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลกระแสไฟฟ้าแต่ละสตริง แรงดันไฟฟ้าของระบบ และกำลังไฟฟ้าของระบบด้วยการใช้เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าและเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 180 W ที่ติดตั้งแบบ 2 สตริง สตริงละ 3 แผง เมื่อได้ค่ากระแสไฟฟ้าแต่ละสตริงและแรงดันไฟฟ้าของระบบมาแล้ว ทำให้สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าของระบบได้จากสมการที่ 1

$$P = (I_1 + I_2) \times V \quad (1)$$

โดยที่ P คือ ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบ, I_1 คือ ค่ากระแสของสตริงที่ 1, I_2 คือ ค่าของกระแสสตริงที่ 2 และ V คือ ค่าแรงดันระบบ

ในส่วนข้อมูลความเข้มแสงได้จากเซนเซอร์วัดความเข้มแสงของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าในกำกับของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่ได้อนุญาตสถานที่ในการทดลองงานวิจัยนี้ โดยเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าต่ออนุกรมกับแต่ละสตริงและเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าต่อขนานกับแต่ละสตริง ดังแสดงในรูปที่ 4

การส่งค่ากระแสไฟฟ้าแต่ละสตริง แรงดันไฟฟ้าของระบบ และกำลังไฟฟ้าของระบบมายังคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลนั้นใช้การส่งข้อมูลแบบไร้สายด้วยเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย LoRa ซึ่งใช้พลังงานต่ำและสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ในระยะทางไกลประมาณ 15 กิโลเมตร อีกทั้งยังมีความไวในการรับสัญญาณและสามารถป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดี [15] ซึ่งการใช้เทคโนโลยี LoRa ทำให้ประหยัดและลดความยุ่งยากในการใช้สายไฟต่อจากอาเรียเซลล์แสงอาทิตย์มายังศูนย์ควบคุม ขั้นตอนการ

ส่งข้อมูลแสดงดังรูปที่ 5 ต้นทางการส่งข้อมูลคือเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ที่ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งส่งข้อมูลไปยัง Arduino โดยมี LoRa-RFM Shield ครอบ Arduino อยู่ LoRa-RFM Shield ทำหน้าที่เป็นลูกข่ายในการส่งข้อมูลด้วยเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย LoRa ไปยัง Gateway หลังจากนั้น Gateway จะยืนยันตัวตนของลูกข่ายและถอดรหัสสัญญาณด้วยแพลตฟอร์ม The Things Network ซึ่งทำหน้าที่บริหารจัดการโครงข่าย และสุดท้ายแสดงผลข้อมูลบน ThingSpeak Internet of Things โดยสามารถเก็บข้อมูลจาก ThingSpeak Internet of Things ในรูปแบบไฟล์ Excel ได้ทำให้สะดวกในการนำข้อมูลไปใช้งาน

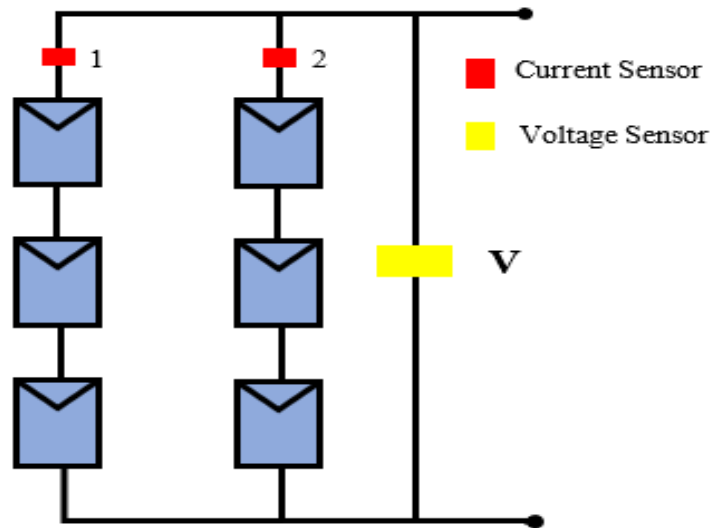


Figure 4 Current and voltage measurement.

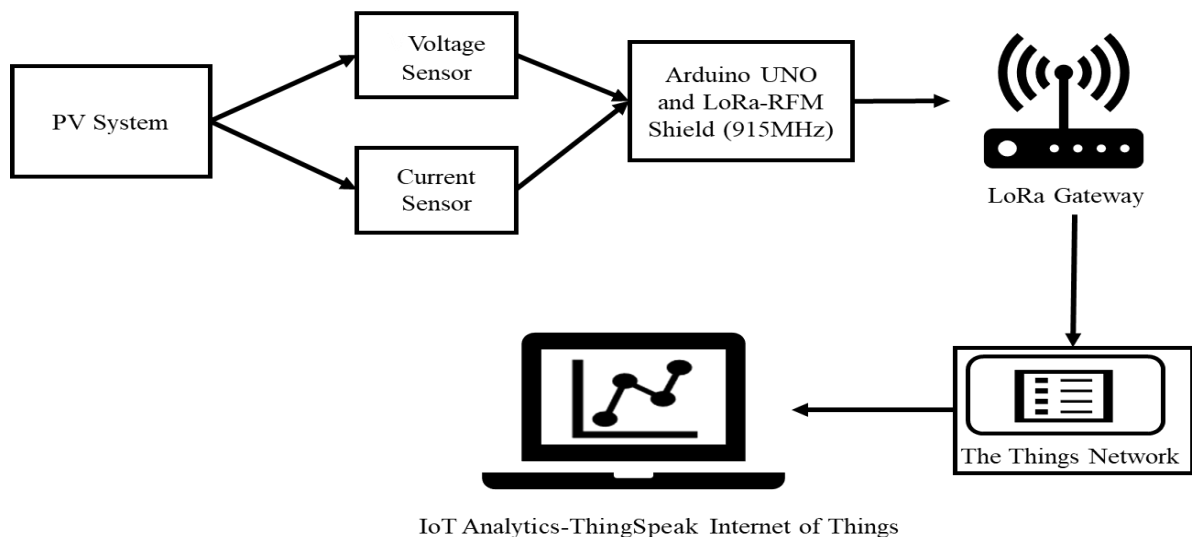


Figure 5 Data transmission process of PV system.

2.4 การฝึกและทดสอบ AdaBoost และ Gradient Boosting

งานวิจัยนี้ใช้ภาษา Python บนโปรแกรม Anaconda เพื่อสร้างโมเดล AdaBoost และ Gradient Boosting สำหรับจำแนกประเภทความผิดปกติในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการฝึกและทดสอบอัลกอริทึมทั้งสองใช้วิธีการ Holdout [16] คือการแบ่งข้อมูลเป็นสองชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลฝึก และชุดข้อมูลทดสอบ ซึ่งต้องไม่มีชุดข้อมูลทดสอบใดอยู่ในชุดข้อมูลฝึก โดยทั่วไป

นิยามกำหนดชุดข้อมูลฝึกประมาณ 2 ใน 3 ของชุดข้อมูลทั้งหมด ดังนั้นข้อมูลที่เหลือประมาณ 1 ใน 3 ของชุดข้อมูลทั้งหมดจึงเป็นชุดข้อมูลทดสอบ

จากการจำลองความผิดพลาดบนระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในหัวข้อ 2.2 ได้ชุดข้อมูลรวมทั้งสิ้น 1,229 กรณี โดยการกระจายของข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1 ดังนี้ การทำงานปกติ 300 กรณี คิดเป็น 24.41%, การลัดวงจรระหว่างสาย 233 กรณี คิดเป็น 18.96%, การเปิดวงจร 219 กรณี คิดเป็น 17.82%, การบังเงาบางส่วน 226 กรณี คิดเป็น 18.39% และการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ 251 กรณี คิดเป็น 20.42%

Table 1 Distribution of the PV fault dataset

Fault Type	Count	Percentage (%)
Normal	300	24.41
Short Circuit	233	18.96
Open Circuit	219	17.82
Partial Shading	226	18.39
Degradation	251	20.42
Total	1,229	100

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

ชุดข้อมูลที่ถูกจัดการแบบ Holdout มีอัตราส่วน 70:30 โดย 70% ของชุดข้อมูลทั้งหมดเป็นชุดข้อมูลสำหรับการฝึกอัลกอริทึม อีก 30% ของชุดข้อมูลทั้งหมดเป็นชุดข้อมูลสำหรับทดสอบความแม่นยำของโมเดล ดังนั้นจากชุดข้อมูลความผิดพลาดบนระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด 1,229 กรณี จะมีชุดข้อมูลฝึก 860 กรณี และชุดข้อมูลทดสอบ 369 กรณี โดยการกระจายของชุดข้อมูลฝึกและชุดข้อมูลทดสอบแสดงดังตารางที่ 2 ดังนี้ การทำงานปกติมีชุดข้อมูลฝึกและชุดข้อมูลทดสอบ 219 และ 81 กรณี ตามลำดับ, การลัดวงจรระหว่างสายมีชุดข้อมูลฝึกและชุดข้อมูลทดสอบ 148 และ 85 กรณี ตามลำดับ, การเปิดวงจรมีชุดข้อมูลฝึกและชุดข้อมูลทดสอบ 155 และ 64 กรณี ตามลำดับ, การบังเงาบางส่วนมีชุดข้อมูลฝึกและชุดข้อมูลทดสอบ 160 และ 66 กรณี ตามลำดับ และการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์มีชุดข้อมูลฝึกและชุดข้อมูลทดสอบ 178 และ 73 กรณี ตามลำดับ

Table 2 Distribution of training and testing dataset

Fault Type	Class	Training Dataset	Testing Dataset
Normal	0	219	81
Short Circuit	1	148	85
Open Circuit	2	155	64
Partial Shading	3	160	66
Degradation	4	178	73

3.1 การฝึกโมเดล AdaBoost และ Gradient Boosting

ฝึกโมเดล AdaBoost และ Gradient Boosting ให้สามารถจำแนกประเภทความผิดพลาดด้วยชุดข้อมูลฝึกในตารางที่ 2 โดย Hyperparameters ที่ทำให้แต่ละอัลกอริทึมมีความแม่นยำสูงสุดสำหรับชุดข้อมูลฝึกแสดงดังตารางที่ 3

ผลการฝึกโมเดล AdaBoost และ Gradient Boosting แสดงดังตารางที่ 4 โดย Gradient Boosting มีความแม่นยำอยู่ที่ 100% ซึ่งมากกว่า AdaBoost ที่มีความแม่นยำอยู่ที่ 92.9%

Table 3 Hyperparameters of each model for the machine learning algorithms

Model	Hyperparameters
AdaBoost	Estimator = Decision tree, number of estimators = 56, learning rate = 1, algorithm = SAMME.
Gradient Boosting	Default in scikit-learn module.

Table 4 Accuracy of each model in training dataset

Model	Accuracy (%)
AdaBoost	92.9
Gradient Boosting	100

3.2 การทดสอบโมเดล AdaBoost และ Gradient Boosting

การทดสอบนี้เป็นการนำชุดข้อมูลทดสอบมาให้โมเดล AdaBoost และ Gradient Boosting ที่ผ่านการฝึกมาแล้วทำนายว่าข้อมูลที่ป้อนเข้าไปทำให้เกิดความผิดปกติประเภทใด

รูปที่ 6 แสดง confusion matrix ของผลการทำนายประเภทความผิดปกติจำนวน 369 กรณี โดย AdaBoost จำแนกประเภทความผิดปกติถูก 342 กรณี ส่วน Gradient Boosting จำแนกประเภทความผิดปกติถูก 359 กรณี สังเกตว่าประเภทความผิดปกติที่ทั้งสองโมเดลจำแนกผิดค่อนข้างมาก คือ การทำงานปกติ การบังเงาบางส่วน และการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ เนื่องจากในบางช่วงความเข้มแสงทั้ง 3 ความผิดพร่องนี้มีค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงกันมาก ในส่วนของการตรวจจับความผิดปกติแบบลัดวงจรระหว่างสายชัดเจนว่า AdaBoost ดีกว่า Gradient Boosting ค่อนข้างมาก โดย AdaBoost ตรวจจับผิดพลาดไป 7 กรณี ซึ่ง Gradient Boosting ตรวจจับผิดพลาดเพียงแค่ 1 กรณี

		Predicted						Predicted						
		0	1	2	3	4	Σ	0	1	2	3	4	Σ	
Actual	0	69	0	0	6	6	81	0	76	0	0	0	5	81
	1	0	78	6	1	0	85	1	84	0	0	0	85	
	2	0	0	63	0	1	64	2 <td>0</td> <td>0</td> <td>64</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>64</td>	0	0	64	0	0	64
	3	3	0	0	62	1	66	3 <td>4</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>62</td> <td>0</td> <td>66</td>	4	0	0	62	0	66
	4	2	0	0	1	70	73	4 <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>73</td> <td>73</td>	0	0	0	0	73	73
		AdaBoost					Gradient Boosting							

Figure 6 Confusion matrix of AdaBoost and Gradient Boosting model for faults classification

ผลสรุปประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทของแต่ละความผิดพลาดแสดงดังตารางที่ 5 โดยเป็นการนำผลการจำแนกประเภทความผิดพลาดจาก confusion matrix ในรูปที่ 6 มาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Precision, Recall และ F1-score โดยคำอธิบายของทั้ง 3 ตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพมีดังต่อไปนี้

- Precision เป็นอัตราส่วนของจำนวนผลการทำนายที่ถูกต้องของคลาสที่พิจารณาต่อผลการทำนายทั้งหมดของคลาสที่พิจารณา [6]
- Recall เป็นอัตราส่วนของจำนวนผลการทำนายที่ถูกต้องของคลาสที่พิจารณาต่อข้อมูลจริงทั้งหมดของคลาสที่พิจารณา [6]
- F1-score เป็นค่าเฉลี่ยแบบฮาร์โมนิกระหว่าง Precision และ Recall [6]

จากตารางที่ 5 ไม่มีผลการจำแนกประเภทของความผิดพลาดใดเลยที่เปอร์เซ็นต์ Precision, Recall และ F1-score ของ AdaBoost จะมากกว่า Gradient Boosting โดยค่าเฉลี่ย Precision, Recall และ F1-score ของ AdaBoost คือ 92.6%, 93% และ 92.8% ตามลำดับ ส่วนของ Gradient Boosting คือ 97.6%, 97.4% และ 97.4% ตามลำดับ

Table 5 The performance of each model in testing dataset

Fault Type	Precision (%)		Recall (%)		F1-score (%)	
	AdaBoost	GB	AdaBoost	GB	AdaBoost	GB
Normal	93	94	85	94	89	94
Short Circuit	100	100	92	99	96	99
Open Circuit	91	100	98	100	95	100
Partail Shading	89	100	94	94	91	97
Degradation	90	94	96	100	93	97
Average	92.6	97.6	93	97.4	92.8	97.4

Table 6 Accuracy of each model in testing dataset

Model	Accuracy (%)
AdaBoost	92.7
Gradient Boosting	97.3

ตารางที่ 6 แสดงความแม่นยำของโมเดล AdaBoost และ Gradient Boosting ในการจำแนกประเภทความผิดพลาดของชุดข้อมูลทดสอบ โดยค่าความแม่นยำคืออัตราส่วนของจำนวนผลการทำนายที่ถูกต้องทั้งหมดต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด [6] ผลปรากฏว่า Gradient Boosting มีความแม่นยำ 97.3% ซึ่งมากกว่า AdaBoost ที่มีความแม่นยำ 92.7%

4. สรุป

การตรวจจับและระบุประเภทความผิดปกติมีความสำคัญต่อความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า งานวิจัยนี้จึงนำอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องอย่าง AdaBoost และ Gradient Boosting มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจจับและจำแนกประเภทความผิดปกติในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพิจารณาความผิดปกติ 4 ประเภท ได้แก่ การลัดวงจรระหว่างสาย การเปิดวงจร การบังเงาบางส่วน และการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ รวมทั้งแยกความผิดปกติเหล่านี้ออกจากสภาวะการทำงานปกติได้ โดยมีพารามิเตอร์ที่เป็นอินพุตให้กับอัลกอริทึม ได้แก่ กระแสไฟฟ้าแต่ละสตริง แรงดันไฟฟ้าของระบบ กำลังไฟฟ้าของระบบ และความเข้มแสง ซึ่งชุดข้อมูลของพารามิเตอร์ดังกล่าวได้มาจากการจำลองความผิดปกติบนระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 180 W ติดตั้งแบบ 2 สตริง สตริงละ 3 แผง จากการจำลองได้ข้อมูลความผิดปกติทั้งหมด 1,229 กรณี แบ่งเป็นชุดข้อมูลฝึก 860 กรณี และชุดข้อมูลทดสอบ 369 กรณี ผลลัพธ์จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า Gradient Boosting มีประสิทธิภาพในจำแนกประเภทความผิดปกติดีกว่า AdaBoost โดย Gradient Boosting มีค่าเปอร์เซ็นต์ของ precision, recall, F1-score และ Accuracy อยู่ที่ 97.6%, 97.4% 97.4% และ 97.3% ตามลำดับ ในขณะที่ AdaBoost มีค่าเปอร์เซ็นต์ของ precision, recall, F1-score และ Accuracy อยู่ที่ 92.6%, 93%, 92.8% และ 92.7% ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อ. ทับสะแก จ. ประจวบคีรีขันธ์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์สำหรับทำการทดลอง รวมถึงความรู้และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Pillai, D. S. and Rajasekar, N. 2018. A comprehensive review on protection challenges and fault diagnosis in PV systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 91: 18-40.
- [2] Lazzaretti, A. E., Da Costa, C. H., Rodrigues, M. P., Yamada, G. D., Lexinoski, G., Moritz, G. L., Oroski, E., de Goes, R. E., Linhares, R. R., Stadzisz, P. C., Omori, J. S. and dos Santos, R. B. 2020. A monitoring system for online fault detection and classification in photovoltaic plants. *Sensors*. 20: 4688.
- [3] Hussian, M., Dhimish, M., Titarenko, S. and Mather, P. 2020. Artificial neural network based photovoltaic fault detection algorithm integrating two bi-directional input parameters. *Renewable Energy*. 155: 1272-1292.
- [4] Ansari, s., Samet, H. and Ghanbari, T. 2021. Fault Location in Solar Farms. *IEEE System Journal*. 15: 4003-4012.
- [5] Feng, C., Liu, Y. and Zhang, J. 2021. A taxonomical review on recent artificial intelligence applications to PV integration into power grids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 132: 107176.
- [6] Ghoneim, S. S. M., Rashed, A. E. and Elkalashy, N. I. 2021. Fault Detection Algorithms for Achieving Service Continuity in Photovoltaic Farms. *Intelligent Automation and Soft Computing*. 30: 467-479.
- [7] Kapucu, C. and Cubukcu, M. 2021. A supervised ensemble learning method for fault diagnosis in photovoltaic strings. *Energy*. 227: 120463.
- [8] Nieto, A. E., Ruiz, F. and Patiño, D. 2019. Characterization of electric faults in photovoltaic array systems. *DYNA (Colombia)*. 86: 54-63.
- [9] Chen, Z., Chen, Y., Wu, L., Cheng, S. and Lin, P. 2019. Deep residual network based fault detection and diagnosis of photovoltaic arrays using current-voltage curves and ambient conditions. *Energy Conversion and Management*. 198: 111793.
- [10] Brownlee, J. 2020. Boosting and AdaBoost for Machine Learning. *Machine Learning Mastery*. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://machinelearningmastery.com/boosting-and-adaboost-for-machine-learning/> (เข้าถึงเมื่อ 17 ธันวาคม 2565).
- [11] ชิตพงษ์ กิตตินราดร. 2563. Machine Learning บทที่ 11: Boosting. Github.com. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://guopai.github.io/ml-blog11.html> (เข้าถึงเมื่อ 17 ธันวาคม 2565).
- [12] Jaichuen, S. 2019. AdaBoost Algorithm. *sirawichjaichuen.medium.com*. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://sirawichjaichuen.medium.com/adaboost-algorithm-cfe6b58e60fa> (เข้าถึงเมื่อ 17 ธันวาคม 2565).
- [13] Shetty, C. 2020. Gradient Boosting Technique. *pub.towardsai.net*. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://pub.towardsai.net/gradient-boosting-technique-b3dbb7069b74> (เข้าถึงเมื่อ 17 ธันวาคม 2565).
- [14] Brownlee, J. 2020. A Gentle Introduction to the Gradient Boosting Algorithm for Machine Learning. *Machine Learning Mastery*. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://machinelearningmastery.com/gentle-introduction-gradient-boosting-algorithm-machine-learning/> (เข้าถึงเมื่อ 17 ธันวาคม 2565).
- [15] ชัชชัย คุณบัว. 2562. IoT : สถาปัตยกรรมการสื่อสาร Internet of Things. พิมพ์ครั้งที่ 1. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพมหานคร.
- [16] โกเมต อัมพวัน. 2562. การจำแนกประเภทและการทำนายข้อมูล. *Data mining-การทำเหมืองข้อมูล*. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://staff.informatics.buu.ac.th/~komate/886464/%5B6%5D-Classification.pdf> (เข้าถึงเมื่อ 10 มกราคม 2566).

การบริหารจัดการพลังงานด้วยระบบควบคุมสภาพอากาศอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี Energy Management with Smart Climate Control System in Strawberry Greenhouse

สรารุช พลวงษ์ศรี¹ ชาวโรจน์ ใจสิน¹ อัครินทร์ อินทนิเวศน์¹ ธงชัย มณีชูเกตุ¹ ภาณุวิชญ์ พุทธรักษา¹ และสุลักษณา มงคล^{1*}
Sarawut Polwongsri¹, Chawaroj jaisin¹, Akarin Intaniwet¹, Thongchai Maneechukate¹, Panuwit Puttaraksa¹
and Suluksana Mongkon^{1*}

¹หน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ (SEE-U) วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
¹Smart Energy and Environmental Research Unit School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รีด้วยระบบตรวจวัดและควบคุมสภาพอากาศอัจฉริยะ โรงเรือนที่ใช้ในการศึกษาหลังคาแบบเพิงแหงน มีขนาดกว้าง 6 m ยาว 12 m และสูง 4.6 m ในโรงเรือนมีรางปลูกสตรอว์เบอร์รีจำนวน 5 ราง โรงเรือนใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ ร่วมกับพัดลมระบายอากาศจำนวน 2 ตัว มีระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ระบบตรวจวัดสภาพอากาศ และระบบควบคุมสภาพอากาศเชื่อมต่อผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP32) เพื่อแปลงและจัดเก็บข้อมูลไว้กับ Blynk IoT cloud server การควบคุมแบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไข ได้แก่ อุณหภูมิอากาศมากกว่า 28 °C ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำทำงานร่วมกับพัดลมระบายอากาศ 1 ตัว และอุณหภูมิอากาศมากกว่า 32 °C ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำจะทำงานร่วมกับพัดลมระบายอากาศ 2 ตัว แล้วนำผลมาเปรียบเทียบกับกรณีการระบายอากาศแบบตั้งเวลาทำงาน จากการศึกษาพบว่า ระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าและสภาพอากาศบริเวณโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี สามารถแสดงผลและบันทึกข้อมูลผ่านระบบ Blynk Cloud Server ได้ สำหรับระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในเดือนมกราคม 18.5 % เดือนกุมภาพันธ์ได้ 12.2 % และในเดือนมีนาคมได้ 2.2 % คิดเป็นผลประหยัดเฉลี่ย 692 บาท/รอบ มีเงินลงทุนของระบบควบคุมสภาพอากาศ 1,200 บาท มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 2 รอบต่อการปลูก

คำสำคัญ: โรงเรือน ปลูกสตรอว์เบอร์รี ระบบควบคุมอัจฉริยะ ระบบแสดงผล Blynk IoT พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง

Abstract

The purpose of this research is to manage the energy of a strawberry greenhouse using a smart climate sensing and control system. The greenhouse used for the study has a peaked roof type with dimensions of 6 meters wide, 12 meters long, and 4.6 meters high. It contains 5 rows of strawberry plants. The greenhouse is equipped with an evaporative cooling system and 2 ventilation fans. An energy metering system, weather monitoring system, and climate control system are connected through a microcontroller (ESP32) to convert and store data to the Blynk IoT cloud server. The control is divided into two conditions: when the air temperature is over 28 °C, the evaporative cooling system operates with one ventilation fan; and when the air temperature is over 32 °C, the evaporative cooling system operates with two ventilation fans. The results were then compared to the case of timed ventilation. The study found that electrical energy and weather monitoring data around the strawberry greenhouse can be displayed and saved through the Blynk Cloud Server system. While, the greenhouse environment control system reduced energy consumption by 18.5 % in January, 12.2 % in February, and 2.2 % in March, resulting in an average saving of 692 baht per planting cycle. The investment in the climate control system was 1,200 baht, and the payback period was no more than 2 planting cycles.

Keywords: Greenhouse, The strawberry, Smart Control, Blynk IoT monitoring system, Energy saving

1. บทนำ

การปลูกพืชในโรงเรือนแบบระบบปิดสามารถลดปัญหาในด้านต่าง ๆ ให้กับพืชได้ เช่น โรคระบาด ศัตรูพืช ผลกระทบที่เกิดจากพายุฝน นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมสภาวะในการปลูกพืชชนิดนั้น ๆ ด้วย แต่ในขณะที่ในเวลากลางวันเมื่อรังสีอาทิตย์ส่องผ่านเข้ากับตัวโรงเรือนในระบบปิดจะเกิดการสะสมความร้อนในโรงเรือนทำให้มีอุณหภูมิอากาศสูงและความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำทำให้พืชเกิดความเสียหายและเจริญเติบโตช้า จำเป็นต้องมีระบบระบายอากาศในโรงเรือนโดยระบบที่นิยมนำมาใช้เป็นระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำร่วมกับพัดลมระบายอากาศ เช่น นิติรงค์ พงษ์พานิช ศึกษาโรงเรือนที่มีระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำสำหรับลดอุณหภูมิอากาศพบว่าสามารถลดอุณหภูมิลงได้ 4-6 °C จากอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน [1] และ Romantchik ศึกษากระบวนการทำความเย็นแบบระเหยของโรงเรือนปลูกพืชพบว่าสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยได้เท่ากับ 5 °C [2] ขณะที่ระบบระบายอากาศสามารถช่วยในการระบายอากาศในโรงเรือนได้แต่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำและพัดลมระบายอากาศทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้น เกษตรกรจึงนิยมใช้การตั้งเวลาเพื่อควบคุมการทำงานของระบบระบายอากาศโดยสังเกตจากฤดูกาลของแต่ละพืชที่ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาบริหารจัดการฟาร์มเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาระบบควบคุมที่แม่นยำทันสมัยหรือที่เรียกว่าระบบควบคุมอัจฉริยะ โดยมีการนำเอาเทคโนโลยีทางด้านอุปกรณ์การวัดสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนเข้ามาใช้เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนตามเงื่อนไขที่พืชชนิดนั้นต้องการ ในงานวิจัยของเบญจพล เรืองศักดิ์ ได้ศึกษาโรงเพาะเห็ดฟางควบคุมความชื้นและอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยการทดลองชุดควบคุมความชื้นและอุณหภูมิของโรงเพาะเห็ดฟางโดยวัดที่อุณหภูมิ 28 °C จนถึงที่อุณหภูมิ 30 °C [3] นอกจากควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแล้วยังมีการควบคุมระบบภายในโรงเรือน เช่น ในงานวิจัยของ ธนากร น้ำหอมจันทร์ และอติกร เสรีพัฒนานนท์ ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปรย์ละอองน้ำแบบอัตโนมัติ ซึ่งระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถเริ่มและหยุดการทำงานได้ตามเวลาที่กำหนดไว้ และสามารถสั่งให้ระบบการทำงานทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำและระบบสเปรย์ละอองน้ำทำงานตามเงื่อนไข [4] อุณหภูมิและเวลาที่กำหนดไว้เช่นเดียวกับ งานวิจัยของปัทมพันธ์ อิศรานนทกุล และชานาญ รักพงษ์ ได้จัดทำระบบควบคุมการให้น้ำเห็ดนางฟ้าภูฐานแบบพ่นหมอกด้วยระบบ ปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยใช้ Node MCU ESP8266 ร่วมกับ DHT22 เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นในการควบคุมปริมาณน้ำสำหรับพ่นหมอก ผ่านแอปพลิเคชันแอนดรอยด์ [5]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมอัจฉริยะสำหรับบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนปลูกสตอร์วเบอร์รี่ด้วยการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ระบบตรวจวัดสภาพอากาศ และระบบควบคุมสภาพอากาศเชื่อมต่อกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ ESP32 โดยถูกนำมาแปลงค่าและจัดข้อมูลในรูปแบบ Blynk format เพื่อติดต่อฝากข้อมูลกับ Blynk server ที่เชื่อมต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต IoT ในการแสดงผลและบันทึกข้อมูล

2. วิธีการศึกษา

การศึกษาพัฒนาระบบตรวจวัดและระบบควบคุมสภาพอากาศสำหรับโรงเรือนปลูกสตอร์วเบอร์รี่ผ่านระบบ IoT Cloud Sever มีขั้นตอนและกระบวนการ พัฒนาระบบตรวจวัดสภาพอากาศและตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า พัฒนาระบบแสดงผลข้อมูลแบบออนไลน์ และพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับพัดลมระบายอากาศ โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 โรงเรือนปลูกสตอร์วเบอร์รี่

โรงเรือนปลูกสตอร์วเบอร์รี่จัดสร้างขึ้น ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ เป็นโรงเรือนหลังคาแบบเพิงแหงน (Lean-to) มีขนาดกว้าง 6 m ยาว 12 m และสูง 4.6 m ในโรงเรือนมีรางปลูกสตอร์วเบอร์รี่จำนวน 5 ราง ทำการติดตั้งระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำที่มีพื้นที่ 10.8 m² ปริมาณน้ำสำหรับหมุนเวียนน้ำในระบบทำความเย็นขนาด 746 W ร่วมกับพัดลมระบายอากาศขนาด 1,100 W จำนวน 2 ตัว ดัง Figure 1

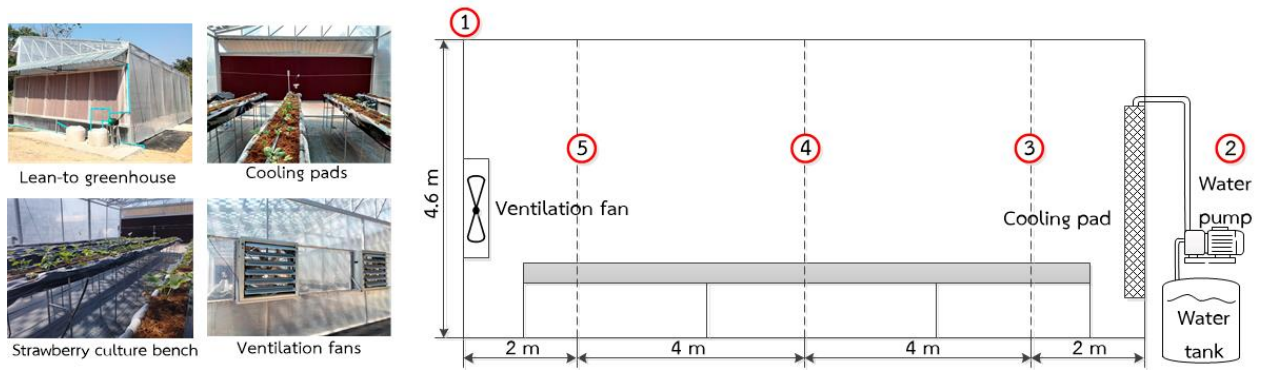


Figure 1 Configuration of Strawberry greenhouse

2.2 พัฒนาระบบตรวจวัดสภาพอากาศและตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าและระบบแสดงผลข้อมูลแบบออนไลน์

ในงานวิจัยได้พัฒนาระบบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าประกอบด้วยอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP32) ทำงานร่วมกับเซนเซอร์วัดพลังงานไฟฟ้า Single Phase PZEM-016 – 220VAC 50/60 Hz โดยอาศัยการรับส่งข้อมูลแบบ RS485 ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์สามารถตรวจวัดตัวแปรทางไฟฟ้าต่าง ๆ ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าสะสม และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า สำหรับการตรวจวัดสภาพอากาศการทำงานเริ่มต้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP32) อ่านข้อมูลจากเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (AM2301) มีการส่งข้อมูลในรูปแบบ OneWire ซึ่งเป็นข้อมูลแบบดิจิทัล ที่ต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง สามารถสื่อสารทางอินเทอร์เน็ตได้โดยผ่านการเชื่อมต่อ Wi-Fi จึงสามารถส่งข้อมูลการตรวจวัดไปแสดงผ่านระบบ Cloud Server Blynk แสดงใน Figure 2 โดยมีการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศจำนวน 4 จุด แบ่งเป็นจุดที่ 2 บริเวณด้านนอกโรงเรือน และด้านในโรงเรือนจุดที่ 3 4 และ 5 ที่ระยะห่างจากแผ่นระเหยน้ำ 2 m 6 m และ 10 m ตามลำดับ แสดงใน Figure 1

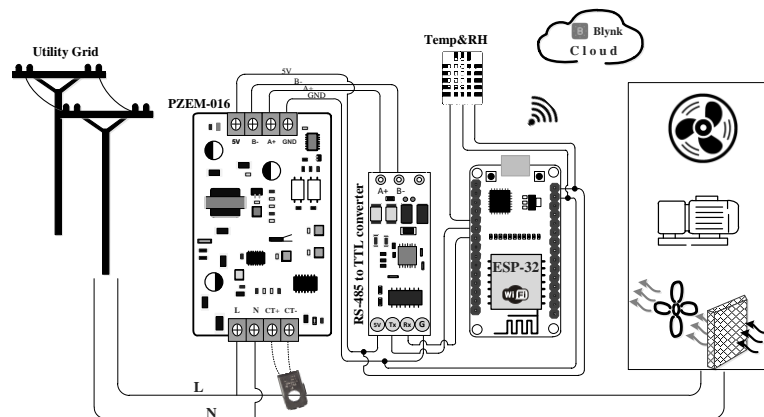


Figure 2 Environment and electric power monitoring system

2.3 พัฒนาระบบควบคุมสภาพอากาศอัจฉริยะ

การพัฒนาระบบควบคุมสภาพอากาศอัจฉริยะในโรงเรือนสำหรับจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงเรือน อาศัยเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศเชื่อมต่อกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ ESP32 โดยอุณหภูมิอากาศ ณ จุดที่ 4 (Figure 1) ที่อยู่บริเวณกลางโรงเรือนเป็นตัวแทนของสภาพอากาศสำหรับควบคุมการทำงาน เงื่อนไขที่ 1 ถ้าอุณหภูมิอากาศมากกว่า 28 °C ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำจะทำงานร่วมกับพัดลมระบายอากาศ 1 ตัว (กำลังไฟฟ้า 1.6 kW) เงื่อนไขที่ 2 ถ้าอุณหภูมิอากาศมากกว่า 32 °C ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำจะทำงานร่วมกับพัดลมระบายอากาศ 2 ตัว (กำลังไฟฟ้า 2.7 kW) การทำงานเริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP32) อ่านข้อมูลจากเซนเซอร์ AM2301 มีการประมวลผลข้อมูล เมื่อประมวลผลข้อมูลได้ค่าตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้เลยที่เชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมจะทำงานเพื่อจ่ายสัญญาณไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์ที่ต่อเข้ากับพัดลมระบายอากาศและปั๊มไหลเวียนน้ำดัง Figure 3 โดยในการศึกษาระบบควบคุมสภาพอากาศในโรงเรือนได้นำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการพัฒนาระบบตรวจวัดใน Figure 2 มาเปรียบเทียบกับกรใช้พลังงานกรณีตั้งเวลาทำงานของ

ระบบโดยการประเมินแบบจำลองการตั้งเวลาจากการสอบถามข้อมูลจากเกษตรกรที่ใช้งานระบบควบคุมแบบตั้งเวลา ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ดัง Table 1 สำหรับการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ 1 ใช้ตามเงื่อนไขที่ 1 เนื่องจากเป็นช่วงเช้าอุณหภูมิอากาศยังคงมีค่าต่ำและช่วงเวลาที่ 2 วิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าตามเงื่อนไขที่ 2

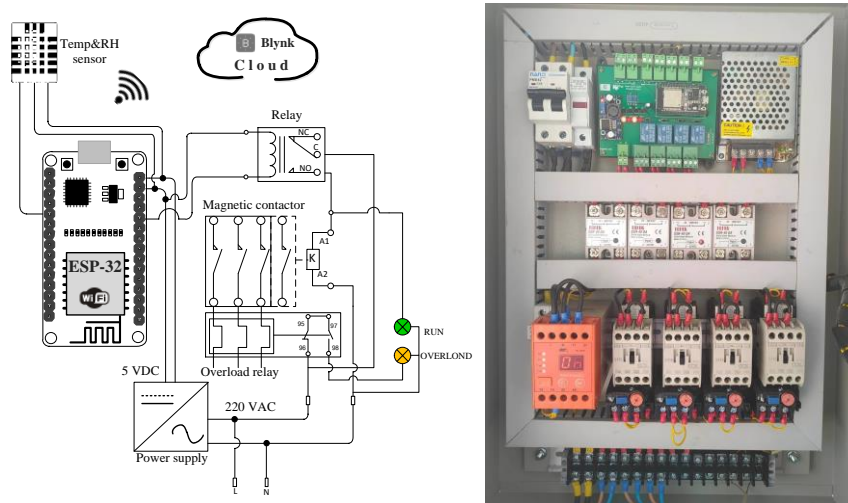


Figure 3 Smart control system

Table 1 Scheduling time for energy analysis

Month	Duration 1 (1.7 kW)	Duration 2 (2.6 kW)
January	10:00-12:00 น.	12:00-16:30 น.
February	9:00-11:00 น.	11:00-17:00 น.
March	8:00-10:00 น.	10:00-18:00 น.

จากนั้นนำข้อมูลวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า ดังสมการดังต่อไปนี้

$$P=(I \times V \times pf) \quad (1)$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า (kW), V คือ แรงดันไฟฟ้า (V), I คือ กระแสไฟฟ้า (A) และ pf คือ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของภาระโหลดในโรงเรือนหลังการติดตั้งระบบควบคุมได้ดังสมการต่อไปนี้

$$E_{after}=(P \times \Delta t) \quad (2)$$

เมื่อ E_{after} คือ = พลังงานไฟฟ้าหลังติดตั้งระบบควบคุม (kWh), Δt คือ ระยะเวลาทำงานของเครื่องเติมอากาศ (hour) ขณะที่การวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบควบคุมอัจฉริยะสามารถวิเคราะห์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$E_{save}=(E_{before} - E_{after}) \quad (3)$$

เมื่อ E_{save} คือ ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า (kWh), E_{before} พลังงานไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบ (kWh) และสามารถคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อเดือนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Electric\ coin = E_{save} \times Coin \quad (4)$$

เมื่อ Electric coin คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (bath), Coin คือราคาค่าพลังงานไฟฟ้าปัจจุบัน (bath/kWh)

2.4 พัฒนาระบบแสดงผลข้อมูลแบบออนไลน์

การพัฒนาระบบแสดงผลข้อมูลค่าสภาพอากาศและค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบตรวจวัดและควบคุมการทำงานในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่โดยใช้สมาร์ตโฟนเชื่อมต่อกับ Blynk platform [6] การทำงานเริ่มจากพัฒนาโปรแกรม Blynk library ร่วมกับโปรแกรมอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์จากนั้นอัปโหลดลงไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 โดยข้อมูลที่ตรวจวัดได้จะถูกนำมาแปลงค่าและจัดข้อมูลในรูปแบบ Blynk format เพื่อติดต่อฝากข้อมูลกับ Blynk server ที่เชื่อมต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต IoT ดัง Figure 4

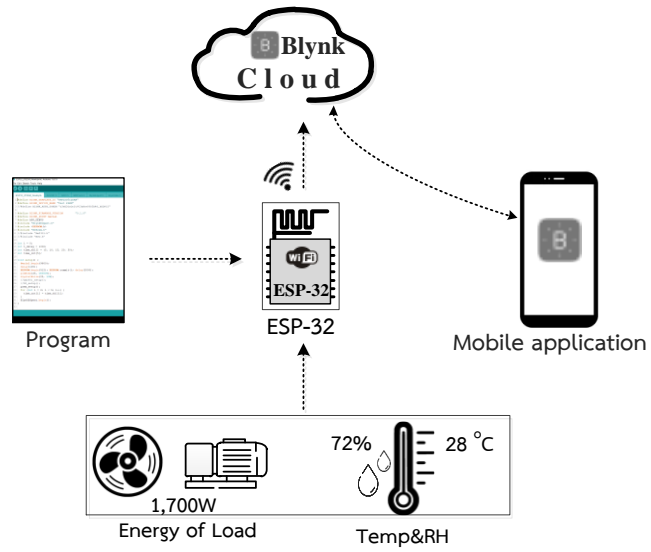


Figure 4 Information and monitoring system

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาระบบตรวจวัดของโรงเรือน

จากการติดตามผลการตรวจวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของโรงเรือนที่มีระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำร่วมกับพัดลมระบายอากาศ โดยมีผลการตรวจวัดประกอบไปด้วย ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ค่ากำลังไฟฟ้าของภาระโหลดทางไฟฟ้าของโรงเรือน แสดงผลการตรวจวัดดังต่อไปนี้

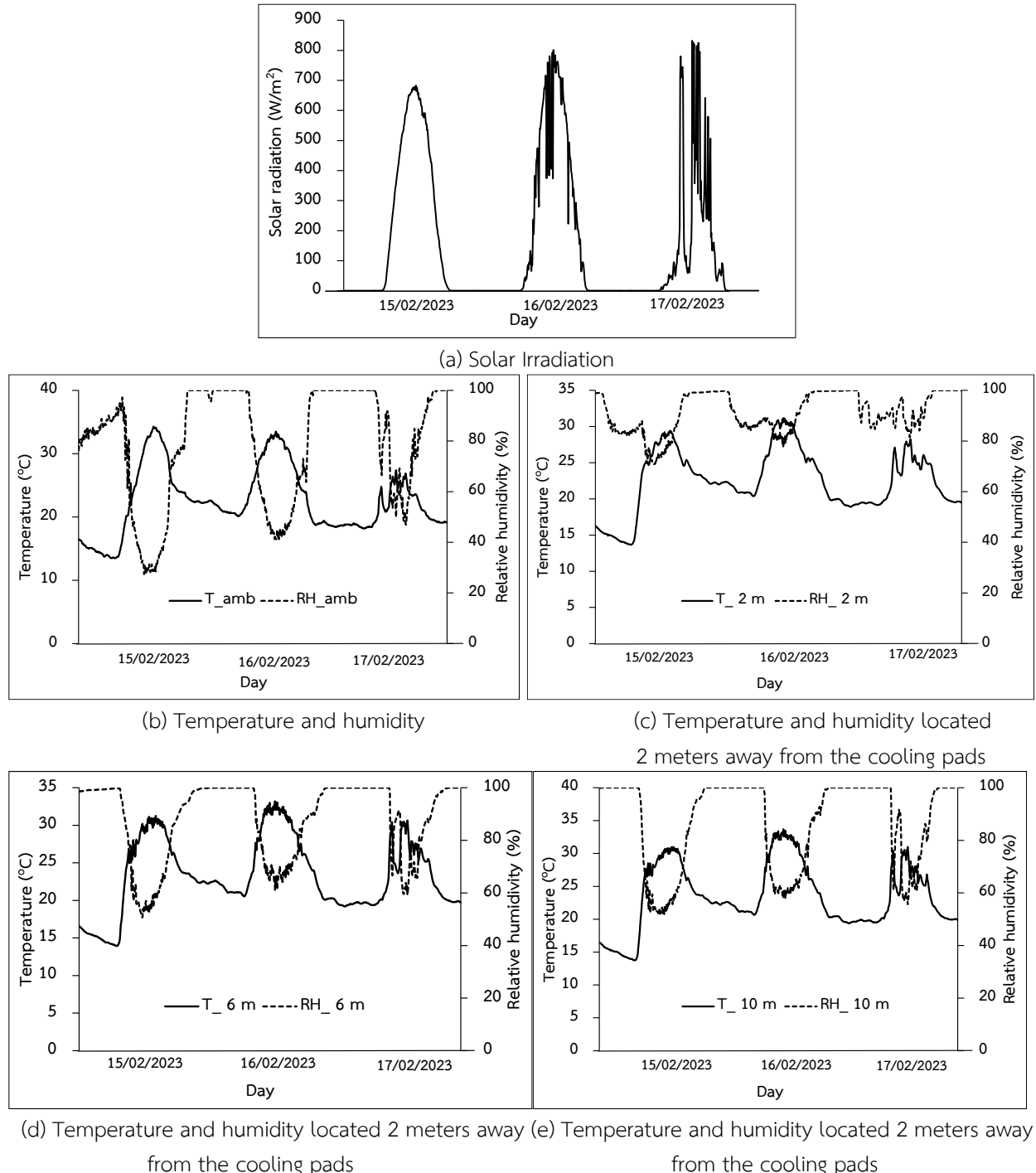


Figure 5 Solar radiation and environment in Greenhouse

Figure 5 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นรังสีอาทิตย์และการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพอากาศบริเวณโรงเรือน โดยนำตัวอย่างผลการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 15-17 กุมภาพันธ์ 2023 พบว่า วันที่ 15 ก.พ. 2023 มีท้องฟ้าโปร่งใสความชื้นรังสีอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 683 W/m^2 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 422.9 W/m^2 ในวันที่ 16 ก.พ. 2023 ท้องฟ้ามีเมฆเล็กน้อยทำให้มีการแกว่งของค่ารังสีอาทิตย์ขณะที่วันที่ 17 ก.พ. 2023 ท้องฟ้ามีเมฆค่อนข้างเยอะโดยความชื้นรังสีอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 801.5 W/m^2 และ 832

W/m^2 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $435.9 W/m^2$ และ $251 W/m^2$ ตามลำดับ สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมและด้านในโรงเรือนที่ระยะห่างจากแผ่นระเหยน้ำ 2 m 6 m และ 10 m พบว่า ค่าอุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำสุดทั้ง 3 วัน เกิดขึ้นในเวลาประมาณ 4:00-5:00 น. มีค่าประมาณ $13-14 ^\circ C$ ขณะเดียวกันค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศค่าสูงสุดเท่ากับ 99 % ซึ่งแปรผกผันกับอุณหภูมิอากาศ จากนั้นอากาศบริเวณโรงเรือนที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากความเข้มรังสีอาทิตย์เกิดการสะสมความร้อนในอากาศทำให้อุณหภูมิอากาศมีค่าสูงขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์อากาศลดลง โดยอุณหภูมิอากาศด้านนอกโรงเรือนในช่วงเวลากลางวันมีค่าสูงสุด $34.3 ^\circ C$ และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำสุด 27.4 % เกิดขึ้นในวันที่ 15 ก.พ. 2023 เนื่องจากมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ค่อนข้างดีไม่มีเมฆ ขณะที่อุณหภูมิอากาศสูงสุดในโรงเรือนที่ระยะห่างจากแผ่นระเหยน้ำ 2 m 6 m และ 10 m มีค่าเท่ากับ 29.4 31.0 และ $31.3 ^\circ C$ ตามลำดับ และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำสุดเท่ากับ 70.8 51.9 และ 51 % ตามลำดับ สังเกตได้ว่าที่ระยะห่างจากแผ่นระเหยน้ำ 2 m มีค่าอุณหภูมิอากาศที่ต่ำและความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่สูงกว่าที่ระยะอื่น ๆ เนื่องจากมีความสามารถในการทำความเย็นของระบบที่สูการถ่ายเทความร้อนในจุดนี้จึงมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระยะอื่น ๆ สำหรับการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงข้อมูลพฤติกรรมการทำงานของภาระทางไฟฟ้าใน Figure 6

3.2 ผลการศึกษาสมรรถนะระบบควบคุมอัจฉริยะ

การศึกษาศมรรถนะของระบบควบคุมอัจฉริยะ สำหรับการควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำร่วมกับพัดลมระบายอากาศ ได้นำเสนอข้อมูลพฤติกรรมของภาระทางไฟฟ้าในการควบคุมอุณหภูมิอากาศของโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รีนำไปเปรียบเทียบกับกรณีทำงานของภาระทางไฟฟ้าด้วยการตั้งเวลาทำงาน และได้นำเสนอข้อมูลในเดือน มกราคม 2566 กุมภาพันธ์ 2566 และ มีนาคม 2566 ดัง Figure 6

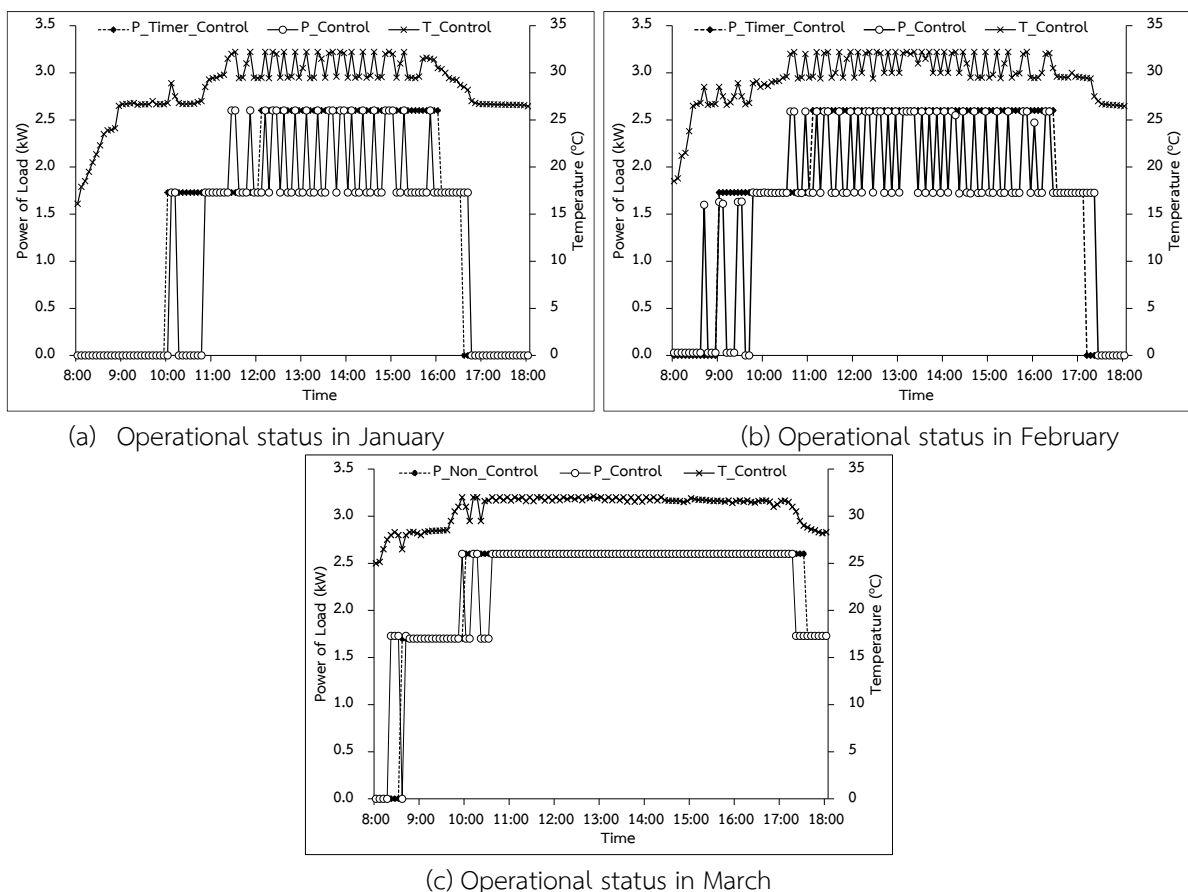


Figure 6 Operational status of load

Figure 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงสถานะทำงานของภาระโหลดทางไฟฟ้าของระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศอัจฉริยะเปรียบเทียบกับสถานะทำงานของภาระโหลดทางไฟฟ้าด้วยการตั้งเวลาในการทำงานพบว่า ตัวแทนข้อมูลสถานะการทำงานของภาระโหลดทางไฟฟ้าในเดือนมกราคมสถานะภาระทางไฟฟ้าของการระบายอากาศเริ่มทำงาน ณ เวลา 10:00 น. ตามเงื่อนไขที่ 1

(ระบบทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับพัดลมระบายอากาศ 1 ตัว) อุณหภูมิอากาศมีค่ามากกว่า 28 °C ใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 1.7 kW เมื่อระบบทำงานไประยะหนึ่งค่าอุณหภูมิมีค่าต่ำกว่าเงื่อนไขการระบายอากาศก็หยุดทำงาน จากนั้นเริ่มทำงานอีกครั้ง ณ เวลา 10:45 น. ตามเงื่อนไขที่ 1 และเมื่ออุณหภูมิอากาศในโรงเรือนสูงถึง 32 °C ณ เวลา 11:45 น. ระบบควบคุมอัจฉริยะสั่งการทำงาน ของระบบอากาศตามเงื่อนไขที่ 2 (ระบบทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับพัดลมระบายอากาศ 2 ตัว) ใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 2.6 kW จากนั้นระบบควบคุมทำงานสลับตามเงื่อนไขที่ 1 กับเงื่อนไขที่ 2 จนถึงเวลาประมาณ เวลา 16:00 น. และทำงานเฉพาะเงื่อนไขที่ 1 จนถึง 17:10 น. ในการทำงานของระบบควบคุมอัจฉริยะเดือนกุมภาพันธ์เริ่มทำงาน ณ เวลา 8:45 น. ตามเงื่อนไขที่ 1 เนื่องจากในเดือนกุมภาพันธ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้มีการทำงานที่เร็วขึ้น โดยมีการทำงานตามเงื่อนไขที่ 1 สลับกับการหยุดทำงานจนถึง เวลา 9:45 น. จากนั้นทำงานต่อเนื่องจนถึง 10:45 น. อุณหภูมิอากาศในโรงเรือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและสูงกว่า 32 °C ระบบควบคุมอัจฉริยะทำงานตามเงื่อนไขที่ 2 เมื่อมีอุณหภูมิลดลงจะทำงานตามเงื่อนไขที่ 1 โดยทำงานสลับกันจนถึงเวลา 16:45 น. และทำงานเฉพาะเงื่อนไขที่ 1 จนถึงเวลา 17:30 น. สำหรับในเดือนมีนาคมระบบควบคุมเริ่มทำงานตามเงื่อนไขที่ 1 ตั้งแต่เวลา 8:30-10:00 น. หลังจากนั้นอุณหภูมิมีค่าสูงจนถึงเงื่อนไขที่ 2 พัดลมระบายอากาศเริ่มทำงาน 2 ตัว ทำให้อุณหภูมิลดลงแต่ไม่ต่ำกว่า 28 °C ทำให้เงื่อนไขที่ 1 ยังคงทำงานอยู่ โดยทำงานสลับกับเงื่อนไขที่ 2 แต่ทำงานสลับกันเป็นเวลาสั้นๆ จนถึง 10:30 น. ระบบระบายอากาศทำงานเฉพาะเงื่อนไขที่ 2 จนถึงเวลาประมาณ 17:20 น. และทำงานตามเงื่อนไขที่ 1 ต่อจนถึง 18:00 น. สังเกตได้ว่าในเดือนมีนาคมมีค่าอุณหภูมิแวดล้อมที่สูงสุดเนื่องจากเป็นเดือนที่เข้าสู่ฤดูร้อนของภาคเหนือทำให้การทำงานของระบบควบคุมอัจฉริยะมีการทำงานใกล้เคียงกับการตั้งเวลา ซึ่งสามารถวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากการใช้ระบบควบคุมอัจฉริยะเทียบกับกรณีตั้งเวลาทำงาน ดังแสดงใน Figure 7 และตารางที่ 2

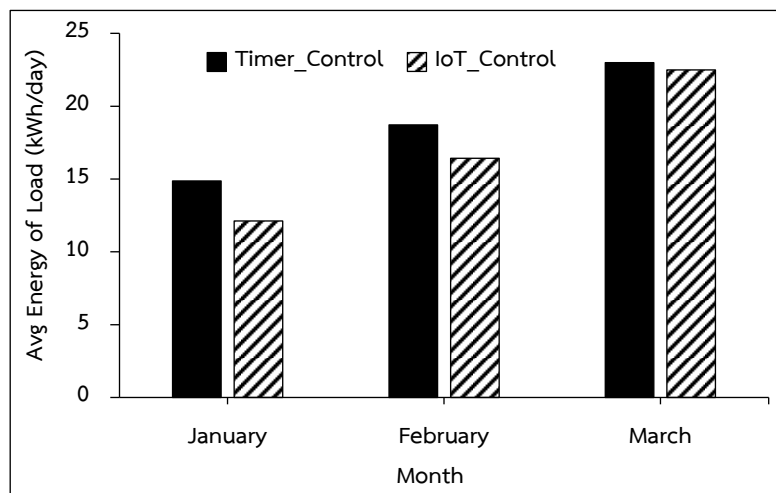


Figure 7 Energy consumption of load

Figure 7 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันในแต่ละเดือนของภาระทางไฟฟ้าที่ใช้กับระบบระบายอากาศในโรงเรือนของกรณีระบบทำงานโดยการตั้งเวลาเปรียบเทียบกับระบบควบคุมสภาพอากาศอัจฉริยะพบว่า ในเดือนมกราคมกรณีระบบระบายอากาศตั้งเวลาในการทำงาน 2 ช่วงเวลาตาม Table 1 โดยในช่วงเวลาที่ 1 ใช้กำลังไฟฟ้า 1.7 kW และในช่วงเวลาที่ 2 ใช้กำลังไฟฟ้า 2.6 kW คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าเท่ากับเฉลี่ย 14.87 kWh/day กรณีติดตั้งระบบควบคุมอัจฉริยะใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับเฉลี่ย 12.12 kWh/day สามารถประหยัดพลังงานได้ 18 % สำหรับในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคมใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยกรณีตั้งเวลาทำงานเท่ากับ 18.71 kWh/day และ 23 kWh/day ตามลำดับ กรณีติดตั้งระบบควบคุมอัจฉริยะใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับเฉลี่ย 16.42 kWh/day และ 22.5 kWh/day ตามลำดับ สามารถประหยัดพลังงานได้ 12.2 % และ 2.2 % ตามลำดับ

Table 2 Energy saving

Month	Energy save [kWh/month]	Minimum Temp [°C]	Maximum Temp [°C]
January	85.25	15.6	32.4
February	64.12	17.6	34.5
March	15.5	21.9	37.6

Table 2 แสดงผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อเดือนหลังจากติดตั้งระบบควบคุมสภาพอากาศอัจฉริยะ และค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุดในช่วงเวลาตั้งแต่ 8:00-18:00 น. บริเวณโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ที่ใช้ในการศึกษาพบว่า ในเดือนมกราคมมีค่าอุณหภูมิอากาศต่ำสุดเนื่องจากอยู่ในช่วงฤดูหนาวสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบควบคุมสภาพอากาศได้ 85.25 kWh/month จากนั้นอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในเดือนกุมภาพันธ์และมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคมทำให้สามารถลดใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 64.12 kWh/month และ 15.5 kWh/month ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นระบบควบคุมมีการใช้พลังงานที่สูงขึ้นและใกล้เคียงกับกรณีตั้งเวลาการทำงาน ซึ่งในการศึกษาการปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในหนึ่งรอบการปลูกตั้งแต่ในเดือน ธันวาคม-มีนาคม สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยได้มากกว่า 164.87 kWh/รอบ คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ประมาณ 692 บาท/รอบ มีการลงทุนในระบบควบคุมอัจฉริยะประมาณ 1,200 บาท คิดเป็นระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 2 รอบการปลูก อย่างไรก็ตามนอกจากวิชาการบริหารจัดการด้านพลังงานของสภาวะในโรงเรือนด้วยระบบควบคุมอัจฉริยะแล้ว ในอนาคตควรมีการศึกษารเปรียบเทียบของผลผลิตสำหรับการควบคุมสภาวะทั้งสองรูปแบบ รวมทั้งการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อให้นักวิจัยมีความสมบูรณ์ทั้งด้านพลังงานและด้านการเกษตร

3.3 ผลการพัฒนาระบบตรวจวัดผ่านระบบ Blynk IoT

จากการทดสอบการแสดงผลข้อมูลพารามิเตอร์ของการพัฒนาระบบตรวจวัดผ่านระบบ Blynk IoT ในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตบนเครือข่าย Blynk IoT cloud server สามารถแสดงข้อมูลทางกายภาพต่างๆ ของโรงเรือน ประกอบด้วย การแสดงผลการตรวจวัดทางไฟฟ้า จากพลังงานไฟฟ้าของภาระโหลด พร้อมกับการแสดงผลสภาพอากาศและการควบคุมภายในโรงเรือน เช่น ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือน ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ระยะห่างจากแผ่นระเหยน้ำ 2 m 6 m และ 10 m รวมถึงการควบคุมการเปิด-ปิด พัดลมระบายอากาศภายในโรงเรือนแสดงดัง Figure 8

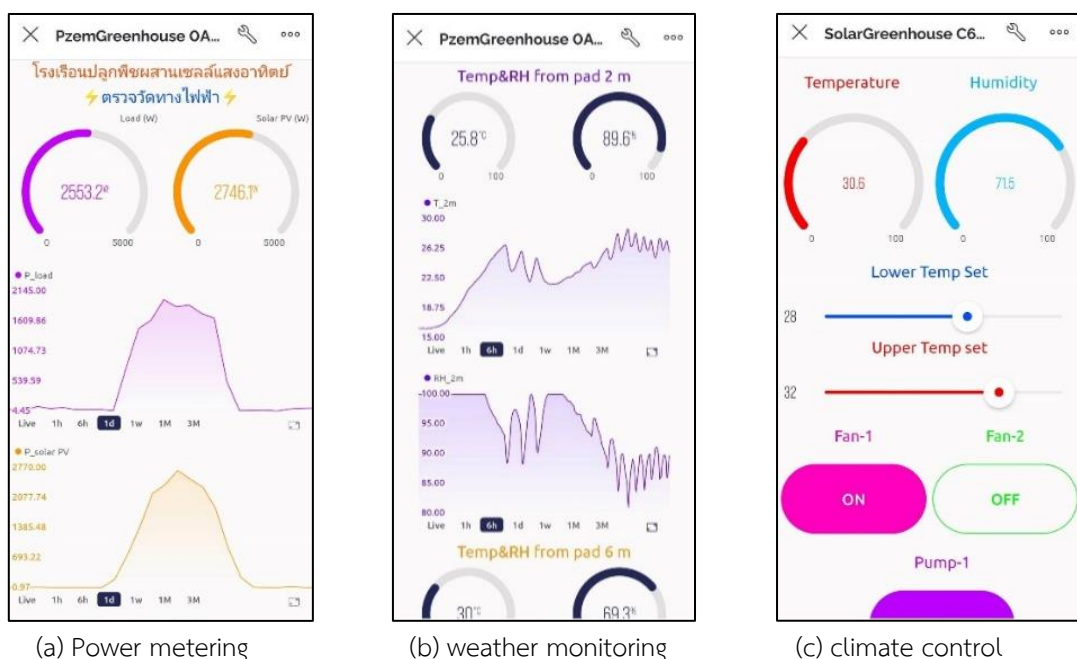


Figure 8 Information monitoring via the Blynk IoT system

Figure 8 แสดงตัวอย่างการส่งข้อมูลไปยังระบบ Blynk IoT พบว่า Figure 8 (a) แสดงการส่งข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของภาระโหลดทางไฟฟ้าของระบบระบายอากาศในโรงเรือนโดยแสดงค่ากำลังไฟฟ้าแบบตามเวลา (real time) และแสดงเป็นกราฟข้อมูลบนแอปพลิเคชัน Blynk ด้วย Figure 8 (b) แสดงการส่งข้อมูลระบบตรวจวัดสภาพอากาศแวดล้อมโดยบนแอปพลิเคชัน Blynk แสดงค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ด้านนอกโรงเรือนและด้านในโรงเรือนที่ระยะห่างจากแผ่นระเหยน้ำ 2 m 6 m และ 10 m ซึ่งใน Figure 8 (b) เป็นตัวอย่างของข้อมูลอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ระยะห่างจากแผ่นระเหยน้ำ 2 m สามารถส่งข้อมูลและกราฟข้อมูลแบบตามเวลา (real time) ได้เช่นเดียวกับกับการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของภาระโหลด สำหรับ Figure 8 (c) แสดงรูปแบบการควบคุมการระบายอากาศตามเงื่อนไขอุณหภูมิบนระบบ Blynk IoT พบว่าอุณหภูมิอากาศมีค่าเท่ากับ 30.6 °C ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขที่ 1 โดยถ้าอุณหภูมิอากาศมากกว่า 28 °C พัดลมระบายอากาศทำงาน 1 ตัว (Fan-1) ร่วมกับปั๊มน้ำของระบบทำความเย็นแบบระเหย (Pump-1) และสังเกตได้ว่าเมื่อพัดลมและปั๊มน้ำทำงานสถานะบนมือถือจะแสดงเป็น ON ขณะที่พัดลมตัวที่ 2 แสดงเป็น OFF เนื่องจากค่าอุณหภูมิอากาศสำหรับระบบควบคุมการทำงานยังมีค่าต่ำกว่าเงื่อนไขที่ 2 ที่ตั้งไว้คือ 32 °C

4. สรุปผลการศึกษา

การพัฒนาาระบบตรวจวัดและควบคุมอัจฉริยะของโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ ผ่านระบบ IoT โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานในการอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศ เพื่อควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับพัดลมระบายอากาศ พร้อมกับแสดงข้อมูลผลตรวจวัดผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยผ่านแอปพลิเคชัน Blynk IoT ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลค่าการตรวจวัดสภาพอากาศและพลังงานไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชัน Blynk IoT รวมทั้งสามารถตั้งค่าการทำงานของสภาพอากาศตามเงื่อนไขที่ต้องการได้ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ได้ 164.87 kWh/รอบ คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ประมาณ 692 บาท/รอบ คิดเป็นระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 2 รอบการปลูก

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ภายใต้แผนงานอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน กลุ่มงานศึกษา ค้นคว้าวิจัย นวัตกรรม และสาธิตต้นแบบ ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการต้นแบบโรงเรือนปลูกพืชผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสง ขอขอบพระคุณหน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้คำแนะนำและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษามา ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] นิตินรงค์ พงษ์พานิช และคณะ. 2558. การพัฒนาและทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนแบบ Evaporative cooling. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558.
- [2] Romantchik, E., Rios, E., Sanchez, E., Lopez, I. and Sanchez, J.R. 2017. Determination of energy to be supplied by photovoltaic systems for fan-pad systems in cooling process of greenhouse. Applied Thermal Engineering, 114(1161-1168).
- [3] เบลูจพล เรืองศักดิ์ และ ณัฐวุฒิ ชันมิ่ง. (2559). ระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นในโรงเพาะเห็ดด้วย ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต: คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] ธนกร น้ำหอมจันทร์ และอดิกร เสรีพัฒนานนท์. (2557). ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปรย์ ละอองน้ำแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบควบคุมเชิง.
- [5] ปัทมนันท์ อิศรานนทกุล และชำนาญ รักพงษ์. (2562). ระบบควบคุมการให้น้ำเห็ดนางฟ้าภูฐานแบบพ่นหมอกด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์. JIST Journal of Information Science and Technology Volume 9, pp 1-8.
- [6] Blynk IoT platform. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://blynk.iot>. (สืบค้นวันที่ 24 มีนาคม 2566)

การศึกษาารูปแบบของอุปกรณ์หนีบจับทุเรียนและเวลาการทำงานเพื่อใช้ร่วมกับแขนกลบรรจุทุเรียนลงกล่อง The study of the picking durian machine and its duration when using with

the mechanical arm for packing durians into the box

สรวิทย์ ปันศีล¹ และ ปัญญา แดงวิไลลักษณ์¹

Sorrawut Punseen^{1*} and Panya Daungwilailux¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ชุมพร

¹Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok

*Corresponding author: Sorrawut Punseen, e-mail address: pai40639999@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันหุ่นยนต์ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการปฏิรูประบบการผลิต ทั้งยังช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิตสินค้าและบริการภายในโรงงาน หรือสถานประกอบการให้เป็นไปอย่างราบรื่น เทียบตรงแม่นยำ รวมถึงการลดขั้นตอนและเพิ่มความเร็วของกระบวนการผลิต ช่วยลดต้นทุนของผู้ประกอบการ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ได้สร้างกริปเปอร์หนีบจับทุเรียนและวิธีการบรรจุทุเรียนใส่กล่องที่ความเร็วต่างๆ โดยได้มีการบรรจุทุเรียน 2 แบบ คือการบรรจุโดยไม่ใช้การหน่วงขณะปล่อยทุเรียนที่ความเร็ว 100 200 300 และ 400 มิลลิเมตรต่อวินาที การบรรจุโดยใช้การหน่วงเวลาขณะปล่อยทุเรียนเป็นเวลา 1 วินาที ใช้ความเร็วการเคลื่อนที่ 100 200 300 400 500 600 800 และ 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที ขณะปล่อยทุเรียนเพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งในการวางทุเรียน กำหนดความคลาดเคลื่อนการวางทุเรียนจากตำแหน่งเดิมไม่เกิน 5 มิลลิเมตร เพื่อหาความเร็วการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองพบว่ากริปเปอร์โดยไม่ใช้การหน่วงเวลา ใช้ความเร็วได้สูงสุดที่ 300 มิลลิเมตรต่อวินาที และการบรรจุโดยใช้การหน่วงเวลาขณะปล่อยทุเรียน เป็นเวลา 1 วินาที ใช้ความเร็วได้สูงสุดที่ 1,000 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ: กริปเปอร์, หุ่นยนต์, ทุเรียน, การหน่วง

Abstract

Nowadays, robots plays an important role in reformation of manufacturing system, In addition, it helps manufacturing product process development and industry or organization services to be smoothly, precisely and accurately also reduce manufacturing process and expedite manufacturing, in addition, it helps entrepreneur reduce cost to receive efficient product. In the study created gripper for gripping durians and the study was researching about containing durians into the box with various of speed. There are 2 types of containing durians. Firstly, durians were contained without delay at 100 200 300 and 400 mm/second .Secondly, durians were contained with delay during durians were released by using movement speed at 100 200 300 400 500 600 800 and 1000 mm/second during durians were released to compare discrepancy of position that durians were placed, determined discrepancy of position that durians were placed on original position didn't exceed 5 mm. to search for appropriate speed of movement. The experiment showed that durians were contained without delay using speed maximum at 300 mm/second and durians were contained with delay during durians were released by using movement speed maximum at 1000 mm/second which is the most appropriate speed.

Keywords: gripper, robot, durian, delay

1. บทนำ

“ทุเรียน”เป็นผลไม้ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว มีเปลือกหนา หนามแหลม มีกลิ่นที่โดดเด่น มี รสชาติอร่อย เป็นที่นิยมบริโภคกันโดยทั่วไป และเป็นผลไม้เศรษฐกิจ ที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย โดยในปี 2564 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกประมาณ 837,290 ไร่ ได้ผลผลิตประมาณ 1,283,593 ตัน เทียบกับปี 2563 มีพื้นที่ปลูกอยู่ที่ 791,165 ไร่ ผลผลิตทุเรียนใช้บริโภคภายในประเทศร้อยละ 40 และส่งออกร้อยละ 60 ตลาดต่างประเทศที่สำคัญคือ จีน ไต้หวัน ฮองกง และอินโดนีเซีย มูลค่าการส่งออกทุเรียนของไทยในปี ตลอด 2 ปีที่ผ่านมา คือ 6,2007,300 และ 12,400 ล้านบาท สำหรับทุเรียนไทยมีความต้องการของตลาดจีนที่เพิ่มขึ้น ทำให้การส่งออกทุเรียนในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (ปี 2559-2563) มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยปริมาณเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 14.62 ต่อปี และมูลค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 34.31 ต่อปี[1] ปัญหาสำคัญของการผลิตทุเรียน นอกจากปัญหาทางด้านการเกษตร และการบำรุงรักษาต้นทุเรียน แล้ว ยังมีปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อมูลค่าของทุเรียนคือ คุณภาพผลผลิต และราคา[2]

แขนกลเป็นหุ่นยนต์ชนิดหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้งานในวงการอุตสาหกรรมการผลิต ได้ถูกนำมาใช้แทนแรงงานมนุษย์ในงานที่ต้องทำอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง งานที่ต้องทำซ้ำ ๆ กันตลอดเวลา งานที่เป็นอันตราย งานที่หนักและยากเกินที่มนุษย์จะทำได้ ซึ่งแขนกลประกอบด้วยประกอบด้วย ฐาน ท่อนชิ้นที่เป็นของแขนกล ข้อต่อจุดหมุน ปลายของแขน โดยแบ่งแขนกลออกเป็น 4 ประเภท 1.แขนกล Articulate ทำงานคล้ายแขนของมนุษย์ นิยมใช้ในงานเชื่อมประกอบชิ้นงาน และจัดวางสินค้า 2.แขนกล SCARA เหมาะสำหรับงานประกอบชิ้นส่วนและบรรจุภัณฑ์ 3. แขนกล Cartesian นิยมใช้ในเครื่อง CNC เครื่องพิมพ์ 3D และงานง่าย ๆ อย่างเช่นเครื่องเจาะ เป็นต้น 4.แขนกล เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมอาหารหรือการผลิตที่มีชิ้นงานวิ่งมาตามสายพาน[3] งานวิจัยในปัจจุบันมีการพัฒนากริปเปอร์บริเวณปลายแขนกลอย่างต่อเนื่องเพื่อประยุกต์ใช้กับงานหลายประเภท[4] เช่น การออกแบบและการวิเคราะห์กริปเปอร์แบบปรับความแข็งได้[5] แนวทางการออกแบบสำหรับกริปเปอร์แบบอ่อนสำหรับงานหนัก[6] กริปเปอร์หุ่นยนต์แบบ 2 นิ้วหนีบจับหลายจุดเชื่อมต่อ[7] การพัฒนาแขนกลสามารถเพิ่มเทคโนโลยีและพัฒนาโปรแกรมที่ช่วยด้านการมองเห็นเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรตั้งงานวิจัย การพัฒนาและประเมินภาคสนามของหุ่นยนต์เก็บสตอร์รี่ด้วยกริปเปอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยสายเคเบิล มีการใช้กล้อง RGB-D เพื่อช่วยในขั้นตอนเก็บเกี่ยว พบว่าเกิดความสำเร็จของการเก็บเกี่ยว 96.8 เปอร์เซ็นต์ [8]

ผลไม้สดทุกชนิดสามารถคงความสดอยู่ได้ไม่เกิน 20 วัน ดังนั้นต้องใช้การขนส่งที่เหมาะสมกับผลไม้แต่ละชนิด โดยการขนส่งหลัก ๆ แบ่งออกเป็น 1.การขนส่งทางบก ระยะเวลาการจัดส่งอาจคลาดเคลื่อนได้ เหมาะกับการขนส่งสินค้าในระยะทางสั้น 2.การขนส่งทางอากาศ ทำการขนส่งได้รวดเร็วกว่าการขนส่งประเภทอื่นๆ สะดวกและปลอดภัย เหมาะกับการขนส่งสินค้าประเภทที่สูญเสียง่าย เช่น ผัก ผลไม้ ดอกไม้ แต่จะมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าการขนส่งทางอื่น 3.การขนส่งทางน้ำ สามารถขนส่งได้ปริมาณมากเป็นสินค้าที่ยากแก่การเสียหาย มีอัตราค่าขนส่งถูกกว่าการขนส่งประเภทอื่น สามารถส่งได้ระยะไกล แต่การจัดส่งจะใช้เวลาานาน ดังนั้นการขนส่งผลไม้สดทางทะเลจากประเทศไทย ส่วนใหญ่จึงมักจะมีการตั้งค่าอูณหภูมิต่ำเป็นบวก ตั้งแต่ 2-15 องศาเซลเซียสและเนื่องจากทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีการคายความร้อนสูง การจัดเก็บทุเรียนในตู้สินค้าห้องเย็นก็จำเป็นต้องมีการเปิดช่องระบายอากาศ (Ventilator) รวมทั้งตั้งค่าอูณหภูมิต่ำ 13-15 องศาเซลเซียส และตั้งค่า Ventilator Mode ไว้ที่ประมาณ 15 – 20 เปอร์เซ็นต์[9] เพื่อระบายความร้อน จากภายในสู่ภายนอกเพื่อรักษาความสดของทุเรียน

ในปัจจุบันการบรรจุทุเรียนใส่กล่องใช้แรงงานคนในการบรรจุ สำหรับทุเรียนส่งออกใช้ทุเรียนเฉพาะเกรด A และ B เท่านั้น โดยแรงงานคนบรรจุทุเรียนลงกล่องที่ละลูก กล่องทุเรียน 1 กล่องบรรจุได้ 5-6 ลูก น้ำหนักสำหรับส่งออกต่อกล่องไม่เกิน 18.5 กิโลกรัม ใช้เวลาในการบรรจุเฉลี่ย 90 วินาทีต่อกล่อง ผู้ประกอบการต้องการลดต้นทุนด้านแรงงานและเวลาในการส่งออกงานวิจัยนี้จึงสร้างกริปเปอร์หนีบจับทุเรียน ทดสอบแรงในการจับที่ทำให้เปลือกทุเรียนเสียหายน้อยที่สุด ทดสอบการบรรจุทุเรียนโดยใช้การหน่วงและไม่หน่วงขณะปล่อยทุเรียนพร้อมจับเวลา เพื่อเลือกความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการบรรจุทุเรียนใส่กล่องสำหรับทดแทนการใช้แรงงานคนในอนาคต

2. วิธีการศึกษา

2.1 อุปกรณ์การทดลอง การทดลองนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์การทดลอง ดังนี้

แขนกล ABB 4600 แขนกลเคลื่อนที่ 6 แกน รองรับน้ำหนักได้สูงสุด 40 กิโลกรัม ระยะยืดไกลสูงสุด 2.05 เมตร [10] แสดงดัง figure 1 แขนกลเคลื่อนที่ 6 แกน เคลื่อนที่โดยการเขียนโปรแกรมเคลื่อนที่อัตโนมัติและ ควบคุมด้วยมือ สามารถควบคุมความเร็ว ในการเคลื่อนที่ ระยะห่างของวัสดุ เชื่อมอุปกรณ์ หรือตัดแปลงอุปกรณ์ที่ปลายแขนกลสำหรับหยิบจับสิ่งของได้



Figure 1 ABB IRB 4600-45/60

2.2 กริปเปอร์หนีบจับทุเรียน ทำจากเหล็ก SS400 หนา 3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 5 กิโลกรัม ติดตั้งพร้อมกระบอกสูบลมนิวเมติกส์ ระยะชักกระบอกยาว 25 มิลลิเมตร (figure 2)

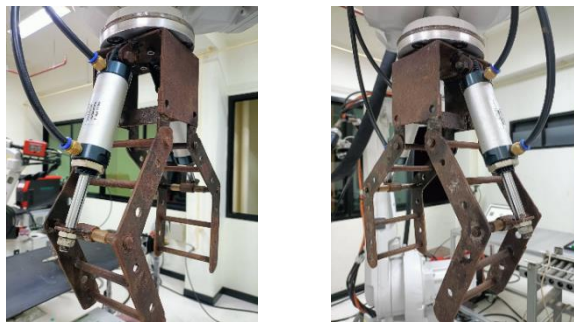


Figure 2 gripper and pneumatic cylinder

ชุดวาล์วควบคุมทิศทางลม แสดงดัง figure 3



Figure 3 Pneumatic Directional Control Valve

2.1.4. สายพานลำเลียงทุเรียน และทุเรียนเกรด B น้ำหนัก 3-4 กิโลกรัม แสดงดัง figure 4

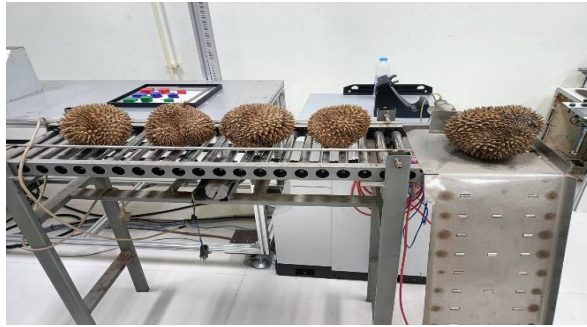


Figure 4 Conveyor Belt and durians grade B

2.1.5. กล่องสำหรับบรรจุทุเรียน ขนาดมาตรฐานสำหรับส่งออก 35.3 x 45.3 x 25.5 เซนติเมตร แสดงดัง figure 5



Figure 5 packaging boxes

2.2 ขั้นตอนการสร้างกริปเปอร์

Figure 6 ขั้นตอนออกแบบกริปเปอร์จากผลการทดลองออกแบบพบว่า ผลของทุเรียนมีเปลือกหนา มีหนามแหลมแข็ง เป็นรูปปิรามิตตลอดผล [11] ทรงของผลทุเรียนมีหลายรูปแบบจึงต้องออกแบบให้กริปเปอร์สามารถสัมผัสผิวของทุเรียนได้มากที่สุด และสามารถให้หนามของทุเรียนเข้าไปภายในร่องกริปเปอร์โดยส่วนที่สัมผัสกับกริปเปอร์ไม่เกิดการเสียหาย กริปเปอร์หนีบจับต้องมีลักษณะโค้งคล้ายรูปมือคน [12] แสดงดัง figure 6

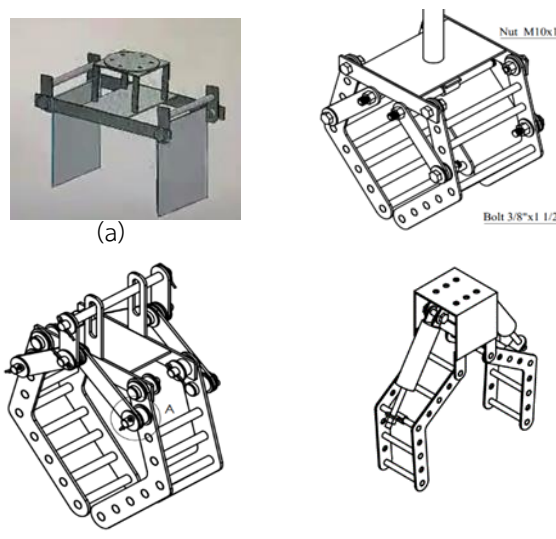


Figure 6 The gripper design process.

การออกแบบครั้งที่ 1

Figure 6 (a) กริปเปอร์หนีบจับทุเรียนมีช่วงสัมผัสผิวทุเรียนที่มีความเรียบ ไม่เหมาะสมเนื่องจากทุเรียนมีความโค้งและเปลือกทุเรียนไม่สม่ำเสมอตลอดผล เมื่อทำการทดลองเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากกว่า 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที พบว่าทุเรียนหลุดออกจากกริปเปอร์ การออกแบบครั้งนี้ทำให้ทราบว่าลักษณะกริปเปอร์ที่เหมาะสมสำหรับหนีบจับทุเรียนควรมีรูปทรงโค้ง

การออกแบบครั้งที่ 2

Figure 6 (b) กริปเปอร์โค้งรับกับผลทุเรียนดี แต่ไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เนื่องจากเมื่อกระบอกสูบนิวเมติกดันแกนกลางที่ทำหน้าที่ถ่างกริปเปอร์ออก กริปเปอร์ชนและบีบทุเรียนในแนวตั้ง ทำให้เหลือพื้นที่สำหรับทุเรียนน้อยสามารถใช้หนีบได้เฉพาะทุเรียนผลเล็ก การออกแบบครั้งนี้ทำให้ทราบว่าควรทำการปรับให้มีพื้นที่สำหรับทุเรียนเพียงพอโดยการออกแบบควรมีความโค้งของกริปเปอร์มากขึ้นและตัดันกริปเปอร์ที่ต่อมาจากกระบอกสูบนิวเมติกควรรอยอยู่ข้างนอกไม่ใช่ข้างในกริปเปอร์

การออกแบบครั้งที่ 3

Figure 6 (c) กริปเปอร์โค้งรับกับผลทุเรียน แต่ลักษณะจุดเชื่อมต่อ 3 แกนตรงกลางของกริปเปอร์ที่ทำหน้าที่ดึงและดันกริปเปอร์ที่ (ตำแหน่ง A) ทำให้ไม่มีแรงในการหนีบจับทุเรียน [13] การออกแบบครั้งนี้ทำให้ทราบว่ากริปเปอร์ต้องนึกถึงแรงจากกริปเปอร์ที่จะส่งมาดึงและดันกริปเปอร์ควรใช้แรงจากกระบอกสูบในการดึงและดันกริปเปอร์โดยตรง

การออกแบบครั้งที่ 4

Figure 6 (d) กริปเปอร์โค้งรับกับผลทุเรียน มีพื้นที่สำหรับทุเรียนสามารถหนีบจับทุเรียนรูปทรงโค้งได้อย่างดี การหนีบจับใช้การดึงและดันจากกระบอกสูบนิวเมติกโดยตรงพร้อมติดตั้งมาตรวัดความดันลมที่ปรับระดับได้เพื่อปรับระดับแรงที่ใช้ในการหนีบจับทุเรียน

2.3 วิธีการทดลอง

การทดสอบในการบรรจุทุเรียนใช้แรงหนีบทุเรียนจากแรงลมที่ดันกระบอกสูบภายในกระบอกสูบนิวเมติกส์ การหนีบจับทุเรียนจะต้องใช้แรงที่ไม่ทำให้ผิวทุเรียนเสียหาย โดยทำการปรับค่าความดันลมที่เข้าไปในกระบอกสูบที่ 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 เมกกะปาสคาล พบว่าที่ ความดันลม 0.2 เมกกะปาสคาล ผิวทุเรียนมีรอยขณะทำการหนีบ ใช้ความดันลม 0.15 เมกกะปาสคาล หนีบจับและปล่อยทุเรียนตลอดการทดลองเนื่องจากแรงมากกว่า 0.1 และ 0.05 เมกกะปาสคาล ส่งผลให้การหนีบและถ่างใช้เวลา น้อยที่สุด

ทำการหยิบทุเรียนจำนวน 4 ลูก จากสายพานลำเลียงทุเรียน วางในตำแหน่งที่ 1 2 3 และ 4 ทีละลูก โดยปล่อยทุเรียนขณะทุเรียนอยู่สูงจากพื้นกล่อง 1/2 ของกล่อง กำหนดท่าทางการเคลื่อนที่ของแขนกลวางลูกทุเรียนตำแหน่งที่ 1 2 3 และ 4 เคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยการเขียนโปรแกรม โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เข้าที่เมนูหน้า flexpandent ทำการเลือก program editor เลือก module เลือก newmodule
2. ทำการสร้างชื่อ module ขึ้นมา แล้วกดปุ่ม ok
3. ทำการเคลื่อนที่ แขนกลไปยังตำแหน่งที่อยู่ เหนือทุเรียนลูกที่ 1 บนสายพานลำเลียง กด add instruction เลือกคำสั่ง move l แสดง ชุดคำสั่งที่เลือกขึ้นดังนี้ move l* , v1000, fine, tool0;
4. ทำการเคลื่อนที่ไปยังทุเรียน เลือก add instruction เลือกคำสั่ง move l แสดง แสดง ชุดคำสั่งที่เลือกขึ้นดังนี้ move l* , v1000, fine, tool0;
5. กด add instruction ทำการเลือกคำสั่ง set local ปุ่มนี้เป็นปุ่มที่ทำการหนีบทุเรียน จะแสดงชุดคำสั่งขึ้นดังนี้ set local _IO_0_DO3;
6. เลือก คำสั่ง Wait Time เพื่อทำการหน่วงเวลาขณะจับ จะแสดงคำสั่ง waittime 2; ขึ้นที่หน้าจอ
7. ทำการเคลื่อนที่ แขนกลไปยัง ตำแหน่งเหนือกล่องทุเรียน เลือก add instruction เลือกคำสั่ง move l แสดง ชุดคำสั่งที่เลือกขึ้นดังนี้ move l* , v1000, fine, tool0;
8. เคลื่อนแขนกลลง ไปยังตำแหน่งที่ต้องการวาง เลือกคำสั่ง move l แสดง แสดง ชุดคำสั่งที่เลือกขึ้นดังนี้ move l* , v1000, fine, tool0;
9. เลือกคำสั่ง Reset จะแสดงชุดคำสั่งขึ้นดังนี้ reset local _IO_0_DO3; คำสั่งนี้จะเป็นการปล่อยทุเรียน
10. กรณีต้องการทำการหน่วงขณะปล่อยให้เลือก คำสั่ง WaitTime เสร็จสิ้นการบรรจุทุเรียนตำแหน่งที่ 1
11. ทำการเขียนโปรแกรมการบรรจุทุเรียนลูกที่ 2 ,3 และ 4 ดังวิธีการข้างต้น

12.เมื่อเขียนโปรแกรมครบทั้ง 4 ลูก ทำการเลือกโหมด การเคลื่อนที่เป็นโหมดการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ

13.ทำการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ พร้อมจับเวลา

14.เมื่อวางทุเรียนครบทั้ง 4 ลูก นับเป็น 1 รอบการเคลื่อนที่ ทำซ้ำความเร็วละ 3 รอบ

ปรับค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่แขนกลไปวางทุเรียนเป็น 800 600 500 400 300 200 และ 100 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยเข้าไปเปลี่ยนที่ ชุดคำสั่ง move l* , v1000, fine, tool0; เปลี่ยนค่า v1000 เป็น v800 v600 v500 v400 v300 v200 และ v100 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

การหารูปแบบการบรรจุทุเรียนใส่กล่องที่ความเร็วที่เหมาะสม โดยการวางทุเรียนแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ การวางทุเรียนโดยไม่มีกรงหว่งเวลาขณะวางทุเรียน และวางลูกทุเรียนโดยมีการหว่งเวลาเป็นเวลา 1 วินาที กำหนดความคลาดเคลื่อนการวางทุเรียนจากตำแหน่งเดิมไม่เกิน 5 มิลลิเมตร

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ขั้นตอนการทดสอบหาความดันที่เหมาะสม

Table 1 แสดงการทดสอบหาความดันลมที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ดันกริปเปอร์หนีบจับทุเรียนโดยความดันลมมากจะส่งผลให้ใช้เวลาขณะหนีบกริปเปอร์และถ่างออกน้อย และดันกริปเปอร์หนีบจับผลทุเรียนต้องไม่เกิดความเสียหาย ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ความดันลม 0.05 0.1 และ 0.15 เมกะปาสคาล ดันกริปเปอร์หนีบทุเรียนจำนวน 3 ครั้ง ไม่มีรอยเกิดขึ้นที่เปลือกทุเรียน หลังจากเพิ่มความดันเป็น 0.2 เมกะปาสคาล ดันกริปเปอร์หนีบทุเรียนจำนวน 3 ครั้ง มีรอยเกิดขึ้นบริเวณผิวทุเรียนที่สัมผัสกับกริปเปอร์ หนามมีรอยบิดและหัก ดังนั้นความดันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหนีบจับทุเรียนคือ 0.15 เมกะปาสคาล

Table 1 Experiment at different pressure

Pressure (MPa)	Experiment		
	The first time	The second time	The third time
0.05	normal	normal	normal
0.1	normal	normal	normal
0.15	normal	normal	normal
0.2	abnormal	abnormal	abnormal

3.2 ขั้นตอนการทดสอบหนีบจับทุเรียนโดยกริปเปอร์

การหนีบจับทุเรียนโดยไม่ใช้การหว่ง

Figure 7 แสดงผลการหนีบจับทุเรียนโดยกริปเปอร์ที่ความเร็ว 100 200 300 และ 400 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกำหนดระยะห่างทุเรียนเฉลี่ยจากจุดเริ่มต้น ไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร เริ่มต้นการทดสอบใช้ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อวินาที วางทุเรียน 4 ลูก ทำการทดสอบซ้ำ 3 รอบ พบว่าใช้เวลาแต่ละรอบ 220 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 3.33 2.67 1.33 และ 2.33 มิลลิเมตร ทำการทดสอบด้วยวิธีการเดียวกันโดยเปลี่ยนค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนแขนกล เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 200 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 118 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 3 3 2 และ 2.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการเพิ่มความเร็วจนเป็น 300 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 84 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 3.66 4.33 2.66 และ 3.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อใช้ความเร็ว 400 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 65 วินาที ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 7 5.66 4 และ 5.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ การทดสอบทั้งหมด 4 ค่าความเร็วพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่แขนกลเวลาที่ใช้ในแต่ละรอบ ลดลงแต่ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็ว 400 มิลลิเมตรต่อวินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 และ 3 มีค่าความคลาดเคลื่อนระยะห่างทุเรียนจากจุดเริ่มต้นเกินขอบเขตที่กำหนด ดังนั้นความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนที่แขนกลเพื่อทำการหนีบจับทุเรียนด้วยกริปเปอร์โดยไม่ใช้การหว่งคือ 300 มิลลิเมตรต่อวินาที

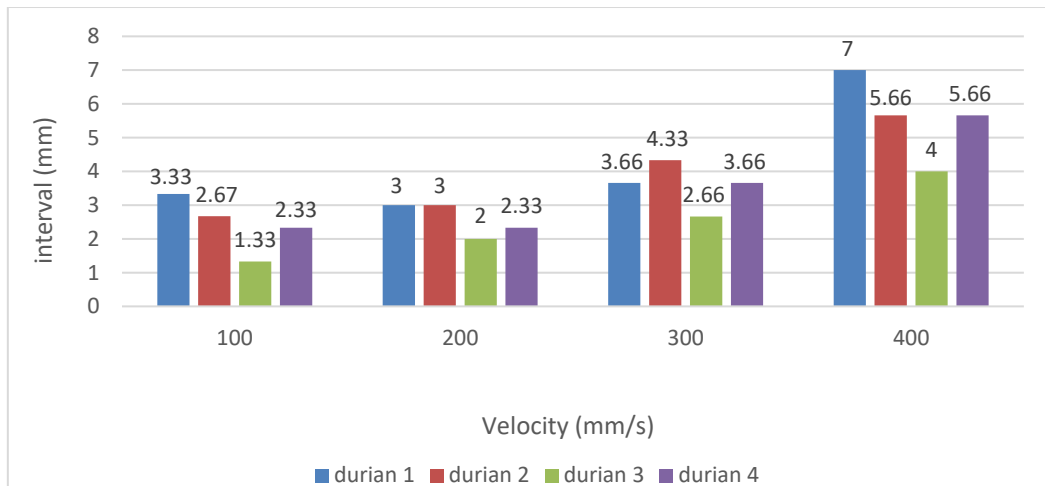


Figure 7 Durians containing in the speed range 100-400 mm/s without delay while releasing .

การหนีบจับทุเรียนโดยใช้การหน่วงขณะปล่อย

Figure 8 แสดงผลการหนีบจับทุเรียนโดยกริปเปอร์ที่ความเร็ว 100 200 300 และ 400 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกำหนดระยะห่างทุเรียนเฉลี่ยจากจุดเริ่มต้น ไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร เริ่มต้นการทดสอบใช้ความเร็ว 100 มิลลิเมตร ต่อ วินาที วางทุเรียน 4 ลูก ทำการทดสอบซ้ำ 3 รอบ พบว่าใช้เวลาแต่ละรอบ 224 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 0 0.33 0 และ 0.33 มิลลิเมตร ทำการทดสอบด้วยวิธีการเดียวกันโดยเปลี่ยนค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนแขนกล เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 200 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 122 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 0.33 0.33 0.33 และ 0.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการเพิ่มความเร็วเป็น 300 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 88 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1 1 0.33 และ 0.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการเพิ่มความเร็วเป็น 400 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 69 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1 1 1 และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ

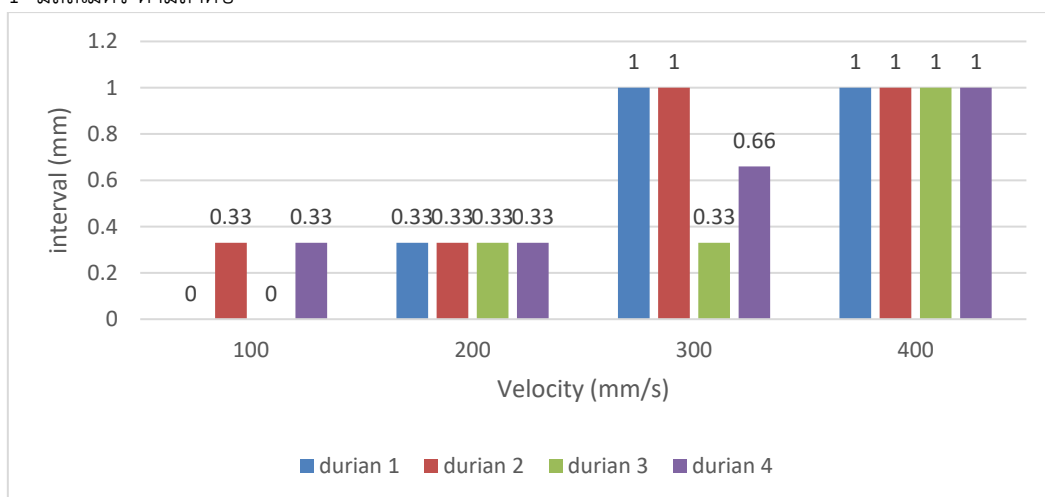


Figure 8 Durians containing in the speed range 100-400 mm/s with delay while releasing .

Figure 9 แสดงผลการหนีบจับทุเรียนโดยกริปเปอร์ที่ความเร็ว 500 600 800 และ 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกำหนดระยะห่างทุเรียนเฉลี่ยจากจุดเริ่มต้น ไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร เริ่มต้นการทดสอบใช้ความเร็ว 500 มิลลิเมตรต่อวินาที วางทุเรียน 4 ลูก ทำการทดสอบซ้ำ 3 รอบ พบว่าใช้เวลาแต่ละรอบ 59 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1 1.33 1 และ 1.33 มิลลิเมตร ทำการทดสอบด้วยวิธีการเดียวกันโดยเปลี่ยนค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนแขนกล เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 600 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 53 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 ระยะห่างจาก

จุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1 1.66 1 และ 1.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการเพิ่มความเร็วจนถึง 800 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 44 วินาที ทูเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1.33 2 1.66 และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการเพิ่มความเร็วจนถึง 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 39 วินาที ทูเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1.66 2.33 2 และ 1.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความเร็ว 1000 มิลลิเมตร เป็นความเร็วสูงสุดในการใช้งานภายใต้เงื่อนไขความปลอดภัย

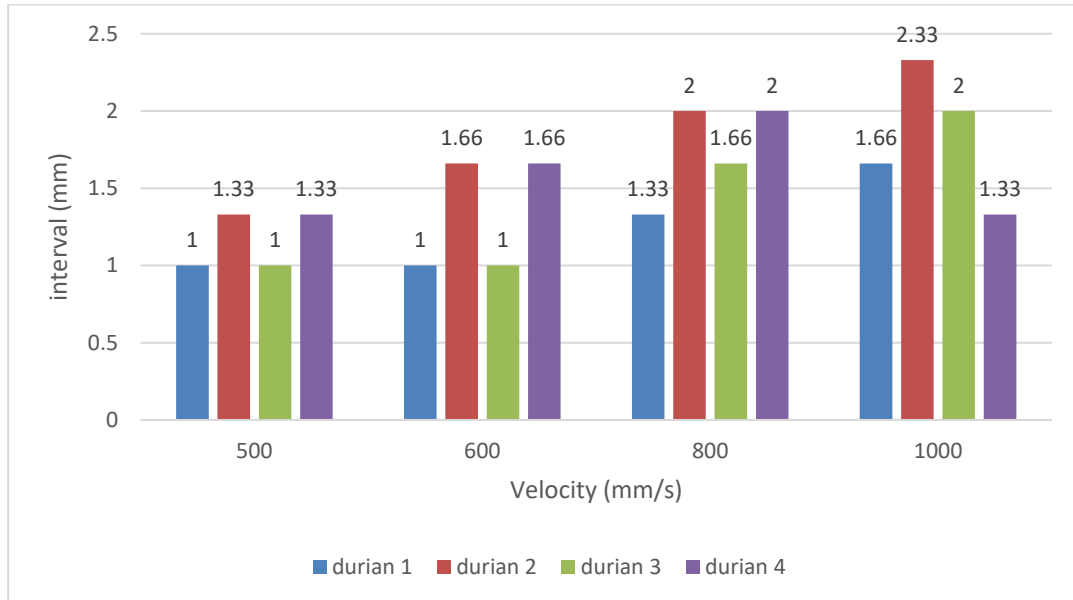


Figure 9 Durians containing in the speed range 500-1000 mm/s with delay while releasing .

3.3 ลักษณะความเสียหายของหนามทุเรียน

Figure 10 แสดงลักษณะหนามของทุเรียนหลังจากทำการหนีบจับด้วยกริปเปอร์และวางในกล่องบรรจุทุเรียน พบว่าหนามของทุเรียนบางตำแหน่งเกิดการบิดงอเพียงเล็กน้อยสาเหตุเกิดจากตำแหน่งนั้นสัมผัสกับกริปเปอร์ขณะทำการหนีบทุเรียน และรอยบางตำแหน่งเกิดรอยจากการกระทบกันของทุเรียนภายในกล่อง โดยความเสียหายสามารถแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มวัสดุที่มีความยืดหยุ่นบริเวณผิวกริปเปอร์และพัฒนาให้แขนกลสามารถวางกระดาษคั่นระหว่างลูกทุเรียนได้



Figure 10 Durian

4. สรุป

การทดสอบในการบรรจุเรียนเพื่อวัตถุประสงค์ในการลดเวลาในขั้นตอนกระบวนการส่งออกทุเรียน ขั้นตอนการบรรจุทุเรียนจึงต้องใช้เวลาให้น้อยที่สุดและต้องมีความแม่นยำ งานวิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างกริปเปอร์ที่มีโครงสร้างสอดคล้องกับรูปทรงของทุเรียนเพื่อใช้ในการหนีบจับ ทดสอบหาความดันลมที่เหมาะสมสำหรับการดันกริปเปอร์หนีบจับทุเรียน พบว่า 0.15 เมกะปาสคาล เป็นความดันลมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้หนีบจับทุเรียน ใช้ค่าความดันลม 0.15 เมกะปาสคาล ทดสอบการบรรจุทุเรียนโดยงานวิจัยกำหนดเกณฑ์ระยะห่างของการวางทุเรียนจากจุดเริ่มต้นของทุเรียนแต่ละลูกไม่เกิน 5 มิลลิเมตร พบว่าการหนีบจับทุเรียนโดยไม่ใช้การหน่วงขณะปล่อยใช้ความเร็ว 300 มิลลิเมตรต่อวินาที และการหนีบจับทุเรียนโดยใช้การหน่วงขณะปล่อยใช้ความเร็ว 1,000 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการบรรจุทุเรียนใส่กล่อง ในอนาคตจะมีการเพิ่มวัสดุที่ตัวหนีบเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผิวทุเรียน เพิ่มการใส่กระดาษระหว่างลูกทุเรียนโดยใช้ความเร็วการเคลื่อนที่ที่ได้จากงานวิจัยนี้ในการพัฒนาต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ใช้สถานที่และอุปกรณ์การทดลองในการทำวิจัย ขอขอบคุณนายณัฐพล บัวคำ และนายเชาวเลิศ แซ่กู่ ที่ช่วยเหลือในการสร้างกริปเปอร์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทูเรียน ราชอาณาจักรผลไม้ไทย ถูกใจคนต่างแดน- กลุ่มพัฒนาเศรษฐกิจฐานราก กองนโยบายการสร้างเสริมความเข้มแข็งทางการค้า สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า. มิถุนายน 2563 เข้าถึงได้จาก :
เว็บไซต์ http://www.tpso.moc.go.th/sites/default/files/thueriyn_240863.pdf
- [2] ทูเรียนเป็นไม้ผลที่ให้ผลที่มีลักษณะแปลก . มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://kukr.lib.ku.ac.th>
- [3] หุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industrial Robot Type) . Articla-Solid, ARTICLES. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.applicadthai.com/articles -industrial-robot-type/>
- [4] Oliver Jorga, Gualtiero Fantonia. 2021. Fast development cycle for the design of industrial grippers. Department of Civil and Industrial Engineering, University of Pisa, Largo Lucio Lazzarino, 56122 Pisa Mechanical Engineering Department, Korea Advanced Institute of Science and Technology.
- [5] Daniel Cardin-Catalan a, Simon Ceppetelli b, Angel P. del Pobal a,c, Antonio Morales. 2022. Design and analysis of a variable-stiffness robotic gripper. Alexandria University.
- [6] Alexander Müllera, Muhammed Aydemira, Arne Gloddea, Franz Dietricha. 2020. Technical University Berlin, Institute for Machine Tools and Factory Management, Chair of Handling and Assembly Technology, Pascalstrasse 8-9, 10587 Berlin, German
- [7] Maxwell Samuels, Lu Lu, and Cong Wang. 2022. Two-finger Multi-DOF Folding Robot Grippers. Industrial Design, Mechanical Engineering, and Electrical and Computer Engineering at New Jersey Institute of Technology, 323 Martin Luther King Blvd, Newark, NJ 07102, USA.
- [8] Ya Xionga,, Cheng Pengb, Lars Grimstada, Pål Johan Froma, Volkan Islerb . 2019. Development and field evaluation of a strawberry harvesting robot with a cable-driven gripper. Computers and Electronics in Agriculture.
- [9] ชีระเดช มั่นใจ 2562. เคล็ด (ไม่) ลับ : ส่งออกทุเรียนอย่างไรให้สดใหม่จนถึงปลายทาง เข้าถึงได้จาก :
เว็บไซต์ <https://logisticsmanager.com/th/how-to-deliver-durian/>
- [10] ABB articulated robot. Specifications | Articulated robot - IRB 4600-45/60 2.05. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ pneu-hyd.co.th
- [11] ผลิตภัณฑ์ทุเรียน – ศูนย์วิทยบริการเพื่อส่งเสริมการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2547. ทุเรียน. เอกสารวิชาการ ลำดับที่ 13/2547.กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- [12] A. Rodić, B. Miloradović, S. Popić, S. Spasojević, B. Karan, Developmen to modular compliant hropomorphic robot hand, in: Mechanisms and Machine Science, vol. 16, Springer, Cham, 2014, pp. 205–219. doi:10.1007/978-3-319-01592-7_15
- [13] R. Marti´n-Marti´n, M.A. Lee, R. Gardner, S. Savarese, J. Bohg, A. Garg, Variable impedance control in end-effector space: An action space for reinforcement learning in contact-rich tasks (2019). arXiv:1906.08880.

การประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล
Experimental performance assessment of a lab-scale solar furnace using a solar
concentrator linear Fresnel lens.

พิมพานต์ ทิพย์เสภา¹ สุภาวิณี เสมอมาศ¹ และ ศรีรัตน์ ช่วยบุญ^{1*}
Pimpakarn Tipsepa¹, Supawinee Samermat¹ and Srirat Chuayboon^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

¹Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok

*E-mail address: srirat.ch@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งสามารถใช้ประโยชน์จากความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ได้โดยการนำเทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานแสงอาทิตย์ให้สูงขึ้น งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบสร้าง และทดสอบเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล ประกอบไปด้วย เกล็ดโอสเตสทำหน้าที่ในการรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ เลนส์เฟรสเนลทำหน้าที่รวมแสงโดยถูกติดตั้งร่วมกับชุดควบคุมพลังงานแสงอาทิตย์ และตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ แสงอาทิตย์ถูกดูดซับโดยเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งใช้น้ำเป็นสารทำงาน จากนั้นศึกษาสมรรถนะของเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส คำนวณค่ารังสีตรง พลังงานความร้อนขาเข้า พลังงานความร้อนขาออก ประสิทธิภาพการดูดซับความร้อนภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์มีค่า 3-6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการสูญเสียความร้อนในระบบค่อนข้างสูงซึ่งสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้โดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่เตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์

คำสำคัญ: เตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์, เกล็ดโอสเตส, เลนส์เฟรสเนล, ตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

Solar energy is a highly efficient that can be applied with solar concentrating technology to increase solar intensity. This research aims to design, build, and test a lab-scale solar furnace, including a Fresnel lens, solar shutter and solar reactor. The sunlight is absorbed by the solar reactor while water was utilized as the working fluid. The performance of the solar furnace was studied at temperatures of 40 and 50 °C by measuring direct radiation, solar power energy input, heat absorption, heat excess, and reactor performance under specified temperature. As a result, the thermal efficiency of the solar reactor is in the range of 3-7% due to the relatively high heat loss in the system. The efficiency can be improved by installing insulation on the solar reactor.

Keywords: Solar reactor, Heliostat, Fresnel lens, Solar receiver

1. บทนำ

ปัจจุบันสถานการณ์ด้านพลังงานประสบกับปัญหาเรื่องวิกฤตพลังงานเชื้อเพลิงขาดแคลนอย่างหนัก ซึ่งปัญหาเหล่านี้กำลังได้รับความสนใจจากหลายประเทศ เกิดความไม่มั่นคงด้านพลังงานที่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมันและถ่านหิน อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศทั่วโลก เนื่องจากแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลมีแนวโน้มที่ลดลงและจะหมดไปในระยะเวลาอีกไม่นาน ขณะที่ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมกำลังส่งผลกระทบต่อชุมชนรุนแรงมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นได้มีการศึกษา ค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนรูปแบบใหม่ที่เป็นการใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและหมุนเวียนได้โดยไม่มีวันหมดสิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีการค้นคว้าวิจัยที่จะนำพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานน้ำ มาใช้ให้มากขึ้นเพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล [1] โดยดวงอาทิตย์จะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยกระบวนการแผ่รังสี เรียกว่า รังสีอาทิตย์ (solar radiation) ซึ่งรังสีอาทิตย์ที่มาถึงพื้นผิวโลกจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ต (0.3–0.4 μm) แสงสว่าง (0.4–0.7 μm) และรังสีอินฟราเรด (0.7–3.0 μm) มนุษย์และสิ่งมีชีวิตสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์นี้ไปใช้ประโยชน์ตามธรรมชาติได้ในรูปของแสงสว่างและความร้อน เพื่อการมองเห็น เป็นต้น [2]

เทคโนโลยีของพลังงานแสงอาทิตย์โดยทั่วไปแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ การนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้เพื่อผลิตไฟฟ้า (Solar Electricity) และการนำแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานความร้อน (Solar Thermal) [3] จากข้อมูลที่ได้ศึกษาในประเทศไทยดวงอาทิตย์สามารถปล่อยพลังงานได้มากมายมหาศาล ในเวลาเพียงหนึ่งชั่วโมง เราจะได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ในรูปของรังสีถึงประมาณ 174,000 TW หรือเกือบเทียบเท่าพลังงานทั้งหมดที่โลกใช้ตลอดปี สำหรับประเทศไทยนั้นมีข้อได้เปรียบจากที่ตั้ง ซึ่งตั้งอยู่ในเขตศูนย์สูตร จึงได้รับความเข้มข้นรังสีโดยเฉลี่ยตลอดทั้งปีสูงกว่าเขตอื่น ๆ ของโลก ซึ่งจากการศึกษาจากข้อมูลประเทศไทยจะได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดในเดือนเมษายนเป็นช่วงเวลาที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด สำหรับการกระจายตามพื้นที่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด 20.5 $\text{MJ}/\text{m}^2\text{-day}$ เมื่อทำการเฉลี่ยความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ 18.4 $\text{MJ}/\text{m}^2\text{-day}$ [4] เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อทำให้เกิดความร้อนที่สูงพอที่จะสามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับเตาเผาหรือเตาอบ โดยอุปกรณ์นี้ประกอบไปด้วยเลนส์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่ใช้สำหรับรวบรวมแสงอาทิตย์และส่งไปยังจุดรวมแสง ซึ่งทำให้สามารถให้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนได้ เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อรับและเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์และแปลงพลังงานนั้นเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานอื่น ๆ ที่ใช้ได้ โดยเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นสแตนเลสที่มีผิวสะท้อนสูง เมื่อแสงอาทิตย์เจอบริเวณของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์แล้วพลังงานจะถูกดูดซับและเก็บไว้ภายในเตา แล้วถ่ายเทความร้อนไปยังสารทำงาน (working fluid) ในลำดับถัดไป เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะในการผลิตวัตถุดิบที่ต้องการอุณหภูมิสูง หรือในการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับวัสดุที่ทนต่ออุณหภูมิสูง การใช้งานเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์นั้นเป็นการใช้พลังงานที่สะอาดและยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยไม่เกิดมลพิษเหมือนการใช้เชื้อเพลิงอื่น ๆ [5]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนลในการรวมแสงอาทิตย์ เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ถูกทดสอบเบื้องต้นโดยการให้ความร้อนแก่เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40-50 °C จากนั้นคำนวณหาพารามิเตอร์ที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น ความเข้มข้นของรังสีอาทิตย์ ความร้อนที่ถูกดูดซับ ความร้อนที่สูญเสีย ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์

การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยทั่วไปนิยมใช้ระบบที่ใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง (horizontal system) โดยอ้างอิงจากมุมอาซิมุท (azimuth, ψ) ($-180^\circ \leq \psi \leq 180^\circ$) และมุมอัลติจูด (altitude, α) (0 ถึง 90 องศา)

มุมอาซิมุท (azimuth, ψ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\psi = \sin^{-1} \left[\frac{\sin \omega \cos \delta}{\cos \alpha} \right] \quad (1)$$

โดย ω คือ มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ (Degree)

α คือ มุมอัลติจูด (Degree)

δ คือ ค่าเดคลิเนชัน (Degree)

มุมอัลติจูด (altitude, α) สามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$\alpha = \sin^{-1} [\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega] \quad (2)$$

โดย ϕ คือ ละติจูดของตำแหน่งที่ทำการทดลอง (Degree)

รังสีรวม Global Horizontal Irradiance (GHI) คำนวณได้จากสมการที่ 3

$$GHI = DNI(\cos \theta_z) + DHI \quad (3)$$

โดย DNI คือ รังสีตรง (Direct normal irradiance) (W/m^2)

DHI คือ รังสีกระจาย (Diffuse horizontal irradiance) (W/m^2)

θ_z คือ มุมเซนนิธ (Degree)

พลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) (kJ) ถูกแสดงดังสมการที่ 4

$$Q_{in} = DNI \times A_a \quad (4)$$

โดย A_a คือ พื้นที่ของเลนส์เฟรสเนล (m^2)

พลังงานความร้อนที่ต้องการ ($Q_{required}$) (kJ) ถูกแสดงดังสมการที่ 5

$$Q_{required} = \rho V_{abs} C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (5)$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ ($1000 \text{ kg}/m^3$)

V_{abs} คือ ปริมาตรภายในของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ (m^3)

C_p คือ ค่าความจุจำเพาะของน้ำที่ความดันคงที่ ($4.187 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$)

T_{out} คือ อุณหภูมิของน้ำขาเข้า ($^\circ\text{C}$)

T_{in} คือ อุณหภูมิของน้ำขาออก ($^\circ\text{C}$)

ปริมาตรภายในของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ (V_{abs}) คำนวณได้จากสมการที่ 6

$$V_{abs} = \frac{2\pi r_{abs}^3}{3} \quad (6)$$

โดย r_{abs} คือ รัศมีของเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ (m)

พลังงานความร้อนที่เกิน (Q_{excess}) ถูกแสดงดังสมการที่ 7

$$Q_{\text{excess}} = Q_{\text{in}} - Q_{\text{required}} \quad (7)$$

โดย Q_{in} คือ พลังงานความร้อนขาเข้า

Q_{required} คือ พลังงานความร้อนที่ต้องการ

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 8

$$\eta_{\text{th}} = \frac{Q_{\text{required}}}{Q_{\text{in}}} \quad (8)$$

2. วิธีการศึกษา

ชุดการทดลองเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนลถูกแสดงในรูปที่ 2 และเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ถูกแสดงในรูปที่ 3 โดยการทดสอบเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. กำหนดค่าอุณหภูมิของของไหลทดลองที่ต้องการลงบนเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อกำหนดอุณหภูมิทางออกไว้ที่ 40 °C และ 50 °C
2. เปิดชุดทดลองเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ จากนั้นป้อนน้ำเข้าสู่ระบบ ซึ่งน้ำจะถูกปั๊มเข้าอัตโนมัติสูบน้ำเข้าสู่เตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์รูปทรงครึ่งวงกลม (Chamber)
3. อ่านและบันทึกผลข้อมูล ได้แก่ ค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษา คือ อุณหภูมิน้ำขาเข้า อุณหภูมิน้ำขาออก ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ณ เวลาที่เรากำหนดไว้ขณะบันทึกผลการทดลอง และเวลาขณะบันทึกผลการทดลอง
4. เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงถึงค่าที่กำหนดไว้ (ตามข้อที่ 1) เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะส่งกระแสไฟฟ้าไปยังโซลินอยด์ วาล์วเพื่อทำการเปิดให้น้ำที่มีอุณหภูมิตามที่ต้องการ และปล่อยไปตามท่อทอนความร้อนลงไปยังถังเก็บน้ำ

หลักการทำงานของเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์

การทำงานของเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ เริ่มต้นโดยการสูบน้ำจากถังเก็บน้ำโดยใช้ปั๊มแรงดันไปยังเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์จนเต็ม เมื่อน้ำเต็ม แรงดันภายในเตาจะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 2 bar ปั๊มแรงดันจะตัดการทำงาน ลำดับถัดไปให้ความร้อนแก่น้ำภายในเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ (ที่ 40-50 °C) โดยใช้เฮลิโอสแตสมีขนาด 2.20×2.20 m² เพื่อรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังเลนส์เฟรสเนลขนาด 1.40×1.05 m² เมื่อแสงถูกรวมผ่านไปยังเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์และทำอุณหภูมิถึงค่าตามที่ต้องการ บันทึกอุณหภูมิเครื่องควบคุมที่แสดงผลออกมา โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลที่ติดตั้งอยู่ในเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์เป็นตัววัดอุณหภูมิ และเมื่อน้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงค่าที่กำหนดไว้ วาล์วจะเปิดน้ำให้ไหลออกโดยอัตโนมัติและจะไหลออกผ่านทางสายทอนความร้อนสู่ถังเก็บน้ำร้อน เมื่อน้ำร้อนที่ถูกปล่อยออกมาแล้ว แรงดันภายในเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์จะต่ำลงทำให้ปั๊มแรงดันปั๊มน้ำจากถังเก็บน้ำเข้าสู่เตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์อีกครั้ง

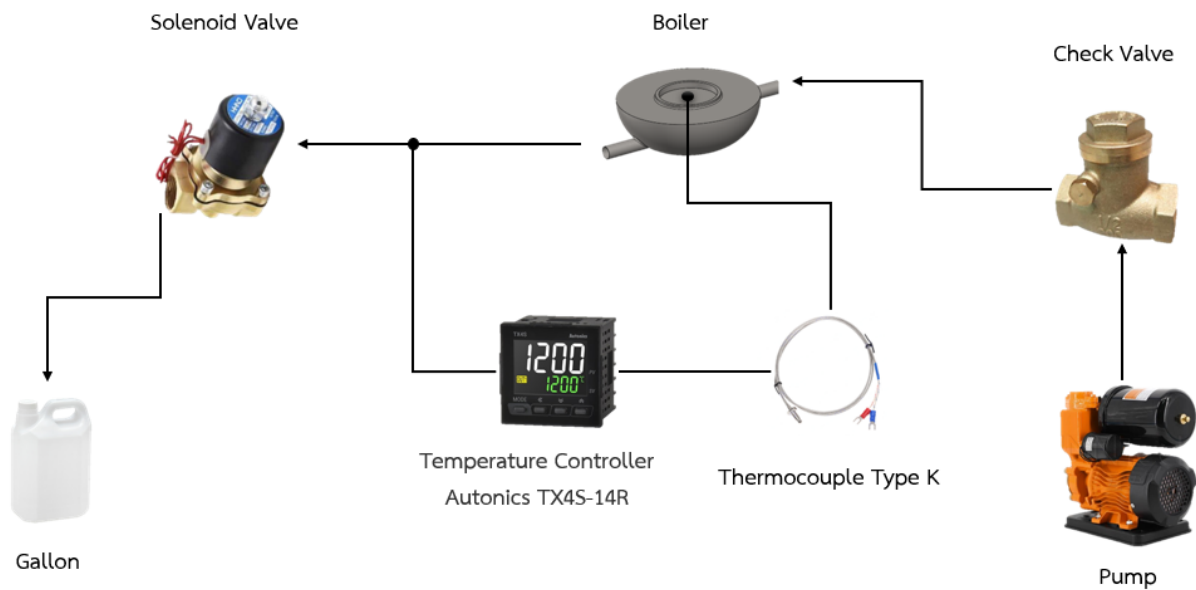


Figure 1 Schematic diagram of the set-up



Figure 2 Photograph of the experimental set-up:
(A) solar reactor, (B) heliostat and (C) fresnel lens.



Figure 3 Solar receiver

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

Figure 4 แสดงความเข้มของรังสีอาทิตย์รังสีตรง (Direct Normal Irradiance) ช่วงเวลา 10:00 -12:00 นาฬิกา ในวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2566 ทุก ๆ 10 นาที พบว่า ค่ารังสีตรงจะเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาโดยมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยง และมีความเข้มรังสีอยู่ในช่วง 500-980 W/m²

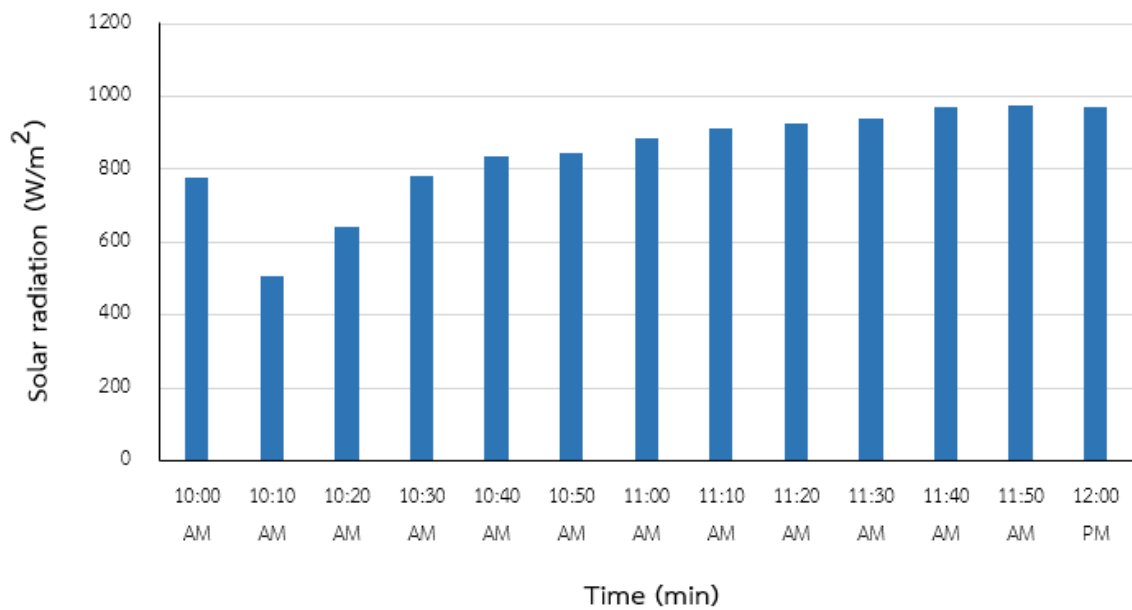


Figure 4 Direct normal irradiance (DNI). Time 10-12 a.m. on 28 March 2023

Figure 5 แสดงความเข้มของรังสีรวม (global horizontal irradiance) รังสีตรง (direct solar radiation) และรังสีกระจาย (diffuse solar radiation) ของการทดลองต้มน้ำที่อุณหภูมิ 40 °C และ 50 °C อย่างละสองครั้ง (run 1 และ run2) พบว่ารังสีรวม รังสีกระจาย และรังสีตรง มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามเวลา ผลการทดสอบทั้งสองครั้งที่อุณหภูมิ 40 °C และ 50 °C เห็นได้ว่ารังสีกระจาย รังสีตรง และรังสีรวม จะอยู่ในช่วง 240-280 W/m², 410-860 W/m² และ 650-1150 W/m² ตามลำดับ

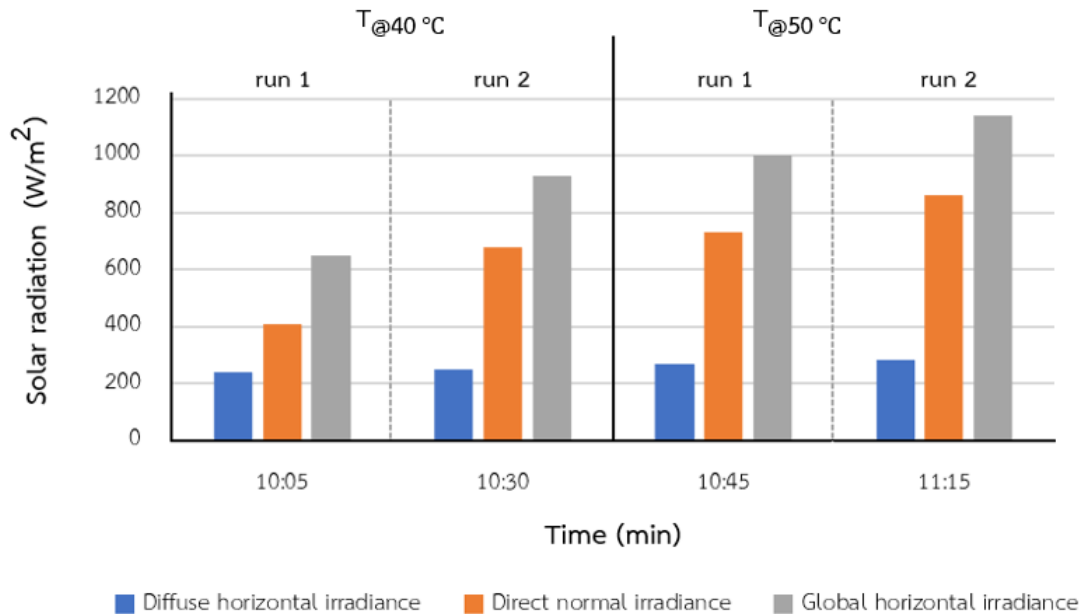


Figure 5 Global horizontal irradiance, diffuse radiation, and direct radiation ที่ 10.05-11.15 a.m.

Figure 6 แสดงพลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) ค่าพลังงานความร้อนที่ต้องการ ($Q_{Required}$) และค่าพลังงานความร้อนส่วนเกิน (Q_{Excess}) ที่การทดลองที่ 40 °C และ 50 °C อย่างละสองครั้ง พบว่า Q_{in} มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของรังสีอาทิตย์ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยอยู่ในช่วง 600-1250 kJ ในขณะที่ $Q_{Required}$ กำหนดไว้ ที่ 40 °C และ 50 °C มีค่า 29.5 kJ และ 64.5 kJ ตามลำดับ จากรูปจะเห็นได้ว่า ถึงแม้ว่าที่ $Q_{Required}$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่กำหนด พลังงานความร้อนส่วนเกิน (Q_{excess}) ก็ยังมีค่าสูง ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าความร้อนสูญเสียเกิดขึ้นค่อนข้างสูง โดย Q_{Excess} มีค่าอยู่ในช่วง 570-1200 kJ

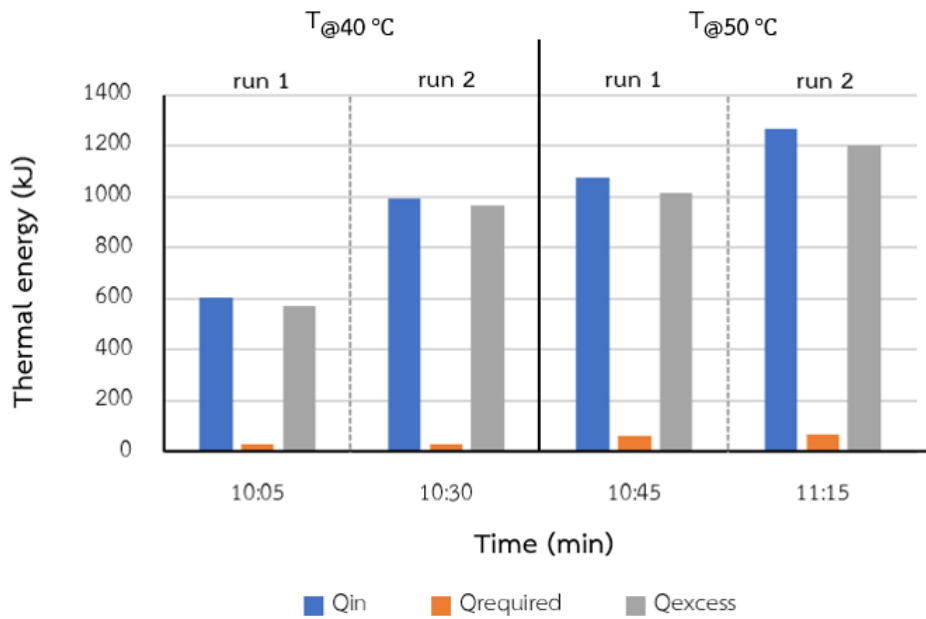


Figure 6 Incoming heat (Q_{in}), required heat ($Q_{required}$) and excess heat (Q_{excess}) at a temperature of 40–50 °C

Figure 7 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิน้ำ 40 °C และ 50 °C พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าค่อนข้างต่ำทั้งสองอุณหภูมิทดลอง โดยมีค่าอยู่ที่ 3-6 เปอร์เซ็นต์ โดยมีสาเหตุอันเนื่องมาจากการสูญเสียความร้อนค่อนข้างสูง

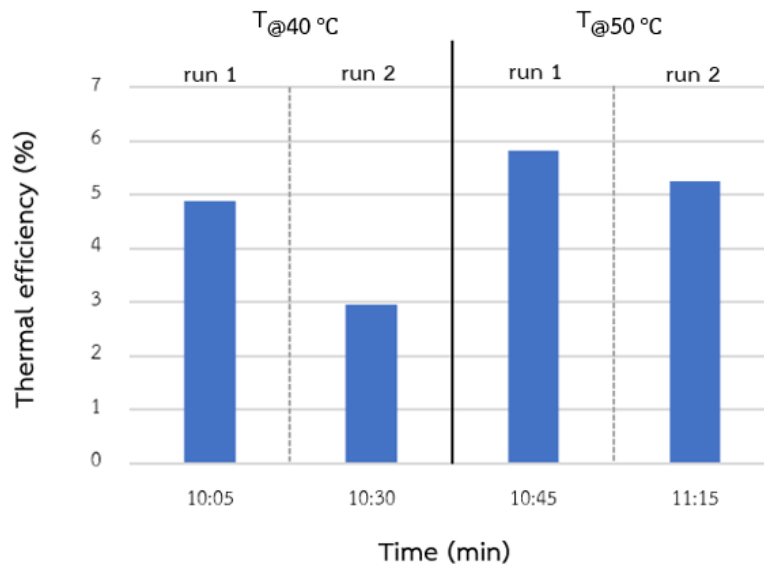


Figure 7 Thermal efficiency at a temperature of 40-50 °C

4. สรุป

เตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนลได้ถูกออกแบบ สร้าง และทดสอบที่อุณหภูมิ 40 °C และ 50 °C โดยความเข้มแสงอาทิตย์ของรังสีตรงที่ใช้อยู่ในช่วง 500–980 W/m² เตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ยังมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำอันเนื่องมาจากมีความร้อนสูญเสีย (heat losses) สูง ซึ่งสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้โดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่เตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ โดยงานที่จะดำเนินต่อไปในอนาคตคือ เพิ่มอุณหภูมิในการต้มน้ำให้มีค่าสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ จากนั้นทดสอบระบบทั้งแบบไม่ต่อเนื่อง (batch) และแบบต่อเนื่อง (continuous) เพื่อหาสมรรถนะสูงสุดของเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สัญญาเลขที่: 2564-02-08-002)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. H. Solangi, M. R. Islam, R. Saidur, N. A. Rahim, and H. Fayaz, “A review on global solar energy policy,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 4, pp. 2149–2163, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.01.007.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์, “พัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย” 2565 เข้าถึงเมื่อ 8 สิงหาคม 2565 เข้าถึงได้จาก <https://kc.dede.go.th/project-view-file.aspx?p=2127>.
- [3] “การศึกษาประสิทธิภาพความเข้มแสงของแผงสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์สำหรับระบบหอคอยรวมแสงอาทิตย์ A Study on the Intensity Efficiency of a Solar Heliostat for a Central Receiver Solar Collector.”
- [4] “กรมพัฒนางานทดแทนและอนุรักษ์, “ศักยภาพรังสีรวม (พลังงานแสงอาทิตย์จากการตรวจวัด).2565. เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2565 เข้าถึงได้จาก [https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=60366&filename=solar intensity](https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=60366&filename=solar%20intensity).
- [5] M.A. Abdelghani-Idrissi , S. Khalfallaoui , D. Seguin , L. Vernières-Hassimi , S. Leveneur “Solar tracker for enhancement of the thermal efficiency of solar water heating system” *Renewable Energy.*, vol. 119 , pp.79-94,2018 ,doi: 10.1016/j.renene.2017.11.072

การศึกษาดัชนีพลังงานไฟฟ้าจำเพาะในบ่อเพาะเลี้ยงปลานิลเชิงพาณิชย์ A study on the specific energy consumption in commercial *Tilapia* culture ponds

ชวโรจน์ ใจสิน^{1*} เกวลิน ยะดิน¹ ภาณุวิชญ์ พุทธิรักษา¹ ธงชัย มณีชูเกตุ¹ และ ปราโมทย์ กุศล^{2*}
Chawaroj Jaisin^{1*}, Kewalin Yatin¹ Panuwit Puttaraksa¹ Thongchai Maneechukete¹ and Pramote Kuson^{2*}

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

²ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ชุมพร

¹School of Renewable Energy, Maejo University, Chiangmai

²Department of Agricultural Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon

*Corresponding author: Chawaroj Jaisin, e-mail address: Chawaroj@mju.ac.th

*Corresponding author: Pramote Kuson, e-mail address: pramote.ku@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาดัชนีพลังงานไฟฟ้าจำเพาะในบ่อเพาะเลี้ยงปลานิลเชิงพาณิชย์ กรณีศึกษาใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบร่วมระหว่างแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน โดยจ่ายให้กับเครื่องเติมอากาศในบ่อเพาะเลี้ยงปลานิลขนาด 3 แรงม้า เติมอากาศแบบแอร์สโตนจำนวน 12 หัวเติม ขนาดพื้นที่เพาะเลี้ยงขนาด 5 ไร่ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกออกแบบให้มีกำลังไฟฟ้าขนาด 3.25kW จ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังอินเวอร์เตอร์พิกัดกำลัง 2.2kW ใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 4 เดือนต่อหนึ่งรอบเพาะเลี้ยง การเพาะเลี้ยงในเดือนแรกไม่มีการใช้เครื่องเติมอากาศ เดือนที่สองถึงสี่ใช้เครื่องเติมอากาศในเวลา 9:00 – 17:00น. และ 23:00 – 9:00น. เฉลี่ยวันละ 18 ชั่วโมง ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผลจะถูกตรวจวัดด้วยดิจิตอลพาวเวอร์มิเตอร์ รุ่น SMD120 สำหรับวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐาน รุ่น SDM630 สำหรับวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ และรุ่น PZEM-017 สำหรับวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าจากระบบแผงโซลาร์เซลล์ ขณะที่การบันทึกผลจะอาศัยช่องทางการสื่อสารแบบ Narrow Band Internet of Thing (NB-IoT) สำหรับจัดเก็บข้อมูล

ผลการทดลองตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยงพบว่าตลอดช่วงการเพาะเลี้ยงหนึ่งรอบใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 4,164.4 kWh แบ่งเป็นจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1,280.53 kWh และระบบไฟฟ้าพื้นฐาน 2,883.87 kWh เมื่อจบรอบการเพาะเลี้ยงสามารถผลิตปลาได้ 5,450kg และหากคิดเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะจะพบว่าต้องใช้พลังงานไฟฟ้า 0.76 kWh/kg ของปลาที่ผลิตได้ หลังจากติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียง 0.53 kWh/kg คิดเป็นพลังงานที่ลดลง 30.26% เมื่อพิจารณาเฉพาะในช่วงเวลากลางวันแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจาก 0.23 kWh/kg เหลือเพียง 0.053 kWh/kg หรือคิดเป็นพลังงานที่ลดลง 77.1%

Abstract

The purpose of this research was to study the specific energy consumption in commercial *Tilapia* culture pond. The case study involved using a hybrid power supply that combined electricity from both the photovoltaic system and the utility grid system to drive a 3 horsepower aerator and 12 air stones in the *Tilapia* culture pond. On a cultivation area of 5 rai, a solar panel system was designed to supply power of 3.25 kW to a 2.2 kW hybrid inverter. The cultivation period was 4 months per cycle. During the first month of cultivation, no aerators were used. From the second to fourth months, aerators were used for 18 hours per day from 9:00 AM to 5:00 PM and from 11:00 PM to 9:00 AM. Data for evaluation were measured using a digital power meter, specifically the SMD120 model for measuring electrical parameters from the utility grid system, the SDM630 model for measuring the electrical parameters at the output of the hybrid inverter, and the PZEM-017 model for measuring the electrical parameters of the photovoltaic system's output. Results were recorded using a Narrow Band Internet of Things (NB-IoT) communication channel for data storage.

Throughout the culture period, the experiment yielded the following results: a total of 4,164.4 kWh of electrical energy was consumed during one culture cycle, with 1,280.53 kWh generated by the photovoltaic system and 2,883.87 kWh consumed by the utility grid system. At the conclusion of the aquaculture cycle, it is

possible to produce 5,450 kg of fish. Upon considering the specific energy consumption, it is determined that 0.76 kWh of energy is required to produce one kilogram of fish. After installing the solar power generation system, energy consumption has decreased to only 0.53 kWh/kg, which represents a 30.26% reduction in energy consumption. During daylight hours, the power supplied by the photovoltaic system alone can reduce energy consumption from 0.23 kWh/kg to just 0.053 kWh/kg, resulting in a 77.1% reduction in energy consumption.

Keywords: specific energy consumption, Tilapia culture pond and hybrid power supply

1. บทนำ

ค่าออกซิเจนละลายในน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการเลี้ยงปลา โดยเฉพาะในช่วงที่ปลาเจริญเติบโตขึ้น ความต้องการค่าออกซิเจนละลายในน้ำจะมากขึ้น เนื่องจากปลาโตขึ้นจะแย่งออกซิเจนที่อยู่ในน้ำทำให้เกิดค่าออกซิเจนละลายในน้ำวิกฤต จากข้อมูลของสำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ค่าออกซิเจนละลายน้ำสำหรับการเลี้ยงปลาไม่ควรต่ำกว่า 3 mg/l [1] ซึ่งตรงกับบทความของ National Council for Agriculture Education [2] และหน่วยวิจัยสังคมและสิ่งแวดล้อม [3] ดังนั้นเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาจึงต้องหาอุปกรณ์สำหรับเติมอากาศหรือออกซิเจนในน้ำให้กับบ่อเลี้ยง โดยส่วนใหญ่การเติมอากาศมีอยู่ 2 วิธี คือ เติมบริเวณผิวน้ำโดยใช้กังหันตีน้ำร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าพลังงานวิจัยของ ศิริวรรณ ทานู [4] ขณะที่งานวิจัยของ ปริญญา นุ่มภา ที่ได้ศึกษาการเติมอากาศแบบเติมบริเวณใต้น้ำโดยใช้หัวแอร์สโตนเติมอากาศจุ่มลงไปใต้น้ำร่วมกับเครื่องเติมอากาศแบบโบเวอร์ [5] การใช้เครื่องเติมอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำของเกษตรกรส่วนใหญ่จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งพื้นฐานส่งผลให้เกษตรกรมีต้นทุนในการเลี้ยงที่สูงขึ้น จากปัญหาดังกล่าว พงษ์พันธ์ ราชภักดีและคณะและกัลยา ธนาสินธ์ และคณะ มีแนวคิดในการส่งเสริมใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อช่วยในการลดต้นทุนทางด้านพลังงานไฟฟ้าให้เกษตรกร นอกจากการศึกษาการลดต้นทุนทางด้านพลังงานด้วยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว [6], [7] การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าไฟฟ้าต่อผลผลิตหรือดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิต (Specific Energy Consumption, SEC) ยังเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถเข้าใจการใช้พลังงานจากสายส่งไฟฟ้าพื้นฐานที่ลดลงได้ง่ายขึ้น เช่นงานวิจัยของ เบญจพร อภิวงค์งาม และคณะ ได้ศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมของโรงงานแช่แข็งด้วยการบริหารจัดการเวลาการทำงานมาในช่วง off peak แทนมีค่าดัชนีการใช้พลังงานลดลง 0.030 kWh คิดเป็น 17.96% [8] และสรารุช พลวงค์ศรี และคณะได้ศึกษาดัชนีการใช้พลังงานในบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้พลังงานจากระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานซึ่งหลังจากติดตั้งระบบสามารถลดค่าดัชนีพลังงานไฟฟ้าได้ 0.23 kWh/kg คิดเป็น 29.11% [9] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตของเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาก่อนและหลังติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยระบบตรวจวัดพลังงานแบบดิจิทัลพาวเวอร์มิเตอร์ของระบบไฟฟ้าพื้นฐาน ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศในบ่อเลี้ยงปลา ขณะที่การเก็บข้อมูลอาศัยช่องทางการสื่อสารแบบ Narrow Band Internet of Thing (NB-IoT) สำหรับเก็บข้อมูล

2. วิธีการศึกษา

2.1 ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงและระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับการเพาะเลี้ยง

บ่อเพาะเลี้ยงปลามีขนาดบ่อ 5 ไร่ ในการเลี้ยงครั้งนี้ลงปลานิลในบ่อเลี้ยง 9,290 ตัว ระยะเวลาการเลี้ยง 4 เดือน มีระบบเติมอากาศแบบแอร์สโตนจำนวน 18 หัวเติม โดยเครื่องเติมอากาศใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าร่วมคือระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 325W จำนวน 9 แผง และไฟฟ้าพื้นฐาน ร่วมกันจ่ายไฟฟ้าไปยังไฮบริดอินเวอร์เตอร์ขนาด 2.2 kW ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าจากทั้งสองแหล่งจ่ายเป็นกำลังไฟฟ้า 3 phase สำหรับจ่ายมอเตอร์ขนาด 2.2kW ดัง Figure 1 มีหลักการทำงานเริ่มจากในช่วงเวลากลางวันความเข้มรังสีอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแสงเป็นกระแสไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับไฮบริดอินเวอร์เตอร์ โดยเมื่อมีการทำงานของโบเวอร์เติมอากาศอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่ดึงกระแสไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ก่อน ถ้าความต้องการไฟฟ้าของโบเวอร์เติมอากาศไม่เพียงพอจะดึงกระแสไฟฟ้าจากสายส่งพื้นฐานมาจ่ายให้กับโบเวอร์เติมอากาศร่วมกับกระแสไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ดัง Figure 2

โดยมีเงื่อนไขการทำงานจะอ้างอิงตามการปฏิบัติงานของเกษตรกรเป็นหลัก ในระยะที่ 1 ไม่มีการใช้เครื่องเติมอากาศ ระยะที่ 2 3 และ 4 ในช่วงเวลากลางวันเปิดเครื่องเติมอากาศเวลา 9.00-17.00น. ส่วนกลางคืนใช้ไฟฟ้าพื้นฐานตามระยะการเลี้ยงปลาที่ 2 จะเปิดเครื่องเติมอากาศ 23.00- 17.00น. ระยะที่ 3 และ 4 นั้นใช้เครื่องเติมอากาศเวลา 23.00-9.00 น. ในหนึ่งรอบการเพาะเลี้ยง



(a) Solar hybrid system

(b) Air Blower



(c) Air stone aerator

Figure 1 Solar hybrid system and aerator system

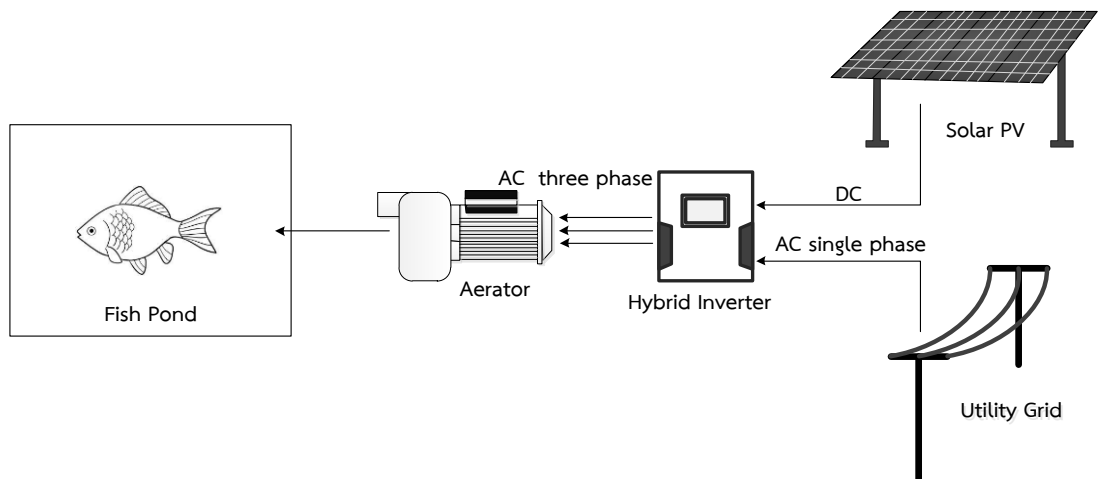


Figure 2 Configuration of Solar hybrid systems in fish pond

2.2 การตรวจวัดและจัดเก็บการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเพาะเลี้ยง

การตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดัง Figure 3 โดยได้เลือกใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรงหรือจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รุ่น PZEM017 ส่วนการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าพื้นฐาน (single phase) เลือกใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับรุ่น PZEM016 และการตรวจวัดไฮบริดอินเวอร์เตอร์เลือกใช้ digital power meter (SDM630) สำหรับตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ โดยข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัด จะถูกอ่านค่าผ่านตัวแปลงสัญญาณแบบ RS485 ให้เป็นระดับ TTL เพื่อส่งต่อให้ตัวประมวลผล (ESP32) ที่เชื่อมต่อกับ SIM7020E ผ่านช่องทาง RS232 ข้อมูลที่ถูกประมวลผลแล้วจะถูก ไปยังระบบ cloud server ผ่านเครือข่าย NB IoT

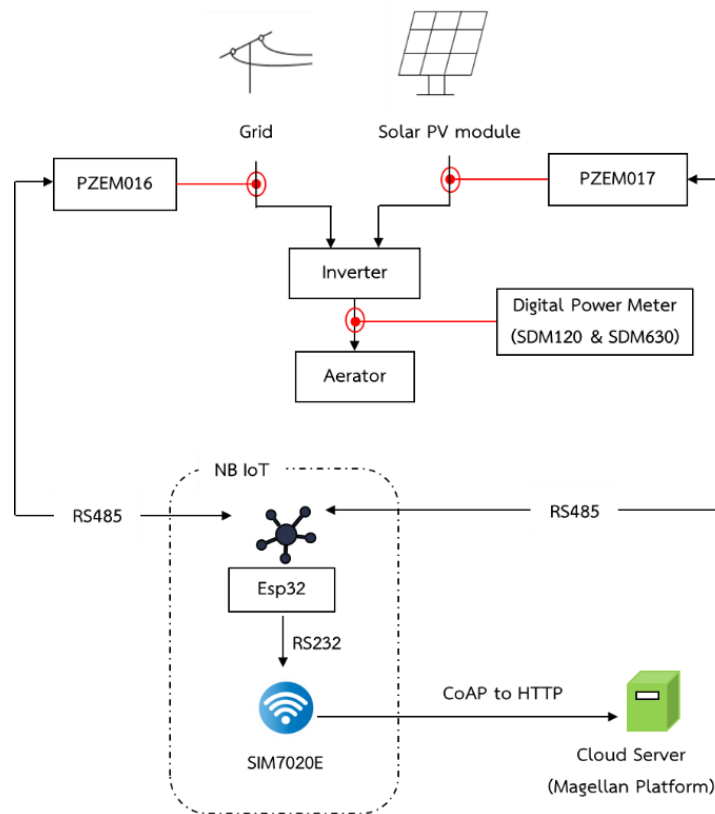


Figure 3 Communication of monitoring system

2.3 การประเมินผลด้านการใช้และดัชนีพลังงานไฟฟ้าในการเพาะเลี้ยง

การวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งานของระบบเติมอากาศของเกษตรกรที่เปิดเครื่องเติมอากาศ เวลา 9.00 – 17.00น. ในช่วงเวลากลางวันและ 23.00 – 9.00น. ในเวลากลางคืน ซึ่งมีการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหนึ่งรอบการเพาะเลี้ยง แบ่งเป็น 4 ระยะ บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ในเขต บริเวณหมู่บ้านทุ่งยาว อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ การประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงปลา พิจารณาได้สองระบบคือ ระบบแรกใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานอย่างเดียว ระบบที่สองใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมระหว่างระบบไฟฟ้าพื้นฐานและระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ คัดค่าพลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักของปลา หรือเรียกว่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิต (Specific Energy Consumption, SEC) สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$SEC = (E_{total}/Y_{fish}) \quad (1)$$

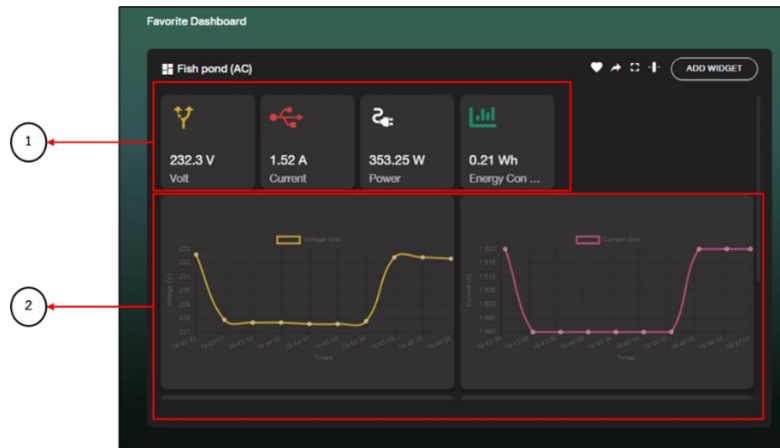
เมื่อ E_{total} คือ พลังงานที่ใช้ทั้งหมด (kWh)
 Y_{fish} คือ ปริมาณผลผลิตปลาทั้งหมด (kg)

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

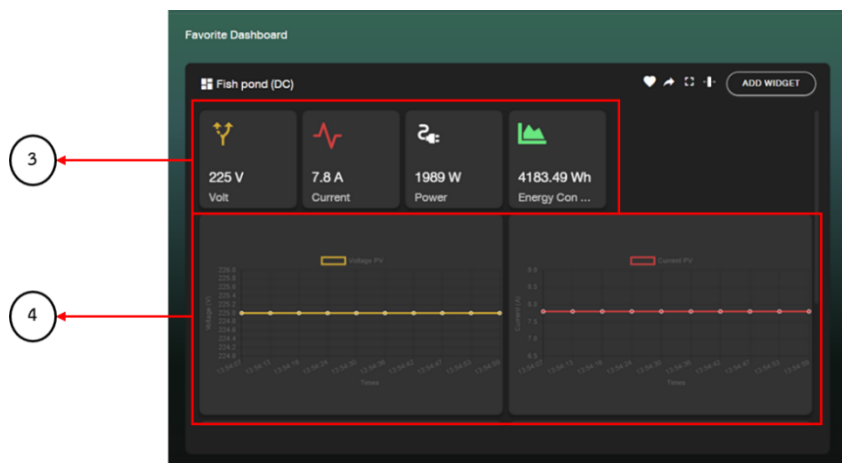
3.1 ผลการตรวจวัดและข้อมูลระบบ

หน้า dashboard สำหรับใช้แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ในบ่อเพาะเลี้ยงแสดงใน Figure 4 แสดงผลเป็นพลังงานไฟฟ้าพื้นฐาน (กระแสสลับ (Figure 4 a)) ประกอบด้วยหมายเลข 1 คือค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการแสดงผลเป็นตัวเลขประกอบไปด้วย แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า ของ PZEM016 ส่วนหมายเลข 2 คือการแสดงผลในรูปแบบของกราฟเพื่อดูแนวโน้มหรือการเปลี่ยนแปลงโดยรวมของค่าพารามิเตอร์ ขณะที่การแสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (กระแสตรง (Figure 4 b)) ประกอบด้วย หมายเลข 3 คือค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ

แสดงผลเป็นตัวเลขประกอบไปด้วย แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าของ PZEM017 และหมายเลข 4 คือ การจัดแสดงผลในรูปแบบของกราฟเพื่อดูแนวโน้มหรือการเปลี่ยนแปลงโดยรวมของค่าพารามิเตอร์



(a) Utility grid parameter dashboard



(b) Solar cell system parameter dashboard

Figure 4 Monitoring system

3.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การใช้พลังงานไฟฟ้าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าร่วมกันคือไฟฟ้าพื้นฐานกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแผงขนาด 325W 9 แผง จ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังอินเวอร์เตอร์ Siemen รุ่น SINAMICS V20 ขนาด 2.2kW ที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ขนาด 3 hp 3 phase โดยเกษตรกรมีการใช้ระบบเดิมอากาศในช่วงกลางวันเวลา 9.00 – 17.00น. และกลางคืนใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานเพียงอย่างเดียว พบว่ากำลังไฟฟ้าของโบเวอร์เดิมอากาศมีพฤติกรรมการทำงานค่อนข้างคงที่ โดยมีการใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 2.2kW ตลอดการทดสอบ ขณะที่กำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานมีค่าแปรผกผันกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงใน Figure 5 เนื่องจากการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าแบบทำงานร่วม อินเวอร์เตอร์จำทำหน้าที่ดึงพลังงานจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาจ่ายให้กับโบเวอร์เดิมอากาศก่อน ขณะเดียวกันถ้าความต้องการกำลังไฟฟ้าของโบเวอร์เดิมอากาศไม่เพียงพอจะดึงพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งพื้นฐานมาจ่ายร่วม สังเกตได้ว่าในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบมีความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ค่อนข้างสูงระหว่าง 264-762.5 W/m² และในช่วงเวลาที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ตก กระแสเซลล์แสงอาทิตย์สูง ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงเช่นกันทำให้ดึงกำลังไฟฟ้าจากระบบสายส่งพื้นฐานน้อย ขณะที่ในช่วงเวลาที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ตกกระแสเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าได้น้อยทำให้อินเวอร์เตอร์ไฮบริดดึงกำลังไฟฟ้าจากระบบสายส่งพื้นฐานสูง

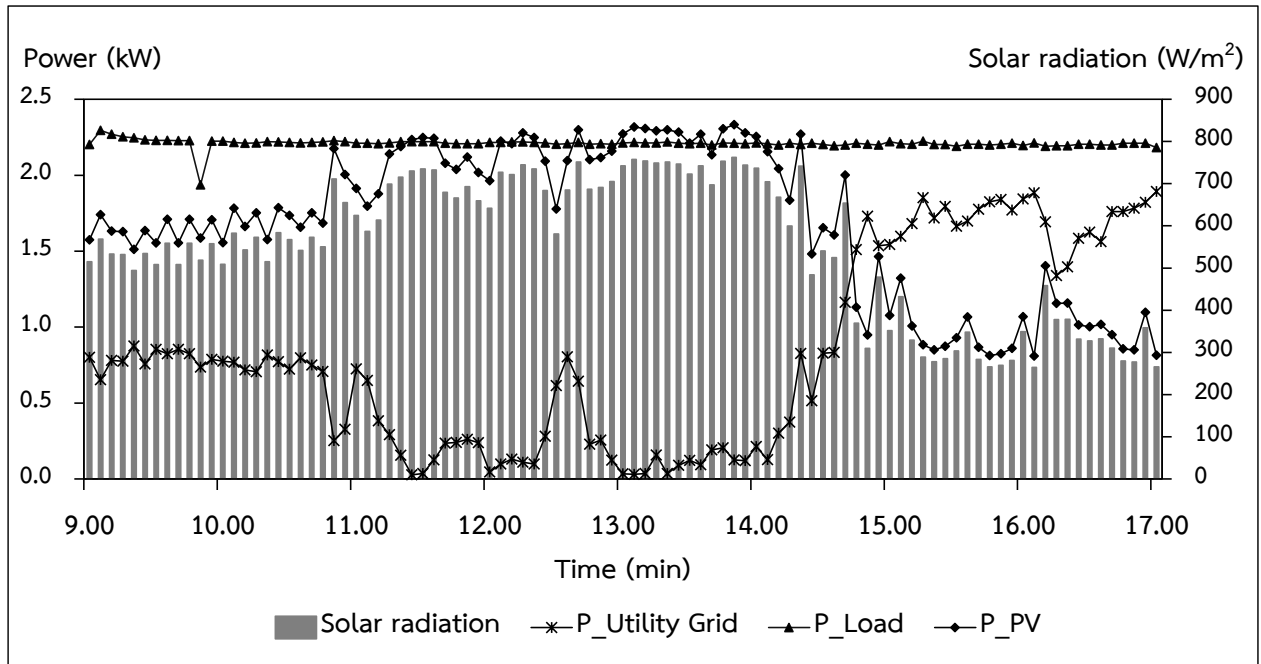


Figure 5 Investigating the behavior of electrical usage in aquaculture pond

3.3 ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะต่อผลผลิต (SEC)

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะที่ 1 ไม่มีการใช้เครื่องเติมอากาศ ระยะที่ 2 3 และ 4 ในช่วงเวลากลางวันเปิดเครื่องเติมอากาศเวลา 9.00-17.00น. ส่วนกลางคืนใช้ไฟฟ้าพื้นฐานตามระยะการเลี้ยงปลาที่ 2 จะเปิดเครื่องเติมอากาศ 23.00- 17.00น. ระยะที่ 3 และ 4 นั้นใช้เครื่องเติมอากาศเวลา 23.00-9.00 น. ซึ่งมีการใช้พลังงานในการเพาะเลี้ยง 1 รอบดังนี้

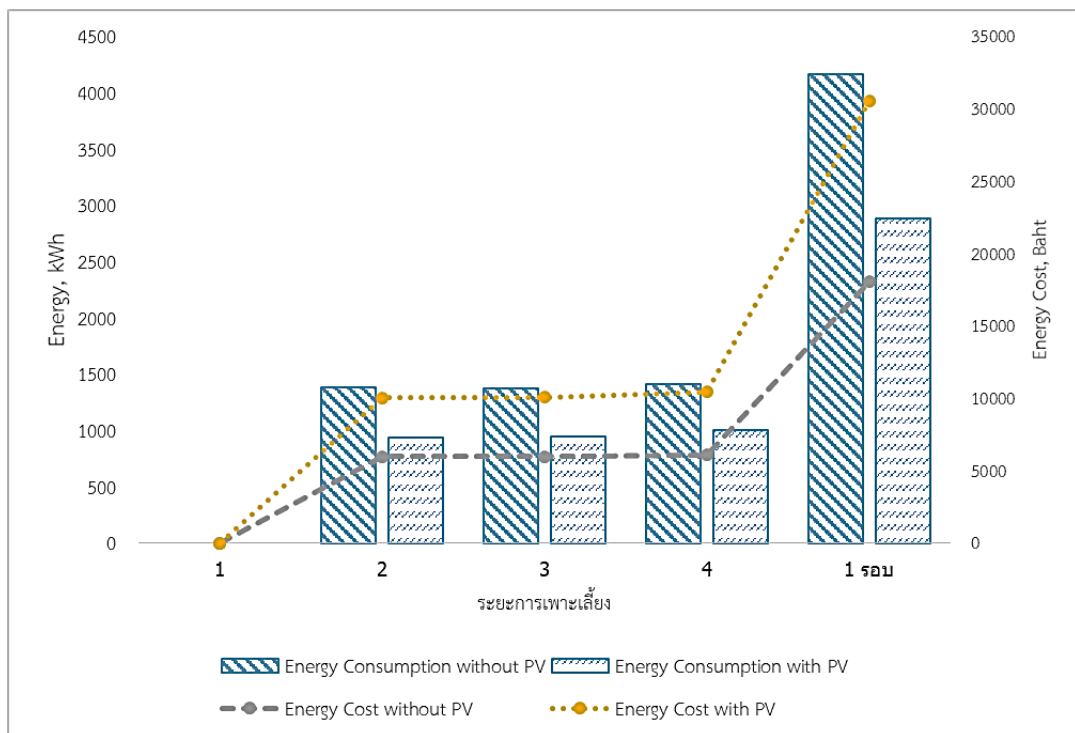


Figure 6 Energy consumption for a cultivation

จาก Figure 6 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระยะเวลาที่ 1 เป็น 0 kWh ระยะเวลาที่ 2 เป็น 1,382 kWh ระยะเวลาที่ 2 เป็น 1,374 kWh และ ระยะเวลาที่ 4 เป็น 1,407kWh โดยมีค่าใช้จ่ายทางพลังงานไฟฟ้าในแต่ละระยะการเลี้ยงคือ 0 บาท 5,984.6บาท 5,952.12 บาท และ 6,095.1 บาท ตามลำดับ และในการเลี้ยงหนึ่งรอบใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 4,164.4 kWh/รอบ แบ่งเป็นจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1,280.53 kWh และระบบไฟฟ้าพื้นฐาน 2,883.87 kWh หรือมีค่าใช้จ่ายทางพลังงานไฟฟ้าคือ 18,031.8 บาท/รอบ กรณีที่ไม่ได้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ 12,486.9 บาท กรณีที่ใช้งานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือลดลงราว 30.7% แต่หากพิจารณาเฉพาะช่วงเวลากลาง จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 1,660.28 kWh/รอบ ซึ่งได้มาจากระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 1,280.53 kWh หรือราว 77.1% ที่เหลือเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งไฟฟ้าพื้นฐานเพียง 379.75 kWh ดัง Table 1

Table 1 Energy and specific energy consumption in one round cultivation

กรณีศึกษา	ไม่มีระบบ Solar PV			มีระบบ Solar PV		
	Energy (kWh/รอบ)	Energy cost (บาท/รอบ)	SEC (kWh/kg _{fish})	Energy (kWh/รอบ)	Energy cost (บาท/รอบ)	SEC (kWh/kg _{fish})
กรณีใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน กลางวัน+กลางคืน	4,164.4	18,031.8	0.76	2,883.87	12,486.9	0.53
กรณีเวลากลางวัน	1,660.28	7,188.8	0.23	379.75	1,644.3	0.053

จาก Table 1 ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะต่อผลผลิตของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในงานวิจัยนี้ได้มีการเพาะเลี้ยงปลาเริ่มจากระยะแรกคือจำนวน 9,290 ตัว ในระยะการเพาะเลี้ยงปลา 4 ระยะ ได้ผลผลิตทั้งหมดเท่ากับ 5,450kg พบว่าเดิมที่บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใช้ไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่งเป็นแหล่งพลังงานเพียงอย่างเดียวมีค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ 0.76 kWh/kg เมื่อนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานเป็นแหล่งจ่ายไฟ จะมีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานจำเพาะเท่ากับ 0.53 kWh/kg (ใช้ไฟฟ้าพื้นฐานกลางวัน+กลางคืน) หรือสามารถคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งพื้นฐานที่ลดลงเท่ากับ 30.26% ถ้าหากพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉพาะกลางวันมีค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะก่อนติดตั้งระบบ Solar PV เท่ากับ 0.23 kWh/kg จะมีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะจากสายส่งพื้นฐานลดเหลือเพียง 0.053 kWh/kg เท่านั้น กล่าวคือระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หรือระบบ Solar PV สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งพื้นฐานได้ประมาณ 77.1% ทำให้สามารถลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 5,544.9 บาท/รอบ

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะในบ่อเพาะเลี้ยงปลานิลเชิงพาณิชย์ พิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้ากรณีใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานเพียงอย่างเดียว กับระบบไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดทางพลังงานไฟฟ้า และจัดเก็บข้อมูลบนระบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ผ่านเครือข่ายของ NB-IoT พบว่าหากพิจารณาข้อมูลเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานมีค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.76 kWh/kg และหลังจากติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งพื้นฐานมีค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานจำเพาะลดลงเหลือ 0.53 kWh/kg คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 30.26% และหากพิจารณารูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉพาะกลางวันซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพพบว่า ก่อนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าดัชนีพลังงานไฟฟ้าจำเพาะเท่ากับ 0.23 kWh/kg และหลังจากติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าดัชนีพลังงานไฟฟ้าจำเพาะจากระบบสายส่งพื้นฐานลดลงเหลือเพียง 0.053 kWh/kg เท่านั้น คิดเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งพื้นฐานที่ลดลง 77.1% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในตอนกลางวัน

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการการพัฒนาพลังงานทดแทนและการประยุกต์ใช้ ในชุมชนสีเขียว ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการการเสริมสร้างชุมชนเขียวในการทำฟาร์มเลี้ยงปลาอัจฉริยะในจังหวัดเชียงใหม่เพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการ ขอขอบพระคุณหน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้คำแนะนำและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษามา ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. รายงานประจำปีสำนักจัดการคุณภาพน้ำ พ.ศ. 2551. เข้าถึงจาก https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2020/05/pcdnew-2020-05-17_14-30-32_235543.pdf. วันที่สืบค้น 1 เมษายน 2566.
- [2] National Council for Agriculture Education. 1995. Tilapia “Aquaculture curriculum guide”. United States Department of Agriculture and Studies Iowa State University. 70 pp.
- [3] หน่วยวิจัยสังคมและสิ่งแวดล้อม. การเติมอากาศในบ่อปลา. เข้าถึงจาก <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org>. วันที่สืบค้น 1 เมษายน 2566.
- [4] ศิริวรรณ ทำนุและคณะ. (2561). การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงปลานิล. วารสารการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561 : 478.
- [5] ปรียานุช นุ่มภา. 2565. การศึกษาการจัดการพลังงานของระบบเติมอากาศสำหรับบ่อเลี้ยงปลานิลที่ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแบตเตอรี่และระบบไฟฟ้าพื้นฐาน. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [6] พงษ์พันธ์ ราชภักดี และรุ่งโรจน์ จินด่าง. 2562. เครื่องเติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการเลี้ยงปลาในกระชัง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- [7] กัลยา ธนาสินธ์ และคณะ. 2565. กังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อน้ำ. วารสารวิชาการเทพสตรี I-TECH ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2565
- [8] เบญจพร อภิวงค์งาม. 2559. เทคนิคการลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [9] สราวุธ พลวงษ์ศรี และคณะ .2561. ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้พลังงานจากระบบโพลีโวลเทอกร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน. การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 18 วันที่ 20-21 มีนาคม พ.ศ. 2562.

การพัฒนาของวัสดุขั้วไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว Development of electrode materials for lithium-ion batteries using activated carbon from coconut shells

วชิรัมย์ มานันทพงษ์¹ ทศพล ครุตเวช¹ สุภัตสร แก้วยอดเขา² และ วิสิทธิ์ เอกวานิช^{2*}

Wachiramai Manantapong¹, Thotsaphon Khurtwech¹, Suphatson Kaewyotkhao² and Visit Eakvanich^{2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ชุมพร
²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ชุมพร

¹Department of Energy Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon
²Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon

*Corresponding author: Visit Eakvanich, e-mail address: visit.ea@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ความมุ่งหมายของการศึกษาวิจัยเรื่องนี้ คือ การพัฒนาของวัสดุขั้วไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยในการศึกษานี้ได้นำกะลามะพร้าวลูกผสมสามทางพันธุ์ชุมพร 1 (ผงถ่านขนาด 1.5 มิลลิเมตร) มาอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้น และนำไปผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) ที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน เพื่อให้ได้เป็นถ่านกัมมันต์ จากนั้นนำไปกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) อัตราส่วน 1:5 เป็นระยะเวลา 1 วัน เพื่อกระตุ้นให้รูพรุน ผลการทดลองพบว่าจากการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และการศึกษาการดูดซับแก๊สไนโตรเจนทั้งบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุถ่านกัมมันต์ (BET) สามารถกระตุ้นคาร์บอนได้พื้นที่ผิว 343.01 และ 693.84 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับอุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีขนาดรูพรุน 19.26 และ 18.29 อังสตรอมตามลำดับ นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบว่า หนึ่งค่าพีคจากการสะท้อนจะอยู่ในช่วง 20-30 องศา และ 40-50 องศา ใกล้เคียงกับโครงสร้างผลึกของแกรไฟต์ ดังนั้นการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมทำให้วัสดุถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเกิดรูพรุนมากขึ้น ส่งผลต่อความจุและความเสถียรเมื่อนำไปใช้ในการทำวัสดุขั้วไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

คำสำคัญ: กะลามะพร้าว, ถ่านกัมมันต์, โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์, พื้นที่ผิว, ขนาดรูพรุน

Abstract

The purpose of this study was to modify and develop electrode materials for lithium-ion batteries using activated carbon from coconut shell. In this study, coconut shells of Chumphon three-way cross hybrid no.1 (powder size 1.5 millimeter) were heated by baking at 110°C for 48 hours to reduce moisture content. And then, the coconut shells became to activated carbon in carbonization process at 800 and 900°C under anaerobic conditions. After that, the activated carbon was chemically activated with Potassium hydroxide (KOH) at the ratio of 1:5 for 1 day to stimulate porosity. The results of SEM and BET analysis indicated that the activated carbon production under experimental conditions had BET surface area of 343.01 and 693.84 square meters per gram for 800 and 900°C, respectively. Moreover, the pore sizes were 19.26 and 18.29 angstrom, respectively. The results of XRD analysis of X-ray diffraction for the peak position showed that graphite was in the range of 20-30 degrees and 40-50 degrees. In short, activated carbon by Potassium hydroxide made the coconut shell more porous. Therefore, electrode materials for lithium-ion batteries were high capacity and stability.

Keywords: Coconut shell, Activated carbon, Potassium hydroxide, BET surface area, Pore size

1. บทนำ

ปัจจุบันได้เกิดวิกฤตการณ์ด้านพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อมนุษยชาติเป็นอย่างมาก มนุษย์ต้องเผชิญกับการขาดแคลนทรัพยากรด้านพลังงาน เนื่องจากการเพิ่มประชากร การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การเติบโตของเศรษฐกิจ ความกังวลเรื่องการขาดแคลนทรัพยากรฟอสซิล และปัญหาสิ่งแวดล้อมที่รุนแรง ส่งผลให้นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรพัฒนาวิธีการสร้างและกักเก็บพลังงานทดแทน [1] การคิดค้นและพัฒนาวิธีการสร้างระบบการกักเก็บพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นแรงผลักดันในการพัฒนาเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานสะอาดจากแหล่งกักเก็บพลังงานที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ลม พลังงานน้ำ หรือความร้อนใต้พิภพ [2] ในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดสำหรับอุปกรณ์กักเก็บพลังงาน และตลาดแบตเตอรี่แบบชาร์จซ้ำได้สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เคลื่อนที่และยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด [3-7] เนื่องจากมีขนาดเล็ก อายุใช้งานยาวนาน จำนวนรอบการใช้งานสูง ความหนาแน่นของศักย์ไฟฟ้าสูง และอัตราการปลดปล่อยตัวเองต่ำ โดยวัสดุขั้วบวกทำจากลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (LiCoO₂, LCO) ลิเทียมนิเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (LiMn₂O₄, LMO) วัสดุขั้วลบทำจากวัสดุที่มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอนที่มีรูพรุน ได้แก่ แกรฟีน แกรไฟต์ และคาร์บอนที่ทำจากวัสดุจากชีวมวลจากธรรมชาติ การศึกษาเกี่ยวกับวัสดุแอโนดที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก พบว่าคาร์บอนที่มีรูพรุนมีข้อดีทำให้เกิดความเสถียรภาพ ดังนั้นการมีอยู่ของรูพรุนและวัสดุไมโครพอร์ัส (Microporous materials) ซึ่งมีขนาดของรูพรุนน้อยกว่า 2 นาโนเมตร จะมีนัยสำคัญต่อโครงสร้างและประสิทธิภาพทางอิเล็กทรอนิกส์ ยกตัวอย่างเช่น ความยาวของการขนส่งที่สั้นลงสำหรับ Li-ion และส่วนต่อประสานอิเล็กโทรด/อิเล็กโทรไลต์ที่ใหญ่ขึ้นสำหรับปฏิกิริยาการถ่ายเทประจุ [8] เนื่องจากองค์ประกอบหลักของวัสดุชีวมวลคือเซลลูโลสซึ่งมีโครงสร้างลักษณะเป็นวงและมีคาร์บอนจำนวนมากในสายโซ่เซลลูโลส

การสังเคราะห์คาร์บอนมี 2 หลักการคือ การปรับปรุงคุณภาพทางความร้อนและการปรับปรุงคุณภาพทางเคมี ซึ่งการใช้ความร้อนในการปรับปรุงคุณภาพเป็นการปรับปรุงโครงสร้างภายในของวัสดุ คาร์บอน พันธะ การจัดเรียงตัวของคาร์บอน [9] ส่วนการใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพเป็นการทำให้วัสดุคาร์บอนเกิดรูพรุน การใช้ชีวมวลทางเกษตรเป็นต้องผ่านกระบวนการเผาโดยไร้ออกซิเจน (Carbonization หรือ Pyrolysis process) นอกจากนี้เพื่อให้ได้คาร์บอนที่มีรูพรุนที่สูง จึงมีการปรับโครงสร้างของเส้นใยก่อนด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal process) [10] ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon, AC) ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับวัสดุขั้วไฟฟ้าประเภทตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitor) [11-12] ตัวดูดซับ [13] ตัวเร่งปฏิกิริยา [14-17] และยังมีศักยภาพในการเป็นวัสดุแอโนดในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน เมื่อเทียบกับแหล่งถ่านกัมมันต์จากฟอสซิลแบบดั้งเดิม ได้แก่ โค้ก พิตช์ และ ถ่านหิน แอโนดถ่านกัมมันต์มีความจุแบบย้อนกลับได้ 757 มิลลิแอมป์ชั่วโมงต่อกรัม ที่ความหนาแน่นกระแส 100 มิลลิแอมป์ต่อกรัม และประสิทธิภาพการทำงานที่ดีด้วยอัตราปัจจุบันที่สูง [18] ถ่านกัมมันต์มีต้นทุนการผลิตต่ำจึงยังคงเป็นตัวเลือกแรกสำหรับวัสดุขั้วไฟฟ้าที่ยั่งยืนเพื่อสร้างแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนให้มีประสิทธิภาพสูง

นอกจากนี้ มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยโดยจังหวัดชุมพรเป็นหนึ่งในจังหวัดที่ปลูกมะพร้าวเป็นอันดับต้นของประเทศ ในพื้นที่จังหวัดชุมพรมีการปลูกมะพร้าวหลายสายพันธุ์ ซึ่งมะพร้าวลูกผสมสามทางพันธุ์ชุมพร 1 และชุมพร 2 เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถให้ผลผลิต ติดผลดก ผลโต เนื้อมะพร้าวมีรสชาติ หวาน มัน นอกจากนี้มะพร้าวชุมพรเป็นมะพร้าวที่มีความแข็งแรง ทนทาน สามารถเจริญเติบโตได้ในทุกสภาพแวดล้อมและทุกสภาพพื้นที่ การแปรรูปเชิงอุตสาหกรรมมะพร้าวทำให้เกิดขยะทางการเกษตรเหลือใช้ซึ่งกลายเป็นหนึ่งในวัตถุดิบที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ดังนั้นผู้ทำวิจัยเล็งเห็นการนำมาใช้ประโยชน์กะลามะพร้าวลูกผสมสามทางพันธุ์ชุมพร 1 เนื่องจากมีลักษณะของตัวกะลามะพร้าวที่มีขนาดใหญ่และมีเป็นจำนวนมากในจังหวัดชุมพร โดยการสังเคราะห์วัสดุคาร์บอนสามารถนำไปทำขั้วแอโนด และเป็นการนำวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรในจังหวัดชุมพรมาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2. วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยเรื่องนี้เป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในกระบวนการกระตุ้นรูพรุนของคาร์บอนโดยผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันในสภาวะไร้ออกซิเจน อุณหภูมิที่ 800 องศาเซลเซียส และคาร์บอนไนเซชันซ้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง ที่ทำให้การกระจายของขนาดรูพรุนและลักษณะรูพรุน โดยมีการทดสอบคุณภาพและประสิทธิภาพของคาร์บอนนี้ จึงได้ทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติเบื้องต้นของคาร์บอน โครงสร้าง และการกระจายของรูพรุนในคาร์บอน

2.1 วัสดุดิบ

งานวิจัยนี้ใช้วัสดุดิบเป็นกะลามะพร้าวลูกผสมสามทางพันธุ์ชุมพร 1 ในจังหวัดชุมพร โดยนำมาบดลดขนาดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 1.5 มิลลิเมตร หลังจากนั้นทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง (Fig.1)

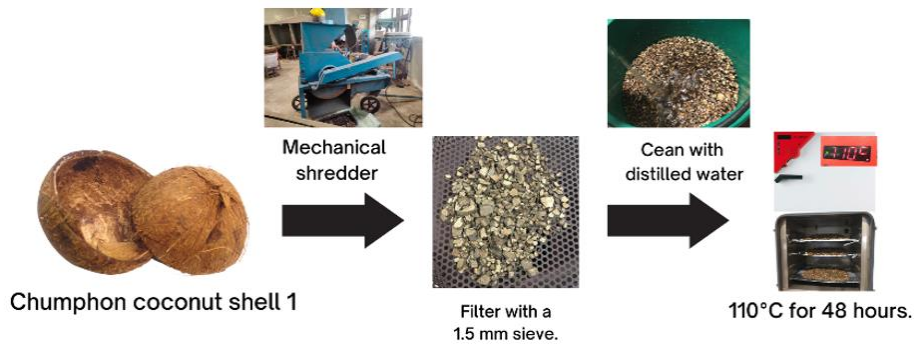


Figure 1 Coconut shell preparation process

2.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์

การเตรียมถ่านกัมมันต์สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้การกระตุ้นทางเคมี โดยนำถ่านกัมมันต์ที่ทำคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มาผสมกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (อัตราส่วนระหว่างถ่านกัมมันต์ : KOH สัดส่วนโดยมวลเป็น 1:5) และทำการกระตุ้นทางเคมีด้วยเครื่องกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็กที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 วัน หลังจากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปไล่ความชื้นที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง และทำการแยกเป็น 2 การศึกษาคาร์บอนในเซชันให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ใช้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสต่อนาที ล้างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือในสารผลิตภัณฑ์ด้วย สารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นและนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง (Fig.2)

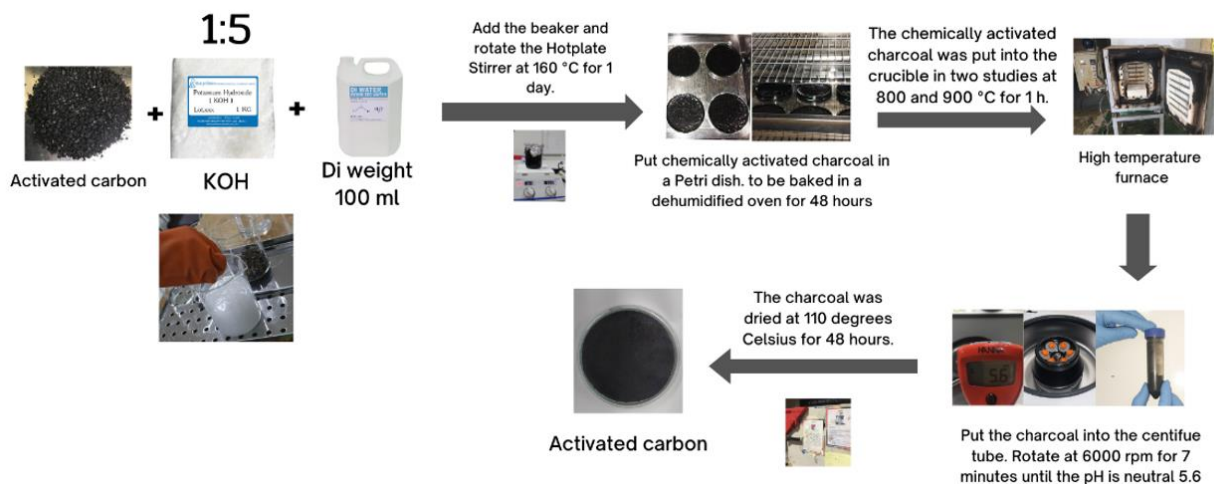


Figure 2 Activated carbon production process

2.3 การหาพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ พื้นที่ผิว (Surface area) และความเป็นรูพรุน (Porosity) ด้วยเครื่อง Specific surface area analyzer รุ่น Tristar II บริษัท Micromeritics (ASAP 2460) ด้วยวิธี BET (Brunauer-Emmett-Teller) โดยอาศัยเทคนิคการแทนที่พื้นที่ผิวหรือรูพรุนด้วยแก๊สไนโตรเจน

2.4 การตรวจหาลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์

การศึกษาโครงสร้างผลึกโดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer, XRD) รุ่น PW 3040/60 X'pert PRO Console บริษัท Phillips และการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพหรือลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) รุ่น LEO 1450 VP บริษัท LEO

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

จากการนำถ่านกะลามะพร้าวมาก่อถ่านกัมมันต์เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวโดยการนำถ่านกะลามะพร้าวมาก่อถ่านกัมมันต์ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่อัตราส่วนโดยมวล (Mass ratio) 1:5 ของถ่านต่อสารก่อกัมมันต์ จากการทดลองพบว่า พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโดยมวลของถ่านกะลามะพร้าวต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จากอัตราส่วนโดยมวลที่ 1:5 ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 800-900 องศาเซลเซียส อาจเนื่องมาจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไปพบว่าอัตราส่วนโดยมวลที่ 1:5 ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าพื้นที่ผิวสูงสุดเท่ากับ 693.84 ตารางเมตรต่อกรัม แสดงว่าระยะของอุณหภูมิการก่อกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการ ก่อถ่านกัมมันต์ของถ่าน คือ อัตราส่วนโดยมวลของถ่านกะลามะพร้าวต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น 1:5 ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 1 ชั่วโมง นอกจากนี้ จากการเปรียบเทียบอัตราส่วนโดยมวลของถ่านกัมมันต์กับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วนโดยมวล 1:5 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่า 1:5 ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส อธิบายได้ว่ามีความเป็นไปได้ว่าในกระบวนการก่อกัมมันต์โดยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะไปทำปฏิกิริยากับถ่านที่อยู่ในถ่าน [19] ซึ่งทำให้ไปลดจำนวนของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ คือ ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาทีเป็นต้นไป เพื่อที่จะทำให้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หลอมตัวเข้ากับสารตั้งต้นได้สมบูรณ์ (จุดหลอมเหลวของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 360 องศาเซลเซียส)

3.1 ผลการหาพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ในส่วนการวิเคราะห์พื้นที่ผิว รูพรุน ภายในจะใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดซับของก๊าซไนโตรเจน (N_2 adsorption) (Table 1) แสดงพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนจากกะลามะพร้าวกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยถ่านกัมมันต์ AC5-800-1 และ AC5-900-1 มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 343.01 และ 693.84 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ โดยมีขนาดรูพรุน 19.26 และ 18.29 อังสตรอม ตามลำดับ ซึ่งถ่านกัมมันต์ AC5-900-1 จะมีพื้นที่ผิวสูงสุด แสดงว่าการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วนโดยมวล 1:5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดรูพรุนเล็กที่สุดและพื้นที่ผิวสูงสุด ลักษณะไอโซเทอมในการดูดซับของวัสดุคาร์บอนของถ่านกัมมันต์ AC5-800-1 (Fig.3) และ AC5-900-1 (Fig.4) ซึ่งมีการจำแนกไอโซเทอมการดูดซับของสมดุลวัฏภาคแก๊สกับของแข็งเป็น 5 แบบ ตาม Brunauer, Deming, Deming และ Teller หรือ BDDT โดยที่ ถ่านกัมมันต์ AC5-800-1 และ AC5-900-1 มีลักษณะไอโซเทอมคล้ายกัน ซึ่งเป็นประเภทไอโซเทอมแบบที่ 4 จากกราฟแสดงให้การเรียงตัวของรูพรุนที่เป็นสองชั้น (Bilayer) เกิดจากมีรูพรุนหลายขนาด การดูดซับในรอบแรกแก๊สจะถูกดูดซับด้วยรูพรุนขนาดใหญ่ก่อน และเมื่อดูดซับอีกครั้งเมื่อผ่านรูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า ทำให้กราฟเปลี่ยนความชัน ซึ่งสอดคล้องกับภาพจาก SEM ที่แสดงให้เห็นว่าวัสดุคาร์บอนมีรูพรุนหลายขนาด และสอดคล้องกับกลไกในการกระตุ้นด้วย โพแทสเซียมที่ทำให้เกิดรูพรุนหลากหลายขนาด

Table 1 Surface area and pore size of activated carbon AC5-800-1 and AC5-900-1

Experiment	Conditions for activation			BET surface area (m ² /g)	Average pore size (angstrom)
	AC:KOH	Temperature (°C)	Time (hours)		
AC5-800-1	1:5	800	1	343.01	19.26
AC5-900-1	1:5	900	1	693.84	18.29

Note: The symbol, such as AC5-800-1, means that it is activated carbon with a ratio of activated carbon to KOH of 1:5 and activated at 800 °C for 1 hour, etc.

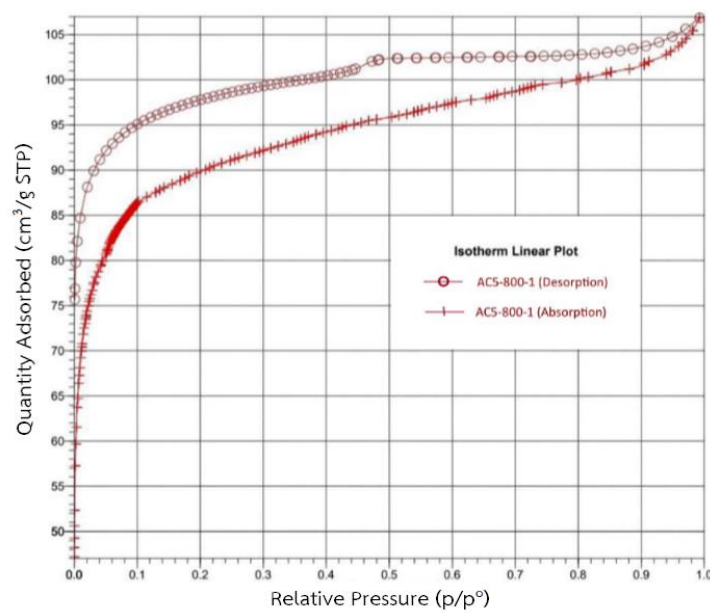


Figure 3 Isotherm characteristics of porous carbon material AC5-800-1-

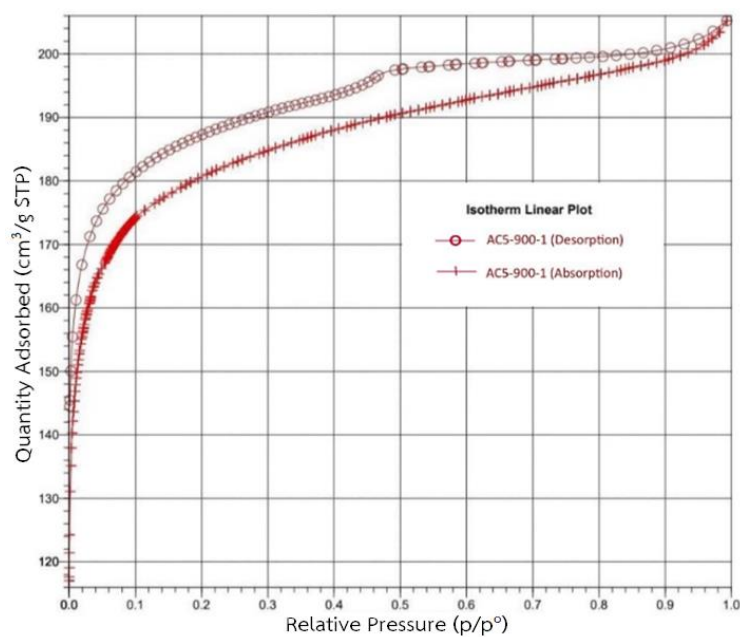


Figure 4 Isotherm characteristics of porous carbon material AC5-900-1

3.2 ผลการตรวจหาลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาอิทธิพลจากการคาร์บอนไนเซชันด้วยอุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส (CC-800 และ CC-900 ตามลำดับ) เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนและมีการกระตุ้นด้วยอัตราส่วนโดยมวล 1:5 สามารถบอกได้ว่า พื้นที่ผิวมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้า [20] ในส่วนนี้ได้เลือกถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วนโดยมวล 1:5 มาศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ 800 และ 900 องศาเซลเซียส (AC5-800-1 และ AC5-900-1 ตามลำดับ) การเปลี่ยนอุณหภูมิในกระบวนการคาร์บอนไนเซชันจะมีอิทธิพลต่อโครงสร้างภายในของคาร์บอน การจัดเรียงตัวความเป็นผลึกเป็นต้น ทำให้ในการศึกษาส่วนนี้ได้เพิ่มการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) แบบการเลี้ยวเบนของถ่านกัมมันต์ (Fig.5) ตำแหน่งพีคจะปรากฏที่มุมเทต้า (Theta) ตำแหน่งของพีคแสดงในตำแหน่งที่ 26 องศา (ระนาบ 002) และ 43 องศา (ระนาบ 100) แสดงว่าถ่านกัมมันต์มีลักษณะของโครงสร้างผลึกแกรไฟต์ (Graphite) [21] แต่พีคในตำแหน่งดังกล่าวจะต่ำและกว้างอยู่ในช่วง 20-30 องศา และ 40-50 องศา แสดงว่ายังมีลักษณะโครงสร้างเป็นคาร์บอนอสัณฐาน (Amorphous carbon) ปนอยู่ สามารถอธิบายได้ว่าระหว่างกระบวนการให้ความร้อนเกิดการจัดเรียงตัวของคาร์บอนเป็นชั้นระนาบของแกรไฟต์และในระหว่างการคาร์บอนไนเซชันจะมีการกระจายตัวของโครงสร้างแกรไฟต์แบบสุ่มในถ่านกัมมันต์ ทำให้ไม่มีความสมบูรณ์ของโครงสร้างผลึกคาร์บอน ซึ่งการให้ความร้อนที่สูงขึ้นของการคาร์บอนไนเซชันและการก่อกัมมันต์จะทำให้มีผลึกขนาดเล็กของแกรไฟต์มีความสมบูรณ์ขึ้นและส่งผลกระทบต่อค่าพื้นที่ที่ค้ำเฉพาะที่ดีขึ้น

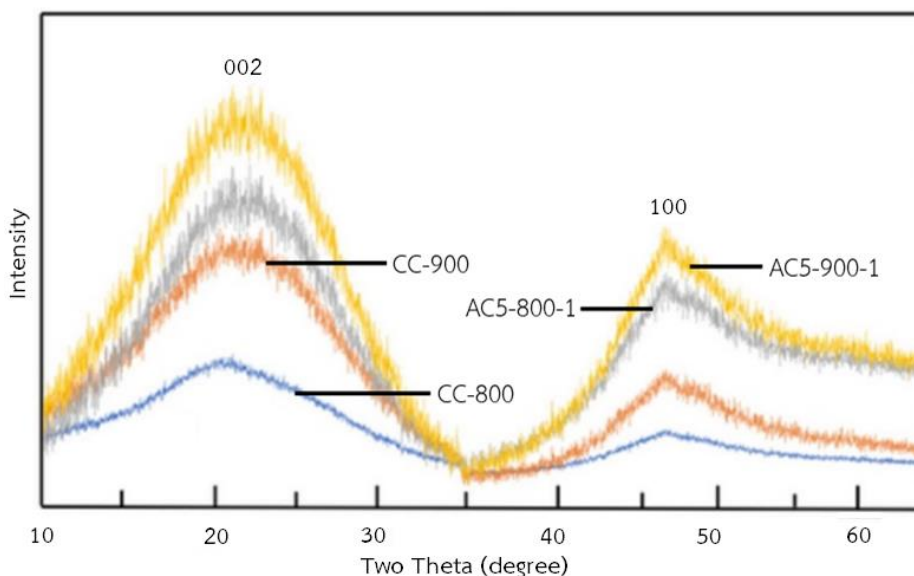


Figure 5 XRD images of carbon materials

3.3 ผลการศึกษาโครงสร้างอสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างอสัณฐานวิทยา (Morphology) และรูปร่างลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมี (AC0-800-1 และ AC0-900-1) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์รูพรุนจำนวนน้อยและมีขนาดไม่สม่ำเสมอ โดยมีอนุภาคขนาดเล็กปนอยู่จำนวนมากทั้งบริเวณผิวและในรูพรุน ซึ่งขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 0.5-10 ไมครอน (Fig.6) และรูปร่างลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมี (AC5-800-1 และ AC5-900-1) จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยรูพรุนขนาดต่างๆ กระจายบนคาร์บอน (Fig.7) โครงสร้างของรูพรุนมีลักษณะคล้ายกับแคพิลลารี (Capillary) ในลักษณะเป็นท่อหรือหลอดยาวขนาดเล็กมาก ซึ่งรูพรุนเหล่านี้เป็นผลมาจากการสลายตัวของสารก่อกัมมันต์หรือเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างคาร์บอนอะตอมกับสารก่อกัมมันต์ (KOH) ระหว่างกระบวนการตั้งปฏิกิริยา [22]



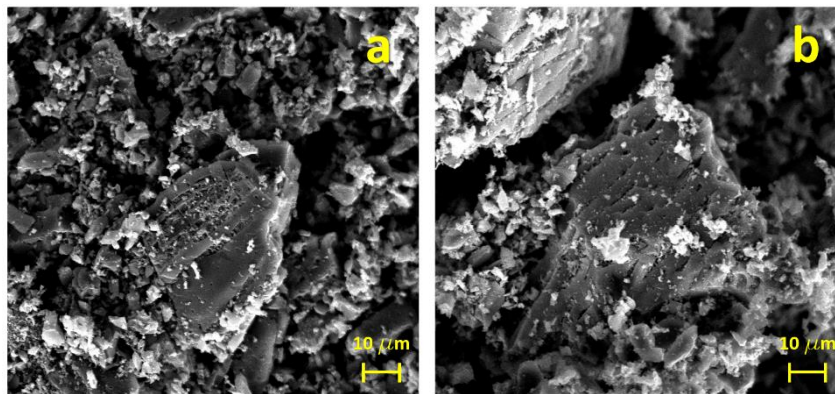


Figure 6 SEM images of carbon materials for (a) AC0-800-1 and (b) AC0-900-1

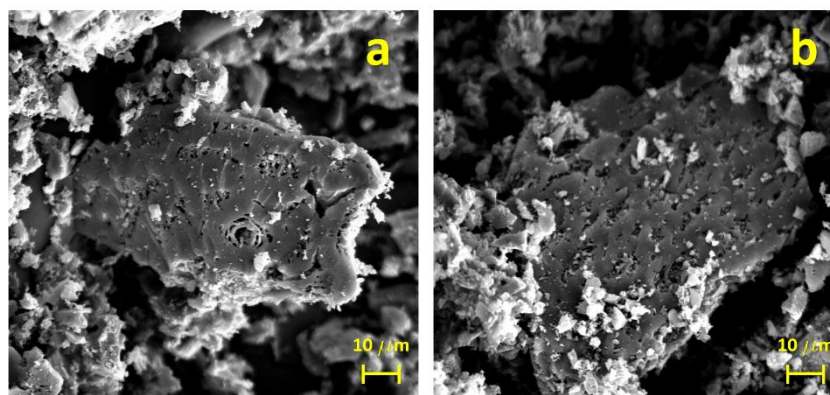


Figure 7 SEM images of carbon materials for (a) AC5-800-1 and (b) AC5-900-1

จากภาพ SEM มีลักษณะคล้ายกันคือปรากฏอนุภาคขนาดเล็กของสิ่งปนเปื้อนบนพื้นผิวภายนอก และภายในรูพรุนของผง ถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ สำหรับถ่านกัมมันต์จะมีสิ่งปนเปื้อนน้อยกว่ามาก โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีรูพรุนอยู่ในช่วง 3-10 ไมครอน ซึ่งรูพรุนส่วนใหญ่จะเป็น รูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) และรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้สามารถจำลองโครงสร้างภายใน (Fig.8)

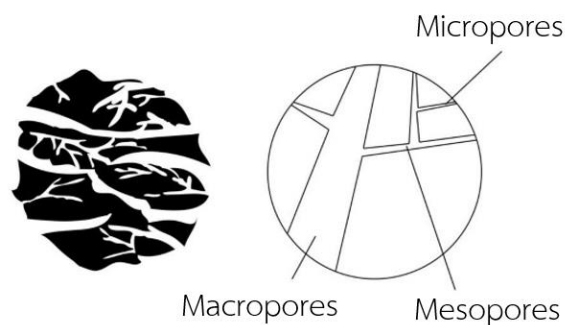


Figure 8 Model of the internal structure of activated carbon [23]

3.4 การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economics evaluation) เป็นการศึกษาต้นทุนการผลิตและผลผลิตอย่างมีระบบ การศึกษาต้นทุนการผลิตถ่านกัมมันต์จากผลิตภัณฑ์เหลือทิ้งทางการเกษตรที่ผ่านมามีรายงานน้อยมาก ในงานวิจัยนี้จึงเสนอการประเมินทางเศรษฐศาสตร์แบบง่ายเพื่อศึกษาต้นทุนการผลิต ได้แก่ วัตถุดิบ (กะลามะพร้าว) สารก่อกัมมันต์ (KOH) กรด (HCl) น้ำ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ เป็นต้น การประมาณการราคาต้นทุนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการเปรียบเทียบกับราคาขายถ่านกัมมันต์ในประเทศ (Table 2) พบว่าต้นทุนการผลิตถ่านกัมมันต์สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ เท่ากับ 131.35 บาทต่อกิโลกรัม ขณะที่ราคาในท้องตลาดขายในปัจจุบันประมาณ 373.72 บาทต่อกิโลกรัม

Table 2 Price estimation of activated carbon production cost for 1 kg

List	Unit price (baht/unit)	Amount used	Total price (Baht)
Coconut shell (kg)	5	1 kg	5.00
KOH (kg)	130	0.5 kg	65.00
HCl (kg)	10.50	0.04 kg	0.42
DI water (kg)	0.02	46.8 kg	0.93
Energy (kWh)	4	15.0 kWh	60.00
Total price			131.35
Activated Carbon Trading Price			~ 373.72

Note: Cost per production unit is an estimation of the market price.

4. สรุป

การศึกษานี้ได้นำกะลามะพร้าวลูกผสมสามทางพันธุ์ชุมพร 1 ขนาด 1.5 มิลลิเมตร มาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพโดยการให้ความร้อนในการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้น จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน เพื่อให้ได้เป็นถ่านกัมมันต์ จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ไปกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนโดยมวล 1:5 เป็นระยะเวลา 1 วัน เพื่อกระตุ้นให้รูพรุน และแบ่งเป็น 2 กรณีการศึกษาโดยนำไปผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส เพื่อกระตุ้นทางกายภาพร่วมกับการกระตุ้นทางเคมี และกำจัดส่วนประกอบที่ยังตกค้างหลงเหลือ จากการวิเคราะห์ด้วย SEM เห็นลักษณะทางกายภาพของรูพรุนจากการวิเคราะห์ด้วย BET สามารถกระตุ้นคาร์บอนได้พื้นที่ผิว 343.01 ตารางเมตรต่อกรัม และ 693.84 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ โดยมีขนาดรูพรุน 19.26 อังสตรอม 18.29 อังสตรอม ตามลำดับ จากวิเคราะห์ด้วย XRD จากตำแหน่งค่าพีคอยู่ในช่วง 20-30 องศา และ 40-50 องศา จากการศึกษาวิเคราะห์ด้วยวิเคราะห์ SEM XRD และ BET เมื่อพิจารณาแล้วการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมทำให้กะลามะพร้าวเกิดรูพรุนมากขึ้น รูพรุนมีผลต่อความจุและความเสถียร นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ถ่านกัมมันต์ทางเคมีจะมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำเท่ากับ 131.35 บาทต่อกิโลกรัม ในขณะที่ราคาขายในท้องตลาดมีราคาประมาณ 373.72 บาทต่อกิโลกรัม

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณทาง ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยและสถานที่ให้กับโครงการวิจัยนี้ รวมทั้งคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Aurbach, D., Markovsky, B., Weissman, I., Levi, E. and Ein-Eli, Y. 1999. On the correlation between surface chemistry and performance of graphite negative electrodes for Li ion batteries. *Electrochimica Acta*. 45: 67-86.
- [2] Aurbach, D., Markovsky, B., Levi, M.D., Levi, E., Schechter, A., Moshkovich, M. and Cohen, Y. 1999. New insights into the interactions between electrode materials and electrolyte solutions for advanced nonaqueous batteries. *Journal of Power Sources*. 81-82: 95-111.
- [3] Dahn, J. R., Zheng, T., Liu, Y. and Xue, J. S. 1995. Mechanisms for lithium insertion in carbonaceous materials. *Science*. 270: 590-593.
- [4] Yata, S., Kinoshita, H., Komori, M., Ando, N., Kashiwamura, T., Harada, T., Tanaka, K. and Yamabe, T. 1994. Structure and properties of deeply Li-doped polyacenic semiconductor materials beyond C₆Li stage. *Synthetic Metals*. 62: 153-158.
- [5] Xue, M. Z., Yao, J., Cheng, S. C. and Fu, Z. W. 2006. Lithium electrochemistry of a novel SnSe thin-film anode. *Journal of The Electrochemical Society*. 153: A270-A274.
- [6] Martos, M., Morales, J. and Sánchez, L. 2002. Mechanochemical synthesis of Sn_{1-x}Mo_xO₂ anode materials for Li-ion batteries. *Journal of Materials Chemistry*. 12: 2979-2984.
- [7] Liu, Y., Xue, J. S., Zheng, T. and Dahn, J. R. 1996. Mechanism of lithium insertion in hard carbons prepared by pyrolysis of epoxy resins. *Carbon*. 34: 193-200.
- [8] Fey, G. T. K., Lee, D. C. and Lin, Y. Y. 2003. High-capacity carbons prepared from acrylonitrile-butadiene-styrene terpolymer for use as an anode material in lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*. 119-121: 39-44.
- [9] Kim, Y. J., Lee, H. J., Lee, S. W., Cho, B. W. and Park, C. R. 2005. Effects of sulfuric acid treatment on the microstructure and electrochemical performance of a polyacrylonitrile (PAN)-based carbon anode. *Carbon*. 43: 163-169.
- [10] Fey, G. T. K., Lee, D. C., Lin, Y. and Kumar, P. 2003. High-capacity disordered carbons derived from peanut shells as lithium-intercalating anode materials. *Synthetic Metals*. 139: 71-80.
- [11] Xing, W., Dunlap, R. A. and Dahn, J. R. 1998. Studies of lithium insertion in Ballmilled sugar carbons. *Journal of The Electrochemical Society*. 145: 62-70.
- [12] Fey, G. T. K. and Chen, C. L. 2001. High-capacity carbons for lithium-ion batteries prepared from rice husk. *Journal of Power Sources*. 97: 47-51.
- [13] Emanuel, P., Victor, E. and Yuri, R. 1998. Study of lithium insertion in hard carbon made from cotton wool. *Journal of Power Sources*. 76: 153-158.
- [14] Gibaud, A., Xue, J. S. and Dahn, J. R. 1996. A small angle X-ray scattering study of carbons made from pyrolyzed sugar. *Carbon*. 34: 499-503.
- [15] Xing, W., Xue, J. S., Zheng, T., Gibaud, A. and Dahn, J. R. 1996. Correlation between lithium intercalation capacity and microstructure in hard carbons. *Journal of The Electrochemical Society*. 143: 3482-3491.
- [16] Fey, G. T. K. and Kao, Y. C. 2002. Synthesis and characterization of pyrolyzed sugar carbons under nitrogen or argon atmospheres as anode materials for lithium-ion batteries. *Materials Chemistry and Physics*. 73: 37-46.
- [17] Fey, G. T. K., Chen, K. L. and Chang Y. C. 2002. Effects of surface modification on the electrochemical performance of pyrolyzed sugar carbons as anode materials for lithium-ion batteries. *Materials Chemistry and Physics*. 76: 1-6.
- [18] Wang, G. X., Ahn, J. H., Lindsay, M. J., Sun, L., Bradhurst, D. H., Dou, S. X. and Liu, H. K. 2001. Graphite-Tin composites as anode materials for lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*. 97: 211-215.

- [19] Baccar, R., Bouzid, J., Feki, M. and Montiel, A. 2009. Preparation of activated carbon from Tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions. J Hazard Mater. 162: 1522-1529.
- [20] Dolores, L. C., D., C. A. and Angel, L. S. 2002. Powdered activated carbons and activated carbon fibers for methane storage: a comparative study. Energy Fuels. 16: 1321-1328.
- [21] ธรพงษ์ วิทิตสานต์. 2554. ถ่านกัมมันต์การผลิตและการนำไปใช้. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, ขอนแก่น.
- [22] Quan, X., Zhang, Y., Zhao, Y. and Yang, F. 2007. Generation of hydroxyl radical in aqueous solution by microwave energy using activated carbon as catalyst and its potential in removal of persistent organic substances. Molecular Catalysis. 263: 216-222.
- [23] พิทักษ์ อยู่มี. 2558. การเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงจากผงถ่านไม้โดยการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 43(4). 788-798.

ตู้ล็อกเกอร์ยืม-คืนของอัจฉริยะ Smart Circulation Locker

สักกะพันธ์ คล้ายดอกจันทร์^{1*}, กฤษฏายุทธิ์ เมืองด้วง¹, ณัฐภูมิินทร์ จอมทอง¹ และ นภสรพี สิทธิวัฒน์¹
Sakapan Klaydokjan^{1*}, Kritsadayut Muangdong¹, Nutthapumin Chomtong¹ and Naphasrapee Sittiwat¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
¹Department of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon
*Corresponding author: Sakapan Klaydokjan, e-mail address: sakapan.kl@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอตู้ล็อกเกอร์ยืม-คืนของอัจฉริยะ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้บริการยืมเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ล็อกเกอร์ที่ออกแบบมีขนาด 9 ช่อง โดยระบบจะประกอบด้วย 6 ส่วน คือ ระบบสแกนอาร์เอฟไอดี (RFID) เพื่อระบุตัวตนผู้ยืมของ ระบบตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยเอ็นเอฟซี (NFC) ระบบปลดล็อกช่องเก็บของด้วยจอสัมผัส ระบบแจ้งเตือนบุคคลที่ยืมของไปยังแอปพลิเคชันไลน์และเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลบนกูเกิลชีต ระบบส่งรูปภาพไปยังแอปพลิเคชันไลน์ และการแสดงผลประวัติบุคคลที่ยืมของด้วยดาต้าสตูดิโอ โดยที่ระบบสแกนอาร์เอฟไอดีเพื่อระบุตัวตนผู้ยืมของ ประกอบไปด้วย โมดูลอาร์เอฟไอดี (RFID Module) ที่ต่อใช้งานกับบอร์ดไอเอสพี 8266 (ESP8266) ใช้ในการส่งแจ้งเตือนบุคคลที่ยืมของไปยังแอปพลิเคชันไลน์และเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลกูเกิลชีต (Google sheets) และโมดูลอาร์เอฟไอดียังใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยเอ็นเอฟซีอีกด้วย ในส่วนของการปลดล็อกช่องเก็บของด้วยจอสัมผัสจะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino mega 2560) เป็นหน่วยประมวลผล โดยเริ่มจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รับสัญญาณจากหน้าจอสัมผัสและและส่งสัญญาณไปควบคุมการเปิด-ปิดช่องเก็บของ และเมื่อเปิดหรือปิดช่องเก็บของบอร์ดไอเอสพี 32 แคม (ESP32-CAM) จะบันทึกภาพและส่งไปยังแอปพลิเคชันไลน์ จากการทดลองตู้ล็อกเกอร์สามารถเลือกช่องที่ต้องการได้จากหน้าจอสัมผัส นอกจากนี้ตู้ล็อกเกอร์ยังสามารถสแกนบัตรอาร์เอฟไอดีเพื่อยืนยันตัวตน และสแกนตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยเอ็นเอฟซีได้ สามารถแจ้งเตือนบุคคลที่ยืมของไปยังแอปพลิเคชันไลน์และเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลได้ ภาพที่บันทึกสามารถส่งไปยังแอปพลิเคชันไลน์ได้ โดยไม่มีความผิดพลาด

คำสำคัญ: ตู้ล็อกเกอร์อัจฉริยะ, อาร์เอฟไอดี, แอปพลิเคชันไลน์, กูเกิลชีต

Abstract

This article presents a Smart Circulation Locker. The purpose is to provide a service to borrow tools used in the laboratory. The designed locker has 9 compartments in total. This Locker consists of 6 parts: RFID scanning system (RFID) to identify the borrower's identity. The NFC device authentication system is used for checking the equipment. The system can unlock the storage compartment with a touch screen. The system notifies the person who borrows the items to the LINE application and stores the data in the database on Google Sheets. The system sends pictures to the LINE application and the display of the user's history with Data Studio. The RFID scanning system to identify the borrower consists of an RFID module that is connected to the ESP8266 board (ESP8266) used to send notifications. It alerts the borrower to the LINE application and stores the data in the Google sheet database. The RFID module is also used to authenticate the device with NFC. In the part of unlocking the storage compartment with the touch screen, it uses a microcontroller board (Arduino mega 2560) as a processor. The microcontroller will receive the signal from the touch screen and sends the signal to control the opening and closing of the storage compartment. And when opening or closing the locker, the ESP32-CAM (ESP32-CAM) will record the image and send it to the application line. As a result of the locker experiment, the desired compartment can be selected from the touch screen. Additionally, the lockers can scan RFID cards for identity verification and can scan the device with NFC able to notify people who borrowed the items to the LINE application and store data in the database. The captured images can be sent to the LINE application without errors.

Keywords: smart locker, RFID, application line, Google Sheets

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีหลายสถานที่ให้บริการตู้ล็อกเกอร์ฝากของไม่ว่าจะเป็นสถานศึกษา ห้างสรรพสินค้า สนามบิน ห้องสมุด โรงแรม เยี่ยมเยียม และโรงงาน เป็นต้น ส่วนมากจะเป็นตู้ล็อกเกอร์ที่ใช้กุญแจ และมีบางส่วนใช้การสแกนด้วยบัตรอาร์เอฟไอดี ซึ่งระบบแบบนี้มักจะมีข้อเสียตรงที่การลืมบัตร หรือทำกุญแจหาย เมื่อเทคโนโลยีด้านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) เข้ามามีบทบาท พัฒนาการควบคุมระยะไกลมากขึ้นเช่น ระบบควบคุมการเปิด-ปิดไฟผ่านแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ [1] และการพัฒนาระบบเปิด-ปิดไฟด้วยไมโครเซนเซอร์ควบคู่กับแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน [2] ซึ่งทั้งคู่ใช้แอปพลิเคชัน Blynk ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Esp8266 ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งต่อมาได้มีการนำเทคโนโลยีด้านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งมาใช้กับตู้ล็อกเกอร์เช่นกัน และเป็นการออกแบบตู้ล็อกเกอร์เน้นให้บริการฝากของมากกว่าการยืมของ เช่น ตู้ล็อกเกอร์อัจฉริยะสำหรับบัณฑิตในพิธีพระราชทานปริญญาบัตร [3] ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล MySQL เพื่อตรวจสอบว่าค่ารหัสจากแท็กอาร์เอฟไอดี ส่วนตู้ล็อกเกอร์อัจฉริยะควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน [4] และ [5] จะใช้การพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 และใช้ firebase เป็นแม่ข่ายระบบฐานข้อมูล

แต่ในบางสถานที่ที่ต้องการใช้ตู้ล็อกเกอร์ให้บริการยืมของเช่น สถานศึกษา และโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่จะมีห้องปฏิบัติงานที่มีตู้เก็บของในการเก็บอุปกรณ์ของแต่ละแผนกงานอย่างเช่น แผนกไฟฟ้าที่มีตู้เก็บมัลติมิเตอร์ ออสซิลอสโคป แคลลมมิเตอร์ แผนกเครื่องกลอย่างเช่น ไดอัลเกจ สว่านไฟฟ้า ริเวท เวอร์เนีย เป็นต้น ซึ่งมักจะมีปัญหาการหยิบยืมอุปกรณ์แล้วไม่ทราบว่าใครเป็นคนยืมไป อุปกรณ์สูญหายอุปกรณ์เสียหายไม่ทราบผู้กระทำ ตู้ล็อกเกอร์ยืม-คืนของอัจฉริยะจะสามารถติดตามผู้ที่ยืมอุปกรณ์ไปได้ และหากอุปกรณ์เสียหายที่ผู้ใช้คนใดคนหนึ่งจะสามารถหาคนรับผิดชอบได้ โดยงานวิจัยนี้จะใช้อาร์เอฟไอดีเพื่อระบุตัวตนผู้ยืม และใช้ระบบตรวจสอบอุปกรณ์ด้วยเอ็นเอฟซี และส่งข้อมูลผู้ใช้งานจาก ESE8266 ไปเก็บไว้บนฐานข้อมูลกูเกิลชีต [6] และแสดงประวัติผู้ยืมอุปกรณ์บนเว็บตาต้าสตูดิโอ โดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ควบคุมกลอนไฟฟ้าของตู้ล็อกเกอร์ และใช้ ESP32-CAM [7] ในการบันทึกภาพผู้ใช้งานขณะเปิดและปิดตู้ล็อกเกอร์ โดยจะแจ้งสถานะของตู้ล็อกเกอร์ต่าง ๆ ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ของสมาชิกผู้มีสิทธิยืมของ

2. วิธีการศึกษา

จาก Figure 1 เป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานของตู้ล็อกเกอร์ยืม-คืนของอัจฉริยะประกอบไปด้วย 6 ส่วนหลัก คือ

- 1) การระบุตัวตนผู้ยืม ส่วนนี้จะใช้อาร์เอฟไอดี
- 2) การตรวจสอบอุปกรณ์ที่ยืมโดยใช้แท็กเอ็นเอฟซี
- 3) การควบคุมตู้ล็อกเกอร์โดยใช้หน้าจอสัมผัสร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอินเมกะ 2560 ควบคุมกลอนไฟฟ้า
- 4) การเก็บข้อมูลต่าง ๆ ทั้งของผู้ยืมและอุปกรณ์ที่ยืมไปยังฐานข้อมูลกูเกิลชีตและแสดงผลที่ตาต้าสตูดิโอ
- 5) การบันทึกภาพผู้ใช้งานขณะเปิดและปิดตู้ล็อกเกอร์
- 6) การแจ้งเตือนสถานะของอุปกรณ์ผ่านแอปพลิเคชันไลน์

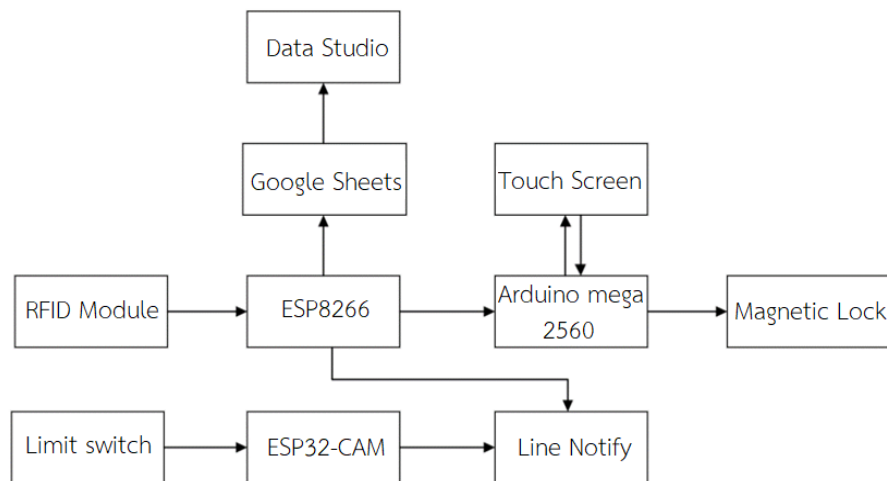


Figure 1 Block diagram of the smart circulation locker

2.1 การเก็บข้อมูลบนฐานข้อมูลและส่งแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์

การทำงานของระบบการเก็บข้อมูลบนฐานข้อมูลและแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์ มีลำดับการทำงานดังต่อไปนี้ เมื่อสแกนบัตรอาร์เอฟไอดี โมดูลอาร์เอฟไอดีจะตรวจสอบเลขไอดีที่อยู่ในบัตรอาร์เอฟไอดี ถ้าหากเลขไอดีในบัตรตรงกับเลขไอดีที่อยู่ในฐานข้อมูล บอร์ดอีเอสพี 8266 จะเก็บข้อมูลรายชื่อไว้ และเมื่อนำอุปกรณ์ออกจากช่องเก็บของแล้วนำแท็กเอ็นเอฟซีที่ติดกับอุปกรณ์มาสแกนที่โมดูลอาร์เอฟไอดี โมดูลอาร์เอฟไอดีจะตรวจสอบเลขไอดีอีกครั้ง จากนั้นข้อมูลรายชื่อ ชื่ออุปกรณ์ที่ยืม วันที่ยืม และเวลาที่ยืมจะถูกส่งไปยังฐานข้อมูลกิลด์และแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์ และสแกนแท็กเอ็นเอฟซีเพื่อแสดงชื่ออุปกรณ์ที่ยืม บอร์ดอีเอสพี 8266 จะส่งข้อมูลไปเก็บยังกิลด์ และแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์ ข้อความที่แจ้งเตือนจะเป็นชื่อผู้ยืม เวลาที่ยืมอุปกรณ์ และชื่ออุปกรณ์

2.2 การใช้งานหน้าจอสัมผัส

การใช้งานหน้าจอสัมผัส มีการทำงานตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้ เมื่อสแกนบัตรอาร์เอฟไอดีหน้าจอสัมผัสจะเลื่อนไปยังหน้าเลือกช่องอุปกรณ์อัตโนมัติ ถ้าหากยังไม่ได้สแกนบัตรอาร์เอฟไอดีหน้าจอสัมผัสจะอยู่ที่หน้าแรกซึ่งยังไม่สามารถเลือกช่องอุปกรณ์ได้ ต้องสแกนบัตรอาร์เอฟไอดีก่อนเท่านั้นถึงจะสามารถเลือกช่องอุปกรณ์ได้ เมื่อเลือกช่องอุปกรณ์ที่ต้องการจากหน้าจอสัมผัสบอร์ด Arduino Mega 2560 จะส่งสัญญาณไปเปิดสวิตช์ปลดล็อคสถานะของตู้ล็อคเกอร์และวงจรรีเลย์กลอนไฟฟ้าจะทำงาน เมื่อประตูล็อคเกอร์เปิดปลดล็อคสถานะของตู้ล็อคเกอร์จะดับลง

2.3 การบันทึกภาพผู้ใช้งาน

การบันทึกภาพผู้ใช้งาน มีการทำงานตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้ ในขณะที่ช่องเก็บอุปกรณ์ปิดอยู่ ลิ้มิตสวิตช์มีสถานะเป็นปกติเปิด เมื่อมีการเปิดช่องเก็บอุปกรณ์ลิ้มิตสวิตช์จะเปลี่ยนเป็นสถานะปกติปิดจะเริ่มบันทึกภาพครั้งแรก และเมื่อปิดช่องเก็บอุปกรณ์ลิ้มิตสวิตช์จะเปลี่ยนเป็นสถานะปกติเปิด และบันทึกภาพอีกครั้ง ทุกครั้งที่บอร์ดอีเอสพี 32 แคมบันทึกภาพจะส่งภาพที่บันทึกไปยังแอปพลิเคชันไลน์ ซึ่งบุคคลที่สามารถดูภาพได้จะมีแค่แอดมินที่ดูแลตู้ล็อคเกอร์ยืม-คืนของอัจฉริยะเท่านั้น

2.4 แผนผังการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี

จาก Figure 2 เป็นแผนผังการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้กับระบบอาร์เอฟไอดีจำเป็นต้องมีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตในการส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูลและแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์ ระบบอาร์เอฟไอดีแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1) การเช็คเลขไอดีจากบัตรอาร์เอฟไอดี 2) การเก็บข้อมูลบนฐานข้อมูลและแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์

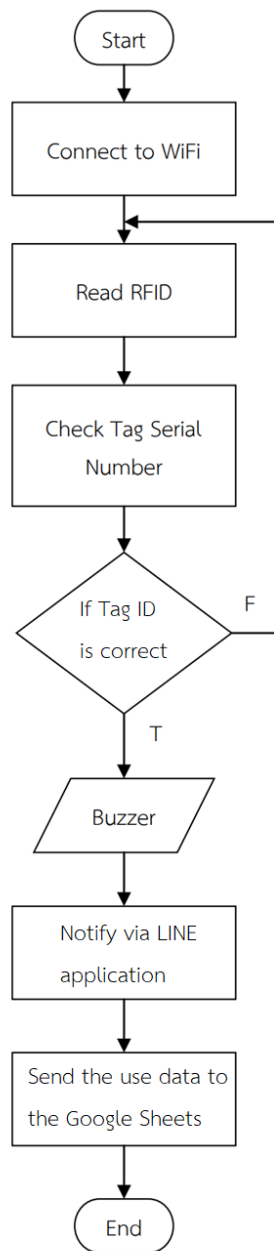


Figure 2 RFID card Verification and sending data to be stored and displayed

2.5 แผนผังการทำงานของหน้าจอสัมผัส

จาก Figure 3 เป็นแผนผังการทำงานของหน้าจอสัมผัสเริ่มจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รับสัญญาณดิจิทัลจากโมดูลอาร์เอฟไอดีเพื่อเข้าสู่หน้าเลือกหมายเลขช่องเก็บอุปกรณ์ผ่านหน้าจอสัมผัสของผู้ล็อกเกอร์ จากนั้นเมื่อผู้ใช้บริการเลือกช่องเก็บอุปกรณ์แล้วล็อกเกอร์จะปลดล็อกกลอนไฟฟ้า

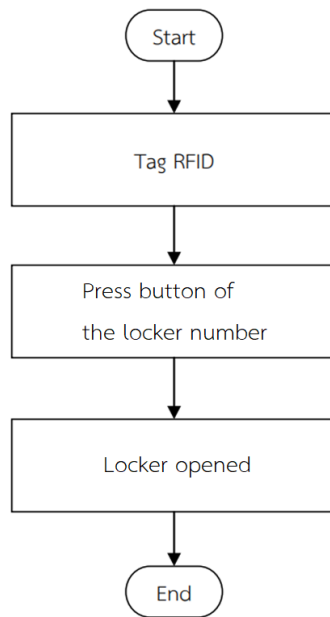


Figure 3 Choosing a locker from the touch screen

2.6 แผนผังการทำงานของระบบบันทึกภาพผู้ใช้งาน

จาก Figure 4 เป็นแผนผังการทำงานของระบบบันทึกภาพของผู้ใช้งาน เริ่มการทำงานโดยผู้ใช้งานเปิดตู้ล็อกเกอร์ กล้องจะบันทึกภาพผู้ใช้งานครั้งแรก และส่งรูปภาพไปยังแอปพลิเคชันไลน์ จากนั้นเมื่อผู้ใช้ปิดตู้ล็อกเกอร์กล้องจะบันทึกภาพและส่งรูปภาพไปยังแอปพลิเคชันไลน์อีกครั้ง เพื่อเป็นการยืนยันว่าผู้ใช้งานเป็นคนเดียวกันที่ยืมหรือคืนอุปกรณ์ รูปภาพนี้จะเห็นเฉพาะแอดมินผู้ดูแลตู้ล็อกเกอร์ยืม-คืนของอัจฉริยะเท่านั้น

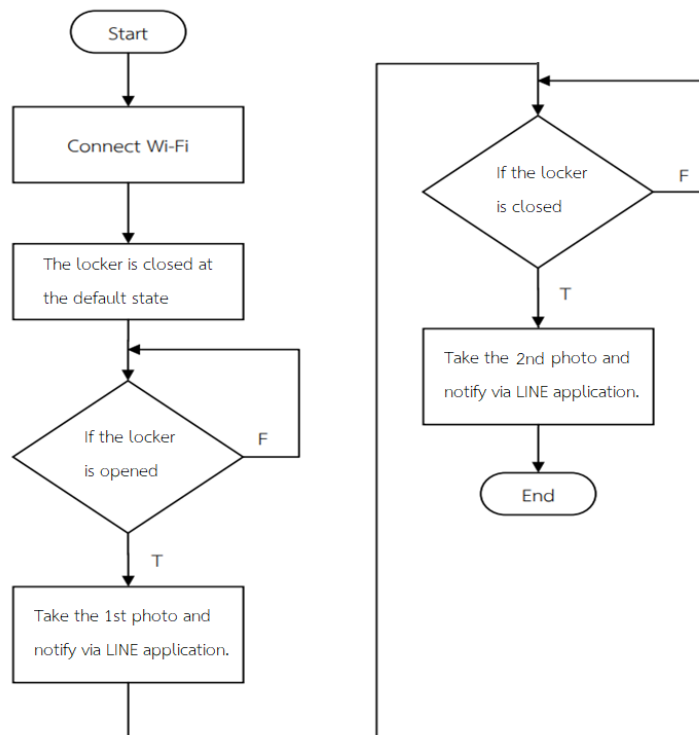


Figure 4 Flowchart diagram of user image recording system

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

ผลการศึกษาและวิจารณ์ตู้ล็อกเกอร์ยืม-คืนของอัจฉริยะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1) การทดลองสแกนบัตรอาร์เอฟไอดี และแท็กเอ็นเอฟซี 2) การทดลองการปลดล็อกช่องล็อกเกอร์โดยการเลือกหมายเลขช่องบนหน้าจอสัมผัส

3.1 การทดลองสแกนบัตรอาร์เอฟไอดีและแท็กเอ็นเอฟซี

การทดลองสแกนบัตรอาร์เอฟไอดี มีการทดลองตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้ เริ่มจากการนำบัตรอาร์เอฟไอดี และหรือให้บัตรอยู่ใกล้กับโมดูลอาร์เอฟไอดีที่อยู่หน้าตู้คอนโทรล หลังจากสแกนเสร็จบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะเปรียบเทียบเลขไอดีจากบัตรอาร์เอฟไอดีแต่ละใบกับฐานข้อมูล หากเลขไอดีตรงกับข้อมูลในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ข้อมูลรายชื่อจะถูกส่งไปเก็บบนฐานข้อมูลเกิลชิตและส่งแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์เมื่อมีการสแกนแท็กเอ็นเอฟซีของอุปกรณ์ โดยในการทดลอง จะมีการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้ง เก็บผลการทดลองลงใน Table 1



Figure 5 RFID card scanning

จาก Figure 5 เป็นการสแกนบัตรอาร์เอฟไอดีเพื่อเข้าสู่หน้าเลือกช่องอุปกรณ์ และเปรียบเทียบเลขไอดีจากบัตรอาร์เอฟไอดีกับฐานข้อมูลของบัตร



Figure 6 NFC tag scanning

จาก Figure 6 เป็นการนำอุปกรณ์ที่ติดแท็กเอ็นเอฟซีมาส่งแก๊งเพื่อระบุอุปกรณ์ที่ยืมหรือคืนและส่งแจ้งเตือนข้อมูลสมาชิกพร้อมทั้งชื่อของอุปกรณ์ไปยังแอปพลิเคชันไลน์

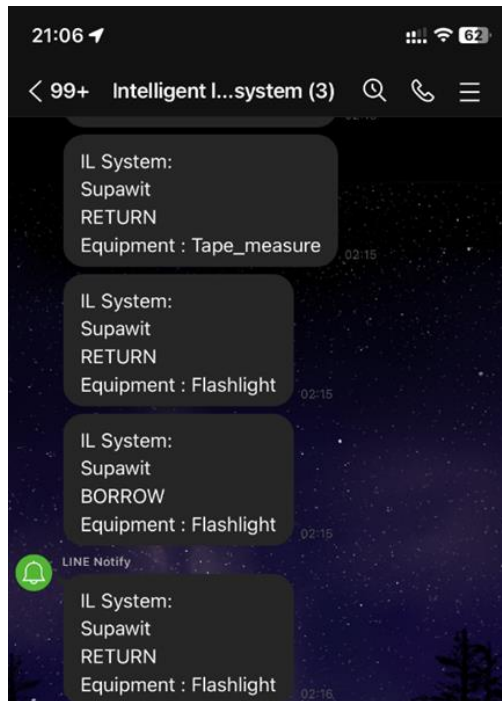
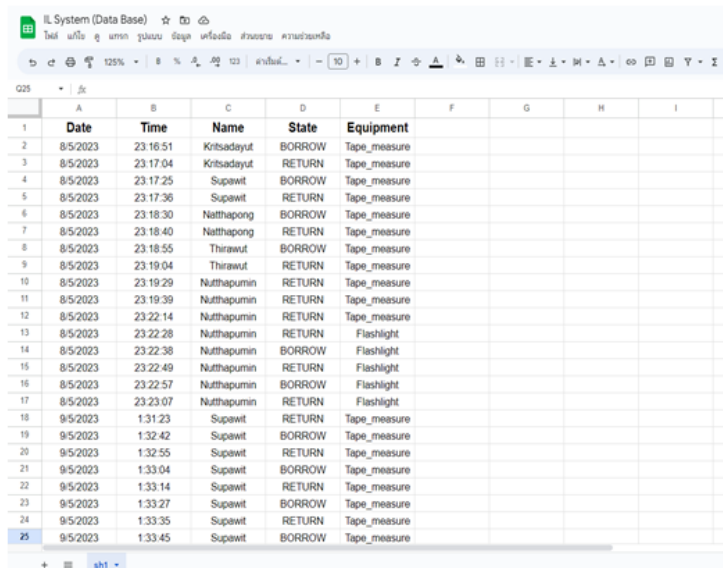


Figure 7 Notification message on LINE application

จาก Figure 7 เป็นข้อความที่ถูกส่งจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยข้อความที่ส่งมามี 3 ชุดข้อมูลได้แก่ 1) ข้อมูลรายชื่อ 2) สถานการณ์ยืม-คืน 3) อุปกรณ์ที่ยืม-คืน



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Date	Time	Name	State	Equipment				
2	8/5/2023	23:16:51	Kritsadayut	BORROW	Tape_measure				
3	8/5/2023	23:17:04	Kritsadayut	RETURN	Tape_measure				
4	8/5/2023	23:17:25	Supawit	BORROW	Tape_measure				
5	8/5/2023	23:17:36	Supawit	RETURN	Tape_measure				
6	8/5/2023	23:18:30	Natthapong	BORROW	Tape_measure				
7	8/5/2023	23:18:40	Natthapong	RETURN	Tape_measure				
8	8/5/2023	23:18:55	Tharawat	BORROW	Tape_measure				
9	8/5/2023	23:19:04	Tharawat	RETURN	Tape_measure				
10	8/5/2023	23:19:29	Nutthapumin	RETURN	Tape_measure				
11	8/5/2023	23:19:39	Nutthapumin	RETURN	Tape_measure				
12	8/5/2023	23:22:14	Nutthapumin	RETURN	Tape_measure				
13	8/5/2023	23:22:28	Nutthapumin	RETURN	Flashlight				
14	8/5/2023	23:22:38	Nutthapumin	BORROW	Flashlight				
15	8/5/2023	23:22:49	Nutthapumin	RETURN	Flashlight				
16	8/5/2023	23:22:57	Nutthapumin	BORROW	Flashlight				
17	8/5/2023	23:23:07	Nutthapumin	RETURN	Flashlight				
18	9/5/2023	1:31:23	Supawit	RETURN	Tape_measure				
19	9/5/2023	1:32:42	Supawit	BORROW	Tape_measure				
20	9/5/2023	1:32:55	Supawit	RETURN	Tape_measure				
21	9/5/2023	1:33:04	Supawit	BORROW	Tape_measure				
22	9/5/2023	1:33:14	Supawit	RETURN	Tape_measure				
23	9/5/2023	1:33:27	Supawit	BORROW	Tape_measure				
24	9/5/2023	1:33:35	Supawit	RETURN	Tape_measure				
25	9/5/2023	1:33:45	Supawit	BORROW	Tape_measure				

figure 8 Loan-return history data on the Google Sheets

จาก Figure 8 คือข้อมูลประวัติการยืม-คืนของบนฐานข้อมูลกูเกิลชีตโดยมี 5 ชุดข้อมูล คือ 1) วันที่ที่ยืม-คืน 2) เวลาที่ยืม-คืน 3) ชื่อผู้ยืม-คืนของ 4) สถานะการยืม-คืน 5) อุปกรณ์ที่ยืม-คืน

Table 1 Result of scanning RFID cards and NFC tags

Card Number	Number of time					Error (%)
	1	2	3	4	5	
RFID No.1	✓	✓	✓	✓	✓	0%
RFID No.2	✓	✓	✓	✓	✓	0%
RFID No.3	✓	✓	✓	✓	✓	0%
RFID No.4	✓	✓	✓	✓	✓	0%
RFID No.5	✓	✓	✓	✓	✓	0%
NFC No.1	✓	✓	✓	✓	✓	0%
NFC No.2	✓	✓	✓	✓	✓	0%
NFC No.3	✓	✓	✓	✓	✓	0%
NFC No.4	✓	✓	✓	✓	✓	0%
NFC No.5	✓	✓	✓	✓	✓	0%

จาก Table 1 จะเห็นว่าการทอตรวจสอบบัตรอาร์เอฟไอดีของผู้ใช้บริการและการตรวจแท็กเอ็นเอฟซีทำงานได้อย่างถูกต้องไม่มีความผิดพลาดเลย

3.2 การทดลองการปลดล็อกช่องล็อกเกอร์โดยการเลือกหมายเลขช่องบนหน้าจอสัมผัส

เนื่องจากตู้ล็อกเกอร์ทั้งหมดจะมี 9 ช่อง โดยแต่ละช่องจะทำถูกควบคุมผ่านหน้าจอสัมผัส ดังนั้นการทดลองนี้จะทดลองเลือกช่องตู้ล็อกเกอร์ที่ต้องการจะยืม-คืนอุปกรณ์ ทีละช่องจนครบ ทดลองซ้ำทุกช่องอย่างละ 5 ครั้ง เก็บผลการทดลองไว้ใน Table 2

Table 2 Results of unlocking the locker compartment by selecting the compartment number on the touch screen.

Locker Numbers	Number of times					Error (%)
	1	2	3	4	5	
No.1	✓	✓	✓	✓	✓	0%
No.2	✓	✓	✓	✓	✓	0%
No.3	✓	✓	✓	✓	✓	0%
No.4	✓	✓	✓	✓	✓	0%
No.5	✓	✓	✓	✓	✓	0%
No.6	✓	✓	✓	✓	✓	0%
No.7	✓	✓	✓	✓	✓	0%
No.8	✓	✓	✓	✓	✓	0%
No.9	✓	✓	✓	✓	✓	0%

จาก Table 2 การเลือกใช้งานช่องของตู้ล็อกเกอร์ทั้ง 9 ช่อง ผ่านหน้าจอสัมผัส จะเห็นว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องไม่มีความผิดพลาดเลย

4. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอตู้ล็อกเกอร์ยืม-คืนของอัจฉริยะ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้บริการยืมเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งตู้ล็อกเกอร์ได้ใช้บัตรอาร์เอฟไอดีเพื่อระบุตัวตนผู้ยืมและใช้แท็กเอ็นเอฟซีตรวจสอบอุปกรณ์ ซึ่งจากการทดลองสแกนบัตรอาร์เอฟไอดีและตรวจสอบแท็กเอ็นเอฟซี โดยการให้ผู้ใช้งานสามารถสแกนบัตรอาร์เอฟไอดีของตนเองเพื่อยืมและคืนอุปกรณ์ได้ โดยไม่มีความผิดพลาด ในส่วนของการแจ้งเตือนในแอปพลิเคชันและการเก็บข้อมูลสถานะการยืม-คืนอุปกรณ์ลงใน Google Sheets สามารถแสดงรายชื่อสมาชิกและชื่ออุปกรณ์ได้ตามที่กำหนดไว้โดยไม่มีข้อผิดพลาด และในส่วนการถ่ายรูปขณะผู้ใช้เปิด-ปิดล็อกเกอร์ส่งให้ผู้ดูแลระบบ สามารถทำงานได้ทุกช่องไม่ว่าผู้ใช้จะยืม-คืนตู้ล็อกเกอร์ช่องใดก็ตาม โดยสรุปตู้ล็อกเกอร์อัจฉริยะสามารถทำงานได้ทุกช่องโดยไม่มีข้อผิดพลาด

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่ให้ทุนสนับสนุน การทำวิจัย รวมถึงสถานที่และเครื่องมือต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] จามจุรี กุลยอด และ ศิลป์ณรงค์ ฉวีพัฒน์. 2660. ต้นแบบระบบควบคุมการเปิด-ปิดไฟผ่านแอปพลิเคชัน บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 22 ธันวาคม 2660. สถาบันวิจัยและพัฒนามหาลัทธิราชภัฏกำแพงเพชร, กำแพงเพชร. หน้า 1388-1393.
- [2] อภิรักษ์ พันธุ์พนาสกุล, พิตรี ยะปา และอัลนิสฟาร์ เจ๊ะดีอราแม. 2563. การพัฒนาระบบเปิด-ปิดไฟด้วยไมโครเซนเซอร์ควบคู่กับแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน. ใน: การประชุมมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติและนานาชาติครั้งที่ 11 17 กรกฎาคม 2563. มหาวิทยาลัยมหาดใหญ่, สงขลา. หน้า 994-1012.
- [3] พิรุฬห์ แก้วฟูรังษี. 2564. ตู้ล็อกเกอร์อัจฉริยะสำหรับบัณฑิตในพิธีพระราชทานปริญญาบัตร. วารสารสหศาสตร์ศรีปทุม. 7 (2): 67-78.
- [4] พัชรณัฐ ปัทมานุรักษ์, จิรายุส เป็นมิตร และ ทิพย์มณฑา ผกาแก้ว. 2563. ตู้ล็อกเกอร์อัจฉริยะควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เครือข่ายสถาบันอุดมศึกษาภาคใต้ ครั้งที่ 5 6-7 กุมภาพันธ์ 2563. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช. หน้า 555-567
- [5] ยอดธง ไชยประสิทธิ์ และ ศุภกร ขำสม. 2562. ล็อกเกอร์ฝากของอัจฉริยะ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ.
- [6] ภัทรพล รุ่งแสง และ ภควัฒน์ บุตรดี. 2564. ESP8266 : RFID+LINE+GOOGLE SHEET+HTML. เข้าถึงจาก : เว็บไซต์ https://www.youtube.com/watch?v=ODR-t8xoJTM&t=8s&ab_channel=SPEDY (เข้าถึงเมื่อ 1 มีนาคม 2566).
- [7] Cybertice. 2562. สอนใช้งาน Arduino ESP32-CAM ทำกล้องวงจรปิด Wifi เข้าถึงจาก : เว็บไซต์ <https://www.cybertice.com/article/198/สอนใช้งาน-arduino-esp32-cam-ทำกล้องวงจรปิด-wifi> (เข้าถึงเมื่อ 1 มีนาคม 2566).

การใช้คลื่นไมโครเวฟช่วยสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อผลตาลสุกโดยใช้น้ำมันพืชเป็นตัวทำละลาย
Microwave-assisted extraction of carotenoids from a ripe palmyra palm fruit with edible
vegetable oils as solvent

ดุสิตา หนูทอง ซูไฮมี มะทา ปุณณานิ สัมภาวะผล และ บุษวรรณ หิรัญวารชาติ*
Dusida Noothong, Suhaimee Mattha, Punnanee Sumpavapol and Bhudsawan Hiranvarachat*

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla

*Corresponding author Bhudsawan Hiranvarachat, e-mail address: bhudsawan.h@psu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของตัวทำละลายโดยใช้น้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว ต่อการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเนื้อตาลสุกโดยใช้การสกัดด้วยไมโครเวฟ โดยใช้ตัวทำละลายที่ความเข้มข้น 20% (v/v) กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ (W) และช่วงระยะเวลาการสกัด 0-35 นาที เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมหรือระยะเวลาในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สภาวะที่เหมาะสม (เวลาสกัด 25 นาที) ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่สกัดได้จากเนื้อตาลสุกโดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวทำละลาย (19.42±1.60 และ 11.26±1.09 mg/100g dry basis (d.b.)) มีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการสกัดที่ใช้น้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว ฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS⁺ และ FRAP⁺ ที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวทำละลายมีค่าสูงกว่าการใช้น้ำมันชนิดอื่นในการสกัด โดยมีค่า 0.15±3.80×10⁻⁴ และ 0.16±6.30×10⁻⁴ mM Trolox/100g d.b. ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้คือ 0.74±1.66×10⁻² mM GAE/100g d.b.

คำสำคัญ: การสกัดด้วยไมโครเวฟ, น้ำมันพืช, ปริมาณแคโรทีนอยด์, ปริมาณเบต้าแคโรทีน, ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The purpose of this study was to study the effects of selected edible solvent by using vegetable oil i.e., soybean oil, palm oil as well as coconut oil on the extraction of bioactive compounds from ripening meat of palmyra palm fruit by using microwave-assisted extraction (MAE). Solvent concentration of 20% (v/v) with a microwave power of 450 watts (W) during the extraction period of 0-35 min was investigated. A suitable condition to extract bioactive compounds in term of extraction time was determined. At the optimized condition (extraction time of 25 min) the contents of total carotenoids and β -carotene extractable from ripening meat of palmyra palm fruit using soybean oil as solvent (19.42±1.60 and 11.26±1.09 mg/100g dry basis (d.b.)) were significantly higher than those from the extraction using palm oil and coconut oil as solvent. The antioxidant activities as assessed by ABTS⁺ and FRAP⁺ methods of the extracts obtained from ripening meat of palmyra palm fruit using soybean oil as solvent were higher than the others, which were 0.15±3.80×10⁻⁴ and 0.16±6.30 ×10⁻⁴ mM Trolox/100g d.b., respectively. In addition, the total phenolic content was 0.74±1.66×10⁻² mM GAE/100g d.b.

Keywords: Microwave-assisted extraction, Vegetable oil, Carotenoid content, β -Carotene content, Antioxidant content

1. บทนำ

ตาลโตนดเป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกมากในจังหวัดสงขลา เนื้อตาลสุกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผลตาลโตนดสดโดยตรง โดยที่ส่วนเนื้อตาลเป็นส่วนที่ติดกับเปลือกตาล (Mesocarp) ซึ่งจะเก็บได้เมื่อผลตาลโตนดสุกเต็มที่จนหล่นจากต้น ผลผลิตจากผลตาลโตนดสดนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอาหารได้หลากหลายชนิดไม่ว่าจะเป็นอาหารคาวหรืออาหารหวาน แต่อายุการเก็บรักษาของเนื้อตาลสุกนั้นค่อนข้างสั้น เนื่องจากเนื้อตาลสุกนั้นประกอบไปด้วยแป้งและน้ำตาล ซึ่งอุดมด้วยแหล่งอาหารสำคัญของจุลินทรีย์ จึงส่งผลให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ มีรสเปรี้ยว และสีที่คล้ำขึ้นจากเดิม สีเหลืองที่ได้จากสารแคโรทีนอยด์เป็นสีน้ำตาล ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและไม่สามารถนำไปใช้ในการประกอบอาหารได้ จากสาเหตุข้างต้นทำให้เกษตรกรในพื้นที่สามารถจำหน่ายเนื้อตาลสุกได้เฉพาะในพื้นที่ใกล้เคียงเท่านั้น ในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวตาลโตนดจะมีส่วนของเนื้อตาลสุกถูกทิ้งจำนวนมาก เพราะไม่สามารถแปรรูปได้ทัน การสกัดแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลเป็นอีกวิธีที่ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับเนื้อตาลสุกได้ [1]

การสกัดสารพฤกษเคมีด้วยเครื่องไมโครเวฟใช้หลักการให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟ แบ่ง 2 กลไก คือ Dipole rotation และ Ionic conduction โดย Dipole rotation คือ การเปลี่ยนแปลงของ Dipole ของโมเลกุลตัวอย่างและตัวทำละลาย ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงทิศทางสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2,450 MHz จึงเกิดความร้อนขึ้นจากแรงเสียดทาน ส่วน Ionic conduction คือ การเคลื่อนย้ายไอออนจากการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า โดยทั้งสองกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในตัวอย่างและตัวทำละลายในเวลาเดียวกัน โดยมีการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างกันในระหว่างการสกัด [2-3] ทำให้ระยะเวลาในการสกัดสั้นและได้ปริมาณสารสกัดสูง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดด้วยวิธีดั้งเดิมที่ใช้ตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว เช่น การสกัดด้วยซอกเลต (Soxhlet extraction) ซึ่งใช้ความร้อนในการสกัดแต่ใช้ระยะเวลา การสกัดนานจึงไม่เหมาะกับการสกัดสารที่เสื่อมสลายด้วยความร้อน เช่น แคโรทีนอยด์ เป็นต้น ในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพด้วยไมโครเวฟมักจะใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการสกัดเพื่อดูดซับคลื่นไมโครเวฟร่วมกับการเติมตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เพื่อสกัดสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ออกมา เช่น เฮกเซน เอทานอล อะซิโตน โดยมีการใช้ในปริมาณสารมากต่อการสกัดสารออกฤทธิ์หนึ่งครั้ง จึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการจัดการของเสีย [4-6] ดังนั้น หากสามารถสกัดสารออกฤทธิ์ที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วเล็กน้อยด้วยเครื่องไมโครเวฟโดยไม่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์หรือเลือกใช้ตัวทำละลายที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นอีกทางเลือกที่ดี Tiwari และคณะ [6] ศึกษาการสกัดแคโรทีนอยด์จากกากแครอทที่คั้นน้ำออก (Pomace) โดยใช้น้ำมันเมล็ดแฟลกซ์ (Flaxseed oil) เป็นตัวทำละลายที่อัตราส่วนตัวอย่างต่อตัวทำละลาย 1:1 ทำการสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิค (Ultrasonic) และเครื่อง High shear dispersion ผลการทดลองพบว่า การสกัดด้วยเครื่อง High shear dispersion ที่ความเร็วรอบ 20,000 rpm เป็นเวลา 12 นาที สามารถสกัดแคโรทีนอยด์ได้สูงกว่าการสกัดแบบอัลตราโซนิค Borguini และคณะ [7] ศึกษาการสกัดแคโรทีนอยด์ในแครอทโดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันมะกอกเป็นตัวทำละลาย โดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิมโดยปั่นให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นกรองกากแครอทออก โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัด ได้แก่ สัดส่วนของแครอท ตัวทำละลาย และเวลาที่ใช้ในการสกัด ผลการทดลองพบว่าสถานะที่ดีที่สุดในการสกัดแคโรทีนอยด์ คือ การสกัดโดยใช้แครอท 20% ในน้ำมันพืช และใช้เวลาในการสกัด 5 นาที โดยปริมาณสารสกัดที่ได้จากการใช้น้ำมันพืชต่างชนิดกันมีค่าใกล้เคียงกัน การใช้น้ำมันพืชในการสกัดจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ โดยเลือกน้ำมันพืชที่หาง่าย ราคาไม่แพง ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว โดยน้ำมันทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันของพันธะคู่ชนิดน้ำมันไม่อิ่มตัวและจุดเกิดควันที่ต่างกัน น้ำมันที่มีค่าพันธะคู่ชนิดน้ำมันไม่อิ่มตัวสูงที่สุด คือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว ตามลำดับ ส่วนจุดเกิดควันเรียงตามลำดับสูงที่สุด คือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าวเช่นกัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดสารแคโรทีนอยด์จากเนื้อตาลสุกด้วยโดยการใช้การสกัดด้วยไมโครเวฟและใช้น้ำมันพืชเป็นตัวทำละลาย เพื่อเพิ่มมูลค่าเนื้อตาลสุกที่เป็นพืชท้องถิ่นในพื้นที่จังหวัดสงขลา

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

2.1.1 นำตาลสุกมาขยำให้ได้เนื้อตาลแล้วไปเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (°C)

2.1.2 อบแห้งเนื้อตาลสุก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (Hot air dryer) ที่อุณหภูมิ 70°C ทำการอบแห้งจนกระทั่งปริมาณความชื้นสุดท้ายของเนื้อตาลสุกต่ำกว่าร้อยละ 10 ฐานแห้ง (d.b.) และนำมาปั่นละเอียดจนได้ผงเนื้อตาลสุก เก็บรักษาในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

2.1.3 เตรียมตัวอย่างผงเนื้อตาลสุกก่อนการสกัดโดยใช้อัตราส่วนผงเนื้อตาลสุกต่อน้ำที่ 1:10 จากนั้นนำผงเนื้อตาลสุกที่คุดน้ำกลับแล้วไปเตรียมตัวอย่างในขั้นตอนถัดไป

2.1.4 นำผงเนื้อตาลสุกที่คุดน้ำกลับแล้วไปศึกษาการเติมน้ำมันพืชลงในตัวอย่างเพื่อใช้เป็นตัวทำละลาย เพื่อพาสารสกัดไม่มีข้อออกจากตัวอย่าง โดยศึกษาใช้น้ำมันพืช 3 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว ที่ความเข้มข้น 20% (v/v) ก่อนนำไปสกัดด้วยเครื่องไมโครเวฟ ตัวแปรควบคุม คือ ตัวอย่างผงเนื้อตาลสุกที่ผ่านการคุดน้ำกลับและเติมน้ำแทนน้ำมัน 20% (v/v)

2.2 การสกัดด้วยเครื่องไมโครเวฟ

ใช้เครื่องไมโครเวฟในครัวเรือนที่มีค่าความถี่ที่ 2,450 MHz กำลังไฟสูงสุด 800 W ทำการดัดแปลงตามที่ได้อธิบายไว้ใน Hiranvarachat และคณะ [4] มีเครื่องแก้วชุดสกัดเป็นขวดก้นกลมขนาด 1,000 มิลลิลิตร (mL) สำหรับใส่ตัวอย่างโดยต่อกับเครื่องแก้วชุดควบแน่นที่มีการหล่อด้วยน้ำเย็นตลอดช่วงเวลาที่สกัดและมีขวดสำหรับเก็บสารสกัด ใช้ตัวอย่างผงเนื้อตาลสุกที่ผ่านการคุดน้ำกลับและเติมน้ำมันพืช ใส่ลงไปในขวดก้นกลมขวดสำหรับสกัด จากนั้นต่อเข้ากับชุดสกัดและทำการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้กำลังคลื่นไมโครเวฟที่ 450 วัตต์ ที่เวลาในการสกัด 35 นาที และทำการเก็บตัวอย่างทุก 5 นาที สารสกัดที่ได้จะเก็บในที่เย็นและไม่มีแสงก่อนนำไปวิเคราะห์ต่อไป



Figure 1 Integrated Microwave Extraction Components.

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Total carotenoid content) ดำเนินการตามวิธีของ Hiranvarachat และ Devahastin [8] โดยนำสารสกัดวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 450 นาโนเมตร (nm) โดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

วิเคราะห์เบต้าแคโรทีน (Total β -carotene) ทำการสกัดเบต้าแคโรทีนตามที่อธิบายไว้ในวิธีของ Hiranvarachat และ Devahastin [8] และดัดแปลงบางส่วน โดยนำสารสกัด 1 mL เติมน้ำละลายผสม 50 mL (50% เฮกเซน, 25% อะซิโตน, 25% เอทานอล) นำไปเขย่าเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่น 15 mL จนเกิดการแยกชั้นของสารละลาย กรองเอาเฉพาะชั้นของรงควัตถุ คือ ชั้นบน นำไปวิเคราะห์ด้วย High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) สำหรับเบต้าแคโรทีน คอลัมน์ที่ใช้ คือ C30 ใช้ 80% เมทานอล และ 20% เตตระไฮโดรฟิวแรน (v/v) เป็น Mobile phase ที่อัตราการไหล 1.5 mL/min วิเคราะห์ที่ความยาวคลื่น 450 nm

วิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay ดำเนินการตามวิธีของ Hiranvarachat และคณะ [4] โดยเตรียมสารละลายอะซีเตตบัฟเฟอร์ 300 mM ที่ pH 3.6 กรดอะซิติก 16 mL/L สารละลายบัฟเฟอร์ TPTZ 10 mM ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 40 mM และสารละลายเฟอริกคลอไรด์ 20 mM จากนั้นทำการผสมของสารละลายอะซีเตตบัฟเฟอร์ 25 mL สารละลาย TPTZ 2.5 mL และสารละลายเฟอริกคลอไรด์ 2.5 mL จากนั้นนำสารสกัดปริมาตร 100 μ L ทำปฏิกิริยากับสารละลาย FRAP⁺ ปริมาตร 3 mL โดยที่แช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37°C ใช้ระยะเวลา 4 นาทีหลังจากทำปฏิกิริยา วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 nm โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และใช้สารโทรลอคซ์เป็นสารละลายมาตรฐาน

วิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay ดำเนินการตามวิธีของ Hiranvarachat และคณะ [4] โดยเตรียม Stock solution สองชนิด คือ 7 mM ABTS และ 2.45 mM โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต จากนั้นเตรียมสารละลาย ABTS⁺ โดยผสม Stock solution ทั้งสองชนิดในอัตราส่วน 2:1 แล้วทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องในที่มืด ทำการเจือจางด้วยเอทานอลให้ได้ค่าการดูดกลืนแสง 0.7 ± 0.02 ที่ความยาวคลื่น 734 nm จากนั้นนำสารสกัดปริมาตร 300 μ L ทำปฏิกิริยากับสารละลาย ABTS⁺ ปริมาตร 3 mL วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 nm โดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่เวลา 1 นาทีหลังจากทำปฏิกิริยา ใช้สารโทรลอคซ์เป็นสารละลายมาตรฐาน

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic content) ดำเนินการตามวิธีของ Hiranvarachat และ Devahastin [8] โดยนำสารสกัดปริมาตร 200 μ L ทำปฏิกิริยากับสารละลาย 10% Folin-ciocalteu phenol reagent ปริมาตร 2 mL และ 1 M โซเดียมคาร์บอเนตแอนไฮดรัส 1.6 mL แล้วทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิห้องในที่มืด วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 nm ใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และใช้สารกรดแกลลิกเป็นสารละลายมาตรฐาน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ข้อมูลจากการทดลองมาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วย Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95 นอกจากนี้ข้อมูลผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะวิเคราะห์ความแตกต่างแบบ Analysis of Variance (ANOVA) โดยใช้ SPSS version 11.0

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 อุณหภูมิตัวอย่างต่อระยะเวลาสกัดตัวอย่าง

จากการศึกษาชนิดน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม ที่มีความเข้มข้น 20% (v/v) โดยใช้กำลังคลื่นไมโครเวฟที่ 450 W ในการสกัดในระยะเวลา 0-35 นาที พบว่า ระยะเวลาในการสกัดช่วงแรกอุณหภูมิในตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อผ่านไปสักระยะเวลาหนึ่งอุณหภูมิจะเพิ่มอย่างช้าๆ โดยอุณหภูมิของตัวอย่างที่ถึง 100°C จะใช้ระยะเวลาในการสกัด ดังต่อไปนี้ อุณหภูมิของตัวอย่างควบคุมใช้ระยะเวลา 7.00 นาที น้ำมันถั่วเหลืองใช้ระยะเวลา 7.00 นาที น้ำมันมะพร้าวใช้ระยะเวลา 6.50 นาที และน้ำมันปาล์มใช้ระยะเวลา 6.00 นาที แสดงดัง Figure 2 จะเห็นได้ว่าน้ำมันปาล์มใช้ระยะเวลาในการสกัดเพื่อให้ถึงอุณหภูมิ 100°C น้อยที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient) ของน้ำมันปาล์มที่มีค่ามากที่สุดทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้เร็วกว่าตัวอย่างชนิดอื่น สอดคล้องกับรายงาน Prompuge และ Sirisamphanwong [9] ประสิทธิภาพทางเทคนิคสำหรับการจัดเก็บความร้อนของหม้อหุงพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้น้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันทานตะวัน น้ำมันมะพร้าว พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด คือ น้ำมันปาล์ม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่าง 300 W/m²K และ 1,000 W/m²K เมื่อเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ

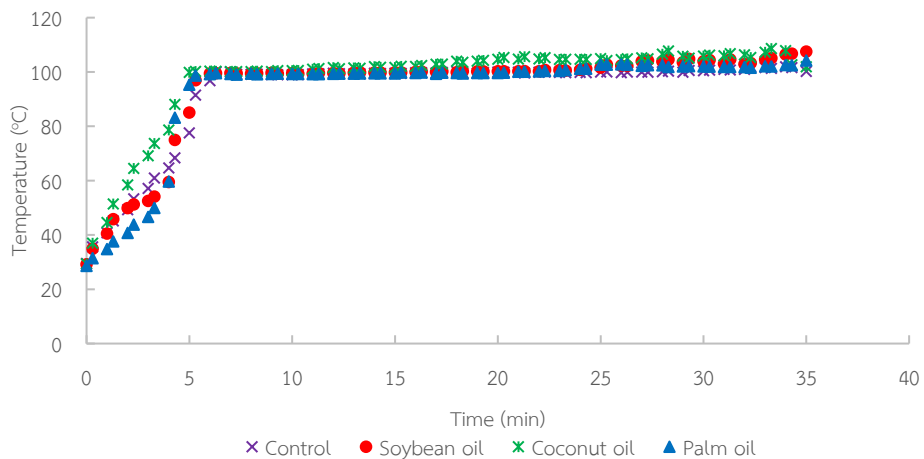


Figure 2 Temperature evolution of an extracts by using MAE at different type of edible oil.

3.2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี

3.2.1 ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Total carotenoid content)

ผลการศึกษาพบปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในแต่ละชนิดของน้ำมันต่อระยะเวลาของการสกัดที่เหมาะสมดังนี้ ตัวอย่างควบคุม ระยะเวลาการสกัด 35 นาที ได้ปริมาณสารแคโรทีนอยด์สูงสุด คือ 13.15 ± 0.08 mg β -carotene/100g d.b. น้ำมันถั่วเหลืองระยะเวลาการสกัด 25 นาที ได้ปริมาณสารแคโรทีนอยด์สูงสุด คือ 19.42 ± 1.60 mg β -carotene/100g d.b. น้ำมันมะพร้าวระยะเวลาการสกัด 25 นาที ได้ปริมาณสารแคโรทีนอยด์สูงสุด คือ 19.74 ± 2.81 mg β -carotene/100g d.b. และ น้ำมันปาล์มระยะเวลาการสกัด 35 นาที ได้ปริมาณสารแคโรทีนอยด์สูงสุด คือ 16.39 ± 1.60 mg β -carotene/100g d.b. แสดงดัง Figure 3 จากปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดที่ได้จากการสกัดข้างต้นจะเห็นได้ว่าปริมาณสารจะเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งและจะค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเมื่อได้รับความร้อนในระยะเริ่มต้นจะมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมาก และเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิในการสกัดตัวอย่างเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ทำให้ปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมดลดลง สอดคล้องกับรายงาน Baria และคณะ [10] การสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อมะม่วงด้วยเครื่องไมโครเวฟ โดยใช้ไขมันเป็นตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันทานตะวัน และน้ำมันเมล็ดแฟลกซ์ พบว่า ระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อสารแคโรทีนอยด์ที่ออกมา เนื่องจากระยะเวลาที่มากขึ้นทำให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้สารแคโรทีนอยด์เสื่อมสภาพลง และรายงาน Erazo และคณะ [11] การสกัดแคโรทีนอยด์และฟีนอลิกจากกากมะม่วงในอุตสาหกรรมเกษตรโดยใช้ไมโครเวฟและเอทานอลช่วยในการสกัด พบว่า ระยะเวลา กำลังไฟฟ้า และความเข้มข้นของตัวทำละลายมีอิทธิพลต่อกระบวนการสกัดด้วยไมโครเวฟ

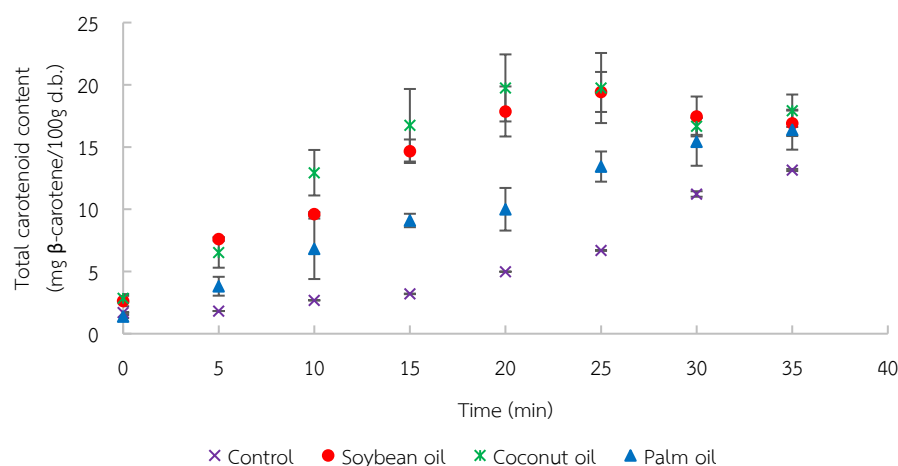


Figure 3 Total carotenoid contents of the extracts by continuous MAE.

3.2.2 ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน (Total β -carotene)

ผลการศึกษาพบปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในการสกัดในแต่ละชนิดของน้ำมันต่อระยะเวลาของการสกัดที่เหมาะสม ดังนี้ ตัวอย่างควบคุม ระยะเวลาการสกัด 15 นาที ได้ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด คือ $0.14 \pm 4.05 \times 10^{-4}$ mg/100g d.b. น้ำมันถั่วเหลืองระยะเวลาการสกัด 25 นาที ได้ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด คือ 11.26 ± 1.09 mg/100g d.b. น้ำมันมะพร้าว ระยะเวลาการสกัด 30 นาที ได้ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด คือ 8.91 ± 1.82 mg/100g d.b. และน้ำมันปาล์มระยะเวลาการสกัด 35 นาที ได้ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด คือ 2.95 ± 0.53 mg/100g d.b. แสดงดัง Figure 4 ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่ได้จากการสกัดข้างต้นจะเห็นได้ว่าปริมาณสารจะเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่ง และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณสารเบต้าแคโรทีนจะแปรผันตรงตามปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ดัง Figure 3 คือ ปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมดมีค่ามากจะได้ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่มาก แต่ถ้าปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมดที่มีค่าน้อยจะได้ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่น้อยเช่นกัน สารเบต้าแคโรทีนเป็นไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว โดยเป็นพันธะคู่หลายตำแหน่ง ทำให้การจับคู่ระหว่างพันธะของสารเบต้าแคโรทีนและน้ำมันมีผลต่อสารที่ได้ โดยน้ำมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่สูงที่สุด คือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าวตามลำดับ ส่งผลให้น้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่สูงที่สุด ดัง Figure 4

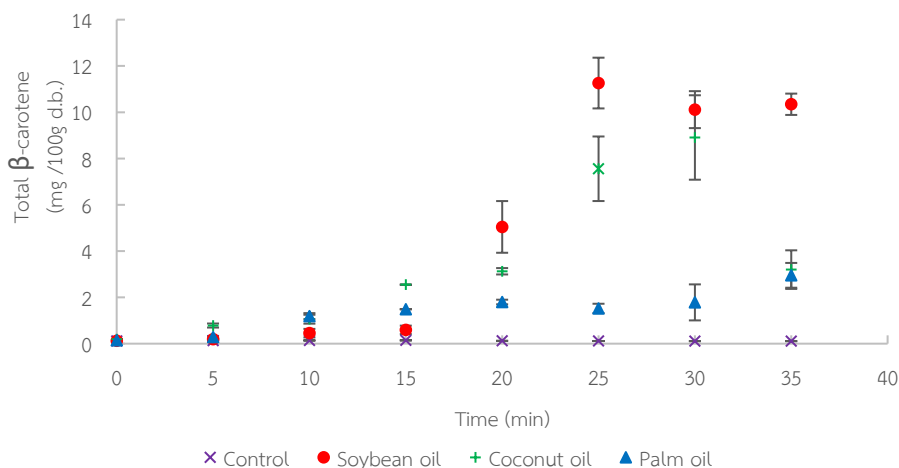


Figure 4 Total β -carotene of the extracts by continuous MAE.

3.2.3 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay

ผลการศึกษาการหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP⁺ ในการสกัดนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ในแต่ละชนิดของน้ำมันต่อระยะเวลาของการสกัดที่เหมาะสม ดังนี้ ตัวอย่างควบคุม ระยะเวลาการสกัด 30 นาที ได้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ $0.16 \pm 1.84 \times 10^{-5}$ mM Trolox/100g d.b. น้ำมันถั่วเหลืองที่ระยะเวลาการสกัด 30 นาที ได้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ $0.16 \pm 6.99 \times 10^{-4}$ mM Trolox/100g d.b. น้ำมันมะพร้าวที่ระยะเวลาการสกัด 25 นาที ได้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ $0.16 \pm 2.41 \times 10^{-4}$ mM Trolox/100g d.b. และน้ำมันปาล์มที่ระยะเวลาการสกัด 35 นาที ได้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ $0.16 \pm 1.01 \times 10^{-3}$ mM Trolox/100g d.b. แสดงดัง Figure 5 จะเห็นได้ว่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP⁺ จะแปรผันตามสัดส่วนของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนและสารแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ ดัง Figure 3 และ Figure 4 ตามลำดับ

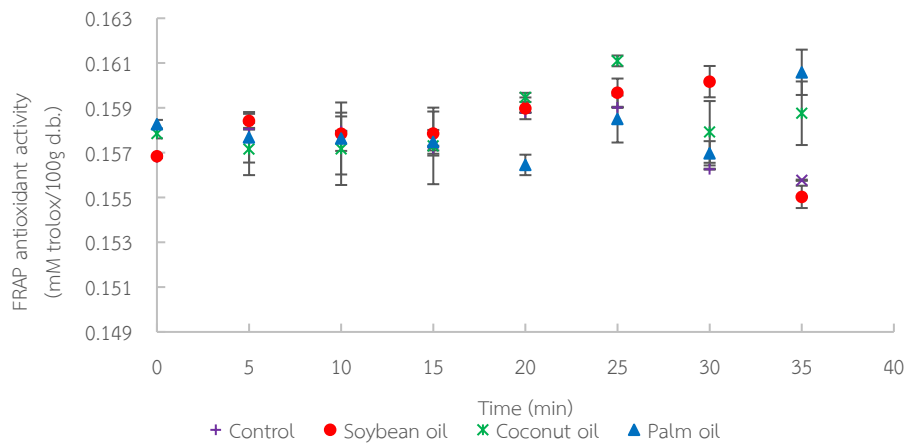


Figure 5 FRAP antioxidant activity of the extracts by continuous MAE.

3.2.4 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay

ผลการศึกษการหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS⁺ ในการสกัดนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ในแต่ละชนิดของน้ำมันต่อระยะเวลาของการสกัดที่เหมาะสม ดังนี้ ตัวอย่างควบคุม ระยะเวลาการสกัด 10 นาที ได้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ $0.15 \pm 2.80 \times 10^{-4}$ mM Trolox/100g d.b. น้ำมันถั่วเหลืองที่ ระยะเวลาการสกัด 20 นาที ได้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ $0.15 \pm 5.01 \times 10^{-4}$ mM Trolox/100g d.b. น้ำมันมะพร้าวที่ระยะเวลาการสกัด 20 นาที ได้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ $0.15 \pm 6.96 \times 10^{-4}$ mM Trolox/100g d.b. และน้ำมันปาล์มที่ระยะเวลาการสกัด 35 นาที ได้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ $0.15 \pm 4.40 \times 10^{-4}$ mM Trolox/100g d.b. แสดงดัง Figure 6 จะเห็นได้ว่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS⁺ จะแปรผันตามสัดส่วนของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนและสารแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ดัง Figure 3 และ Figure 4 ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Chuyen และคณะ [12] ศึกษาเรื่องการสกัดเปลือกข้าวด้วยไมโครเวฟและคลื่นอัลตราซาวด์ที่มีผลต่อสารแคโรทีนอยด์และสารต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้เอทิลอะซิเตตเป็นตัวทำละลาย โดยไมโครเวฟที่กำลัง 120, 240 และ 360 W และระยะเวลา 0-30 นาที พบว่า ผลของสารต้านอนุมูลอิสระที่สกัดมีความใกล้เคียงกับค่าสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ซึ่งค่าแคโรทีนอยด์ที่สูงจะได้ค่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงตามไปด้วย

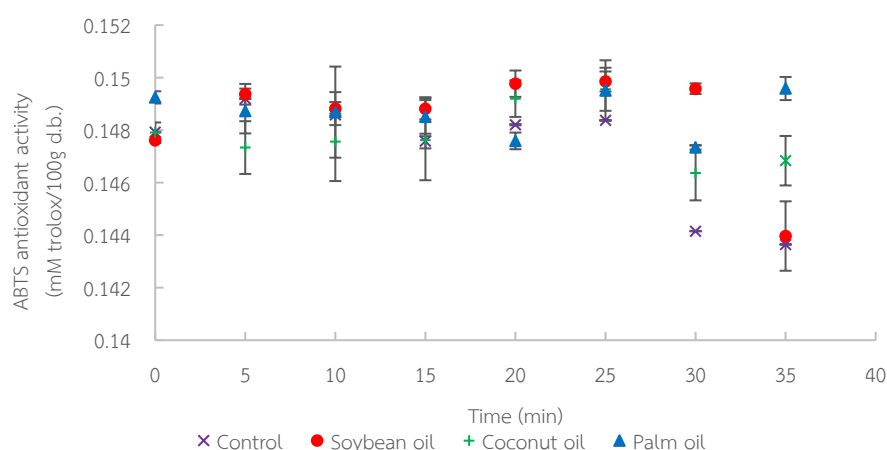


Figure 6 ABTS antioxidant activity of the extracts by continuous MAE.

3.2.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิครวม (Total phenolics content)

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิครวมในการสกัดน้ำมันหีเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ในแต่ละชนิดของน้ำมันต่อระยะเวลาของการสกัดที่เหมาะสมได้ ดังนี้ ตัวอย่างควบคุมระยะเวลาการสกัด 35 นาที ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิครวมสูงสุดคือ $0.59 \pm 1.10 \times 10^{-2}$ mM GAE/100g d.b. น้ำมันถั่วเหลืองระยะเวลาการสกัด 35 นาที ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิครวมสูงสุดคือ $0.85 \pm 9.82 \times 10^{-2}$ mM GAE/100g d.b. น้ำมันมะพร้าวระยะเวลาการสกัด 35 นาที ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิครวมสูงสุดคือ $0.86 \pm 9.20 \times 10^{-2}$ mM GAE/100g d.b. และน้ำมันปาล์มระยะเวลาการสกัด 30 นาที ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิครวมสูงสุดคือ $0.81 \pm 1.31 \times 10^{-1}$ mM GAE/100g d.b. ในแต่ละชนิดของน้ำมัน แสดงดัง Figure 7 ระยะเวลาเริ่มต้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิครวมทั้งหมดมีค่าน้อย และเมื่อระยะเวลาในการสกัดที่เพิ่มมากขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิครวมทั้งหมดมีค่ามากขึ้น การที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการสกัดทั้งหมดอาจเป็นเพราะสารประกอบฟีนอลิครวมมีความไวต่อความร้อนเพียงเล็กน้อย และในบางกรณีอาจเพิ่มปริมาณได้เมื่อได้รับความร้อนทำให้ได้ปริมาณสารที่เพิ่มขึ้น [13]

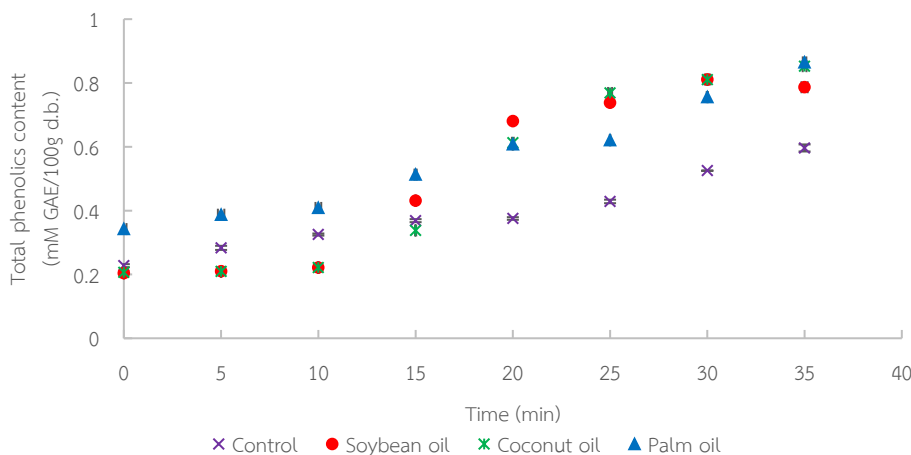


Figure 7 Total phenolics content of the extracts by continuous MAE.

4. สรุป

จากการศึกษาการใช้คลื่นไมโครเวฟช่วยสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อผลตาลสุกโดยใช้น้ำมันพืชเป็นตัวทำละลายในการพาสารสกัดไม่มีขั้วออกจากตัวอย่าง ที่มีระยะเวลาในการสกัด 0-35 นาที กำลังไฟฟ้าที่ 450 วัตต์ น้ำมันพืช 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม ที่มีความเข้มข้น 20% (v/v) และตัวแปรควบคุม เมื่อนำผลการทดลองทางเคมีวิเคราะห์ทางสถิติ ปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP⁺ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS⁺ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิครวม ผลที่ได้ คือ การใช้ตัวทำละลายในการพาสารสกัดจะดีกว่าการสกัดตัวแปรควบคุม โดยนำผลมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติได้ผลที่ดีที่สุดในการวิเคราะห์ทางเคมี ดังต่อไปนี้ ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดที่ดีที่สุดคือ น้ำมันถั่วเหลืองที่ระยะเวลาการสกัด 25 นาที ค่าที่วัดได้คือ 19.42 ± 1.60 mg β -carotene/100g d.b. ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่สูงที่สุดคือ น้ำมันถั่วเหลืองที่ระยะเวลาการสกัด 25 นาที ค่าที่วัดได้คือ 11.26 ± 1.09 mg/100g d.b. ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP⁺ ที่สูงที่สุดคือ น้ำมันมะพร้าวที่ระยะเวลาการสกัด 25 นาที ค่าที่วัดได้คือ $0.16 \pm 2.14 \times 10^{-4}$ mM Trolox/100g d.b. ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS⁺ ที่สูงที่สุดคือ น้ำมันมะพร้าวที่ระยะเวลาการสกัด 25 นาที ค่าที่วัดได้คือ $0.15 \pm 3.80 \times 10^{-4}$ mM Trolox/100g d.b. และปริมาณสารประกอบฟีนอลิครวมที่สูงที่สุดคือ น้ำมันปาล์ม ที่ระยะเวลาการสกัด 35 นาที ค่าที่วัดได้คือ $0.86 \pm 9.20 \times 10^{-2}$ mM GAE/100g d.b. จากผลการศึกษาข้างต้นพบว่าน้ำมันพืชที่เหมาะสมในการการเป็นตัวพาสารสกัดไม่มีขั้วออกจากตัวอย่าง คือ น้ำมันถั่วเหลือง โดยระยะเวลาในการสกัดที่เหมาะสมคือ 25 นาที เนื่องจากปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ได้ผลการทดสอบทางเคมีสูงที่สุดคือ 19.42 ± 1.60 mg β -carotene/100g d.b. และ 11.26 ± 1.09 mg/100g d.b. ตามลำดับ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิครวมคือ $0.74 \pm 1.66 \times 10^{-2}$ mM GAE/100g d.b. ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP⁺ คือ $0.16 \pm 6.30 \times 10^{-4}$ mM Trolox/100g d.b. และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS⁺ คือ $0.15 \pm 3.80 \times 10^{-4}$ mM Trolox/100g d.b. ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ คือ ทราบแนวทางการสกัดด้วยไมโครเวฟที่ใช้ตัวทำละลายที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุนส่งเสริม ววน.) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ AGR6505153M และคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์วิจัย ทำให้การดำเนินการวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] มนัสนันท์ บุญทราพงษ์, กมลวรรณ แจ่มชัด, อนุวัตร แจ่มชัด และวิชัย หฤทัยธนาสันต์. 2544. การศึกษาคุณภาพของเนื้อตาลสุกและขนมตาลที่ผลิตจากเนื้อตาลสุกผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39 สาขาประมง สาขาอุตสาหกรรมเกษตร 5-7 กุมภาพันธ์ 2544. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 425-433.
- [2] Mandal, V., Mohan, Y. and Hemalatha, S. 2007. Microwave Assisted Extraction—An Innovative and Promising Extraction Tool for Medicinal Plant Research. *Pharmacogn. Rev.* 1(1): 7-18
- [3] อาริรัตน์ ชื่อดี. 2560. การใช้คลื่นไมโครเวฟสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพร. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 11(1). 1-14.
- [4] Hiranvarachat, B., Devahastin, S. and Chiewchan, N. 2012. *In vitro* bioaccessibility of β -carotene in dried carrots pretreated by different methods. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 47(3): 535-541.
- [5] Ying, S.W., Khoo, H.E., Kong, K.W. and Ismail, A. 2013. Carotenoids and their geometry isomers in selected tropical fruits. *Int. J. Food Prop.* 16: 826–837.
- [6] Tiwari, S., Upadhyay, N., Singh, A.K., Meena, G.S. and Arora, S. 2019. Organic solvent-free extraction of carotenoids from carrot bio-waste and its physico-chemical properties. *J. Food Sci. Technol.* 56: 4678–4687.
- [7] Borguini, R.G., Pacheco, S., Chávez, D.W.H., Couto, G.A., Wilhelm A.E., Santiago, M.C.P. de A., Nascimento, L de S. de M., Jesus, M.S.C. and Godoy, R.L. de O. 2020. Carotenoid extraction using edible vegetable oil: an enriched provitamin A product. *Sci. Agric.* 78(5): 1.
- [8] Hiranvarachat, B. and Devahastin, S. 2014. Enhancement of microwave-assisted extraction via intermittent radiation: Extraction of carotenoids from carrot peels. *J. Food Eng.* 126: 17-26.
- [9] Prompuge, W. and Sirisamphanwong, M. 2018. Technical performance for heat storage of solar cooker using vegetable oil as working fluid. *J. Renew. Energy Smart Grid Technol.* 13(1): 35-49.
- [10] Baria, B., Upadhyay, N., Singh, A.K. and Malhotra, R.K., 2019. Optimization of 'green' extraction of carotenoids from mango pulp using split plot design and its characterization. *LWT-Food Sci. Technol.* 104: 186-194.
- [11] Erazo, E.M.V, Reategui, J.L.P, Guerrero, O.H.D. and Correa, H.A.M. 2021. Phenolics and carotenoids recovery from agroindustrial mango waste using microwave-assisted extraction: Extraction and modeling. *J. Food Process. Eng.* 44: e13774.
- [12] Chuyen, H.V., Nguyen, M.H., Roach. P.D., Golding, J.B. and Parks, S.P. 2018. Microwave-assisted extraction and ultrasound-assisted extraction for recovering carotenoids from Gac peel and their effects on antioxidant capacity of the extracts. *Food Sci. Nutr.* 6: 189–196.
- [13] Oboh, O. and Ademosun, A.O. 2012. Characterization of the antioxidant properties of phenolic extracts from some citrus peels. *J. Food Sci. Technol.* 49: 729–736.

การศึกษาความเป็นไปได้ของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อสารถย้อมสีธรรมชาติจากเปลือกลูกจาก The studying possibility of agricultural waste materials for natural textile transformativ from Nipa palm peel

ภัทรารณณ์ กฤษณะพันธ์^{1*} และ สุรวัดน์ จริงจิตร²
Pattraporn Kritsanaphan^{1*} and Surawat ChingJit²

¹สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรเพื่อความยั่งยืน คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต
²สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

¹Sustainable Agriculture Innovation Member, Faculty of Agriculture Technology, Phuket Rajabhat University, Phuket

²Fishery Technology Member, Faculty of Agriculture Technology, Phuket Rajabhat University, Phuket

*Corresponding author: Pattraporn Kritsanaphan, e-mail address: Pattraporn.k@pkru.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของสารสกัดเปลือกลูกจากในการย้อมสีผ้า โดยใช้สารสกัดจากเปลือกลูกจากที่เป็นเศษวัสดุเหลือจากการใช้ประโยชน์ โดยทำการต้มเพื่อให้ได้สารสกัด และใช้สารช่วยติดสีในการย้อม 3 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมอลูมิเนียมซัลเฟต ($KAl(SO_4)_2$) คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) และเฟอร์รัสซัลเฟต ($Fe_2(SO_4)_3$) จากผลการทดลอง พบว่า ผ้าที่ได้จากการใช้สารช่วยติดสี $KAl(SO_4)_2$ จะให้เฉดสีน้ำตาลแกมแดง $CuSO_4$ ให้เฉดสีน้ำตาลแกมเหลือง และ $Fe_2(SO_4)_3$ ให้เฉดสีน้ำตาล เมื่อเปรียบเทียบผลจากวิธีการย้อมที่แตกต่างกัน 3 วิธี โดยเรียงลำดับจากการใช้สารเพื่อช่วยให้ผ้าติดสีมากที่สุด พบว่า การย้อมด้วยวิธีการเติมสาร $CuSO_4$ ช่วยให้ค่าความเข้มของการติดสีมากที่สุด โดยให้ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (a^*) และค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) ก่อนการย้อม เท่ากับ 44.94 14.64 และ 18.90 ตามลำดับ ระหว่างการย้อม มีค่าเท่ากับ 59.90 10.11 และ 19.02 และหลังการย้อมสี มีค่าเท่ากับ 44.12 10.62 และ 18.64 ในขณะที่ผ้าที่ใช้ $Fe_2(SO_4)_3$ ให้ค่าในการติดสีหลังการย้อมมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 64.47 14.26 และ 15.13 ส่วนการใช้ $KAl(SO_4)_2$ พบว่าหลังย้อมผ้าให้ค่าการติดสีน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 84.89 5.65 และ -2.63 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบความคงทนต่อการซักอยู่ในระดับที่ดีมาก

คำสำคัญ: การย้อมสีธรรมชาติ, เปลือกลูกจาก, เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

Abstract

The study of Nipa palm peel extract from residual material utilization was applied to the fabric. The extraction was performed decoction method and three different mordants i.e. potassium aluminum sulfate ($KAl(SO_4)_2$) copper sulfate ($CuSO_4$) and ferrous sulfate ($Fe_2(SO_4)_3$) were applied. The results showed that the fabric which applied with ($KAl(SO_4)_2$) mordant was brown-red shade, $CuSO_4$ mordant was brown-yellow shade and $Fe_2(SO_4)_3$ mordant was brown shade. The results from three different dyeing methods were compare and was found that dyeing with $CuSO_4$ mordant addition, the staining intensity was highest. The brightness (L^*), green-red (a^*) and blue-yellow (b^*) values before dyeing was 44.94, 14.64 and 18.90, respectively. The color during dyeing was 59.90 10.11 and 19.02 and the color after dyeing was 44.12, 10.62 and 18.64. While the colored fabric using the $Fe_2(SO_4)_3$ mordants the most value for the color fixing after dyeing was 64.47, 14.26 and 15.13. For ($KAl(SO_4)_2$) in color fixing found that after dyeing the least color fixation values was 84.89, 5.65 and -2.63, respectively. The results of washing fastness were at good level.

Keywords: Natural textile, Nipa palm peel, Agricultural waste materials

1. บทนำ

มนุษย์รู้จักการนำสีธรรมชาติมาใช้ในชีวิตประจำวันมาเป็นเวลานาน เช่น ใช้เป็นสีย้อมผ้า สีเขียนภาพ สีผสมอาหาร และพืชพันธุ์ที่สีย้อมสี สีที่ได้จากธรรมชาติเป็นความรู้ดั้งเดิมที่สืบทอดกันมา แหล่งวัตถุดิบสีธรรมชาติยังสามารถหาได้จากต้นไม้ ใบไม้ที่ให้สีที่สวยงาม การย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติเป็นภูมิปัญญาของมนุษย์ที่คิดค้นมีมานานกว่า 2,000 ปี พบว่า มีการรายงานครั้งแรกในการใช้ครามในจีนมีอายุมากกว่า 6,000 ปี สีย้อมธรรมชาติส่วนใหญ่ได้จากพืช เปลือกไม้ ใบไม้ และรากไม้ มีขั้นตอนเพื่อที่จะทำให้เกิดเป็นสีต่างๆ ได้สวยงามแปลกตาต่างจากสีวิทยาศาสตร์ [7] ศิลปะการย้อมผ้าในยุโรปเฟื่องฟูมาก ในสมัยคริสต์ศตวรรษที่ 10 และขึ้นถึงจุดสูงสุดในคริสต์ศตวรรษที่ 13 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฝรั่งเศส ในปลายคริสต์ศตวรรษที่ 16 ในกรุงปารีส มีรายชื่อสีย้อมธรรมชาติที่สำคัญเป็นจำนวนถึง 220 สี [3] ในอดีตต้นไม้ที่ใช้ในการย้อมสีจะหาได้ง่ายโดยทั่วไป แต่ไม่มีการปลูกทดแทน จึงทำให้พันธุ์ไม้ย้อมสีหายาก บางชนิดเป็นไม้ยืนต้น และมีอายุยาว นิยมนำมาทำเครื่องเรือน เครื่องใช้ภายในบ้าน อีกทั้งบางส่วนของลำต้น เช่น ดอก ใบ ยังใช้ประกอบอาหารได้ นอกจากนั้น บางชนิดยังใช้เป็นยาสมุนไพรได้ เช่น ผล มะเกลือ ใช้ถ่ายพยาธิบางตัวได้ ลำต้นขี้เหล็กมีรสขมรักษาโรคผิวหนัง เป็นยาระบาย และใช้ รากฝาง ทำยาช่วยบรรเทาอาการปวดท้อง [4] ในปัจจุบันประเทศไทยจะมีปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมากกว่า 20 ล้านตัน [7] การใช้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อย้อมผ้าด้วยสีย้อมธรรมชาติถือเป็นเรื่องที่น่าสนใจ โดยนางรศ.ดร.ศุภมาสรีที่ได้จากพืชได้ 6 กลุ่ม คือ ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน แซนโทน อัลคาลอยด์ ควิโนอยด์ และพอลิอิน เป็นต้น [1] ซึ่งในปัจจุบันรัฐบาลได้มีการส่งเสริม สนับสนุนให้มีผลิตภัณฑ์ของชุมชน ในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้การสร้างผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นมากมายในชุมชน โดยเฉพาะการใช้วัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นในการย้อมด้วยสีสังเคราะห์แทนการย้อมด้วยสีธรรมชาติ เช่น สารสกัดจากเปลือกของต้นโกก้าง ประกอบกับกระแสความต้องการผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลการพิสูจน์พบว่า การใช้สีสังเคราะห์ และสารสังเคราะห์ที่ช่วยให้สีติดแน่นทนนาน ทำให้สภาพแวดล้อมเกิดมลภาวะ สารสังเคราะห์บางตัว ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ถึงแม้ว่าสีสังเคราะห์จะสามารถควบคุมให้มีสีที่เหมือนเดิมทุกครั้งและมีสีสดใส แต่ก็ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม สลายตัวยากและมีพิษ เมื่อปล่อยน้ำสีย้อมผ้าลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะหรือลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ดังนั้น จึงมีหลายหน่วยงานและองค์กรเข้ามา ส่งเสริมให้ชุมชนหันกลับมาใช้สีธรรมชาติในการย้อม [6]

งานวิจัยนี้ได้สนใจที่จะศึกษาการย้อมสีจากเปลือกลูกจาก ซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีเอกลักษณ์เฉพาะถิ่นที่มีการเจริญเติบโตมากในจังหวัดตรัง พบเห็นได้ทั่วไปบริเวณพื้นที่ป่าชายเลนริมแม่น้ำตรัง ต้นจากเป็นพืชตระกูลปาล์มที่เก่าแก่ ชอบขึ้นอยู่บริเวณริมแม่น้ำที่มีสภาพน้ำกร่อย เป็นพืชอเนกประสงค์ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายส่วน นำมาประกอบอาหาร เครื่องดื่ม สิ่งประดิษฐ์ เครื่องหัตถกรรม ภาชนะใช้สอย รวมทั้งช่วยรักษาระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพ ดังนั้นผู้วิจัยมีแนวคิดนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาพัฒนาเป็นสีเพื่อการย้อมจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีในท้องถิ่น ในที่นี้คือเปลือกลูกจาก ที่เป็นวัสดุธรรมชาติที่พบมากในท้องถิ่นตำบลบางหมาก อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง [12] มาผลิตเป็นสารสีเพื่อย้อมผ้า ซึ่งโดยปกติแล้วสีที่ย้อมได้จากเปลือกลูกจากจะออกไปทางสีเหลือง-น้ำตาล [9] รวมทั้งศึกษาถึงกระบวนการย้อมสามวิธี คือ การเติมสารช่วยติดสีก่อน (Pre-mordant) การเติมสารช่วยติดสีพร้อมกัน (Meta-mordant) การเติมสารช่วยติดสีหลัง (Post-mordant) และยังศึกษาชนิดสีที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อใช้สารช่วยติดสีที่แตกต่างกันสามชนิด ได้แก่ สารส้ม ($KAl(SO_4)_2$) จุนสี ($CuSO_4$) และสนิมเหล็ก ($Fe_2(SO_4)_3$) โดยสารกลุ่มอลูมิเนียมโพแทสเซียมซัลเฟต ทำให้เกิดความหลากหลายของโทนสีช่วยยึดจับสีกับเส้นด้าย และช่วยให้สีสด สว่างขึ้น มักใช้กับการย้อมสีน้ำตาล เหลือง เขียว สำหรับจุนสีช่วยให้ติดสีและเข้มขึ้น มักใช้กับการย้อมสีเขียวและน้ำตาล แต่ไม่ควรใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเพราะจะทำให้เกิดการตกค้าง ส่วนสารโพรัสซัลเฟต เหล็กจะช่วยให้สีติดเส้นด้ายและเปลี่ยนเฉดสีธรรมชาติเดิมจากพืชเป็นสีโทนเทาดำ เกิดความคงทนของสีต่อการซักล้างแต่ไม่มีสีซีดจาง ไม่ดีต่อความคงตัวของเนื้อ ความคงทนต่อแรงฉีกขาด และความแข็งแรงของเนื้อผ้า หากใช้ในปริมาณมากจะทำให้เส้นด้ายเปื่อย [1,9] และทำการศึกษาความคงทนของสีต่อการซัก ตามแนวคิดการออกแบบและพัฒนาเพื่อความยั่งยืนให้สามารถนำมาใช้อย่างคุ้มค่าและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อคนในชุมชน [11] และแนวคิดขยะเหลือศูนย์ [14] สร้างมูลค่าและรายได้ให้กับคนในชุมชน เพื่อสร้างเป็นสีย้อมผ้าประจำท้องถิ่นเพื่อพัฒนาเป็นสินค้าเอกลักษณ์ท้องถิ่นต่อไป

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเตรียมสีย้อมจากเปลือกลูกจาก

นำเปลือกลูกจากที่เหลือจากการแค่น้ำร้อนออกแล้ว 40 กิโลกรัม เติมน้ำ 20 ลิตร และเกลือแกง (NaCl) ปริมาณ 200 กรัม นำไปต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นนำสารสกัดที่ได้กรองผ่านตะแกรงกรอง และกรองอีกครั้งด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำน้ำย้อมไปต้มให้เหลือ 1 ใน 3 เมื่อต้มเสร็จนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนได้น้ำสกัดเพื่อนำเข้าสู่กระบวนการย้อมสี จะได้น้ำสกัดปริมาณ 7 ลิตร (ดัดแปลงจาก [8])

2.2 การเตรียมผ้าไหมสำหรับย้อม

นำผ้าสปัน ขนาด 30 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร (15 กรัม) ที่ผ่านการซักด้วยสบู่ชำระล้างทั่วไป (Toilet soap) ความเข้มข้น 5 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร โดยใช้อัตราส่วนของผ้าต่อน้ำ 1 ต่อ 40 นำไปต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบกำหนดเวลาล้างผ้าให้สะอาดและตากให้แห้ง (ดัดแปลงจาก [8])

2.3 การศึกษาชนิดของสารช่วยติดสี 3 ชนิด ได้แก่ สารส้ม ($KAl(SO_4)_2$) 15 กรัม จุนสี ($CuSO_4$) 15 กรัม สนิมเหล็ก ($FeSO_4$) 15 กรัม เตรียมน้ำย้อมเปลือกลูกจาก โดยจะใช้อัตราส่วนสารสกัดน้ำย้อมเปลือกลูกจาก 1.5 ลิตร ต่อน้ำ 1.5 ลิตร ความเข้มข้นของสารช่วยติดสี 1% โดยใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสในการย้อมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 3 รูปแบบ คือ

1) การเติมสารช่วยติดสีก่อนการย้อมสี (Pre-mordanting) นำผ้าที่ทำความสะอาดแล้ว แล่งลงในสารช่วยติดสีที่เตรียมไว้ในอัตราส่วน 1 ลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นบีบน้ำออก และนำไปย้อม แล้วตรวจผลค่าสีผ้าด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

2) การเติมสารช่วยติดสีระหว่างการย้อม (Meta-mordanting) นำผ้าที่ทำความสะอาดแล้วไปย้อมพร้อมกับสารช่วยติดสี โดยใช้อัตราส่วนผ้าและสารช่วยติดสี 1 ลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร เป็นเวลา 30 นาที แล้วตรวจผลค่าสีผ้าด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3) การเติมสารช่วยติดสีหลังการย้อม (Post-mordanting) นำผ้าที่ผ่านการย้อม นำไปแช่สารช่วยติดสีที่เตรียมไว้ นาน 30 นาที โดยใช้อัตราส่วนผ้าและสารช่วยติดสี 1 ลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร แล้วตรวจผลค่าสีผ้าด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์



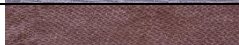

จากนั้นจึงศึกษาผลของการใช้สารช่วยติดสีแต่ละชนิดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Hunter Lab Color Quest XE, USA) [1] และศึกษาความคงทนของสีต่อการซักโดยทดสอบตามมาตรฐาน ISO 105-C01 ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล การวัดค่าสีโดยรายงานเป็นค่า L^* = ค่าความสว่าง, a^* = ค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง และ b^* = ค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ผลจากการเติมตัวช่วยติดสีก่อนการย้อม (Pre-mordant)

ผลค่าสีของผ้าที่ย้อมด้วยสารช่วยติดสี 3 ชนิด ด้วยวิธี Pre-mordant โดยใช้อัตราส่วน 1:1 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ผ้าที่ไม่ได้เติมสารช่วยติดสีจะให้ค่าความสว่างมากที่สุด คือ 77.51 สำหรับผ้าที่ย้อมด้วยจุนสีจะให้ค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองมากที่สุด คือ 14.64 และ 18.90 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Result of fabric dyeing by pre-mordanting method.





Mordant	L^*	a^*	b^*	Fabric color
No mordant	77.51	7.94	0.95	
$KAl(SO_4)_2$	76.43	8.72	3.27	
$CuSO_4$	44.94	14.64	18.90	
$FeSO_4$	66.02	13.63	12.83	

Notation: L^* = Lightness, a^* = Redness – Greenness, b^* = Yellowness – Blueness

3.2 ผลจากการเติมตัวช่วยติดสีระหว่างการย้อม (Meta-mordanting)

ผลค่าสีของผ้าที่ย้อมด้วยสารช่วยติดสี 3 ชนิด ด้วยวิธีการเติมสารช่วยติดสีระหว่างการย้อม (Meta-mordant) โดยใช้ อัตราส่วน 1:1 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ผ้าที่ไม่ได้เติมสารช่วยติดสีจะให้ค่าความสว่างมากที่สุด คือ 77.51 สำหรับผ้าที่ย้อมด้วยสนิมเหล็กจะให้ค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด คือ 13.17 ส่วนผ้าที่ย้อมด้วยจุนสีจะให้ค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด คือ 19.02 ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Result of fabric dyeing by meta-mordanting method.



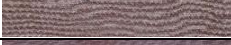

Mordant	L*	a*	b*	Fabric color
No mordant	77.51	7.94	0.95	
KAl(SO ₄) ₂	76.04	8.67	5.81	
CuSO ₄	59.90	10.11	19.02	
FeSO ₄	67.66	13.17	10.99	

Notation: L*= Lightness, a*= Redness – Greenness, b*= Yellowness – Blueness

3.3 ผลจากการเติมตัวช่วยติดสีหลังการย้อม (Post-mordanting)

ผลค่าสีของผ้าที่ย้อมด้วยสารช่วยติดสี 3 ชนิด ด้วยวิธี Post-mordant โดยใช้ อัตราส่วน 1:1 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ผ้าที่ไม่ได้เติมสารช่วยติดสีจะให้ค่าความสว่างมากที่สุด คือ 77.51 สำหรับผ้าที่ย้อมด้วยสนิมเหล็กจะให้ค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด คือ 14.26 ส่วนผ้าที่ย้อมด้วยจุนสีจะให้ค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด คือ 18.64 ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Result of fabric dyeing by post-mordanting method.

Mordant	L*	a*	b*	Fabric color
No mordant	77.51	7.94	0.95	
KAl(SO ₄) ₂	84.89	5.65	-2.63	
CuSO ₄	44.12	10.62	18.64	
FeSO ₄	64.47	14.26	15.13	

Notation: L*= Lightness, a*= Redness – Greenness, b*= Yellowness – Blueness

3.4 ผลการใช้สารช่วยติดสีแต่ละชนิด

3.4.1 ผลการใช้สารช่วยติดสีย้อมผ้าด้วยสารส้ม KAl(SO₄)₂

ผลการใช้สารช่วยติดสี (Mordant) ด้วยสารส้ม KAl(SO₄)₂ โดยใส่สารช่วยติดสีก่อน ระหว่าง และหลังการย้อม ใน อัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่า การเติมสารส้มช่วยติดสีหลังการย้อมผ้าจะให้ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีน้ำเงินมากที่สุด คือ 84.89 และ -2.63 ตามลำดับ สำหรับผ้าที่เติมสารส้มช่วยติดสีก่อนการย้อมผ้าจะให้ค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด คือ 8.72 ส่วนผ้าที่เติมสารส้มช่วยติดสีระหว่างการย้อมผ้าจะให้ค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด คือ 5.81 ดังแสดงใน Table 4

Table 4 Result of fabric dyeing by KAl(SO₄)₂.




Mordant	L*	a*	b*	Fabric color
Pre- KAl(SO ₄) ₂	76.43	8.72	3.27	
M- KAl(SO ₄) ₂	76.04	8.67	5.81	
Post - KAl(SO ₄) ₂	84.89	5.65	-2.63	

Notation: L*= Lightness, a*= Redness – Greenness, b*= Yellowness – Blueness

3.4.2 ผลการใช้สารช่วยติดสีย้อมผ้าด้วยจุนสี (CuSO₄)

ผลการใช้สารช่วยติดสี (Mordant) ด้วยจุนสี (CuSO₄) โดยใส่สารช่วยติดสีก่อน ระหว่าง และหลังการย้อม ในอัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่า การเติมจุนสีช่วยติดสีระหว่างการย้อมผ้าจะให้ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด คือ 59.90 และ 19.02 ตามลำดับ สำหรับผ้าที่เติมจุนสีช่วยติดสีก่อนการย้อมผ้าจะให้ค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด คือ 14.64 ดังแสดงใน Table 5

Table 5 Result of fabric dyeing by CuSO₄.



Mordant	L*	a*	b*	Fabric color
Pre- CuSO ₄	44.94	14.64	18.90	
M- CuSO ₄	59.90	10.11	19.02	
Post - CuSO ₄	44.12	10.62	18.64	

Notation: L*= Lightness, a*= Redness – Greenness, b*= Yellowness – Blueness

3.4.3 ผลการใช้สารช่วยติดสีย้อมผ้าด้วยสนิมเหล็ก (FeSO₄)

ผลการใช้สารช่วยติดสี (Mordant) ด้วยสนิมเหล็ก (FeSO₄) โดยใส่สารช่วยติดสีก่อน ระหว่าง และหลังการย้อม ในอัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่า การเติมสนิมเหล็กช่วยติดสีระหว่างการย้อมผ้าจะให้ค่าความสว่างมากที่สุด คือ 67.66 สำหรับผ้าที่เติมสนิมเหล็กช่วยติดสีหลังการย้อมผ้าจะให้ค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองมากที่สุด คือ 14.26 และ 15.13 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 6

Table 6 Result of fabric dyeing by FeSO₄.

Mordant	L*	a*	b*	Fabric color
Pre- FeSO ₄	66.02	13.63	12.83	
M- FeSO ₄	67.66	13.17	10.99	
Post - FeSO ₄	64.47	14.26	15.13	

Notation: L*= Lightness, a*= Redness – Greenness, b*= Yellowness – Blueness

3.5 การศึกษาผลของความคงทนต่อสีจากการซัก

จาก Table 7 แสดงให้เห็นความคงทนต่อการซักของผ้าที่ได้จากการย้อมด้วยน้ำสกัดจากเปลือกลูกจากด้วยสารช่วยติดสีทั้งสามชนิด ด้วยวิธีการย้อมที่แตกต่างกันโดยทำการซักล้างด้วยสบู่ชำระล้างทั่วไป เป็นเวลา 30 นาที พบว่า ความคงทนต่อการซักอยู่ในระดับดีมาก ตามมาตรฐาน ISO 105-C01:1989 พบว่า ความคงทนของสีหลังซักมีค่าเท่ากับ 5 โดยใช้เกรย์สเกลประเมินสีของตัวอย่างตามมาตรฐาน มอก. 121 เล่ม 14 –2552 [15] คือ มีความเข้มของสีจางลงและเปลี่ยนสีออกแดงเล็กน้อย

Table 7 Color fastness to washing.

Pre-mordanting			Meta-mordanting			Post - mordanting		
KAl(SO ₄) ₂	CuSO ₄	FeSO ₄	KAl(SO ₄) ₂	CuSO ₄	FeSO ₄	KAl(SO ₄) ₂	CuSO ₄	FeSO ₄
5	5	5	5	5	5	5	5	5

จากผลการทดลองการใช้สารช่วยติดสี ได้แก่ สารส้ม จุนสี และสนิมเหล็ก ในการย้อมสีธรรมชาติจากเปลือกลูกจาก พบว่า น้ำสกัดสีลูกจากมีสีเหลือง-น้ำตาล จะช่วยให้สีมีความคงทนต่อการซัก และต่อแสงดีขึ้น โดยสารสีกลุ่มซัลเฟอร์ เป็นสารที่ทำให้เกิดสี

บนวัสดุสิ่งทอประเภทเซลลูโลส อีกทั้งยังทำให้สีกระจายตัวในน้ำ ไม่ตกตะกอน ซึ่งสีที่ได้รับ อ่อน แก่ ไม่เท่ากัน และอาจเกิดจุดหรือเม็ดสีเป็นอันวัสดุที่ย้อม [13] และยังทำให้ได้สีที่แตกต่างกันจากการใช้สารช่วยติดต่างชนิดกัน ซึ่งสารประกอบบอรัมมีนัม คือ น้ำสารส้มส่งผลให้เกิดความหลากหลายของโทนสี ช่วยยึดจับสีกับเส้นด้าย สีที่ปรากฏจะมีความสว่างสดใส มีค่าความสว่างมากที่สุดทั้งก่อนระหว่าง และหลังการย้อมเมื่อเทียบกับสีย้อมและย้อมสี ตามลำดับ นอกจากนี้สารช่วยติดสีทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างด้านความคงทนของสีต่อการซักที่ดีซึ่งอยู่ในระดับ 5 เท่ากันทั้งหมด เช่นเดียวกับการศึกษาสีธรรมชาติจากพันธุ์พืชป่าชายเลนโดยสารช่วยย้อมเป็นตัวทำปฏิกิริยากับผ้าซึ่งช่วยเพิ่มและเปลี่ยนสีเส้นให้หลากหลายโดยให้สีที่เข้มข้น หรือจางลงหรือเป็นสีอื่นๆ ในโทนสีเดิมได้แก่ ต้นผักบุ้งทะเล ต้นโก้งกางใบใหญ่ ต้นขลุ่ ต้นมะเขือคั้น ต้นเหงือกปลาหมอ ต้นโก่เตี้ย ต้นโปรงแดง ต้นตะบูน ต้นจากต้นประสัก ต้นหวายลิง ต้นแสมขาว ต้นลำพู และต้นลำแพน [10] การย้อมผ้าด้วยวิธีการย้อมร้อน ซึ่งทำให้การติดสีของเปลือกต้นจากได้ชัดเจนสามารถสังเกตเห็นได้ และเมื่อวัดด้วยเครื่องมือวัดสีค่าที่วัดได้สามารถเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน โดยพิจารณาจากค่า L^* ค่า a^* และค่า b^* ส่วนผ้าที่ล้างทำความสะอาดและใช้สารช่วยติดสีจากสารส้ม แม้ว่าจะมีสีที่แสดงไปทางสีน้ำเงินมากกว่า ($b^* = -2.63$) แต่ไม่เทียบเคียงเช่นเดียวกับการใช้สารสกัดจากจากผลของประคาคีควายในการย้อมผ้าฝ้าย [13] เมื่อทดสอบวัดค่าความเป็นกรด-เบส ของสารสกัด จะเห็นว่ามีความเป็นกรด (pH) เท่ากับ 4 และถ้าทิ้งไว้นานขึ้นจะมีความเป็นกรดมากขึ้น กรดนี้อาจจะช่วยให้ในการทำทำความสะอาด ไหมนที่ยืดเกาะที่ผิวของผ้าออก ทำให้การย้อมติดลึกเข้าไปในเนื้อผ้าส่นมากกว่าการย้อมสีผ้าไหมอริด้วยเปลือกประคาคี [5] โดยโพแทสเซียมซัลเฟตสามารถช่วยย้อมสีเส้นใยให้สีสด สว่างขึ้น ส่วนเฟอร์รัสซัลเฟตสามารถช่วยให้สีติดเส้นใยและเปลี่ยนเฉดสีให้เข้มข้นเป็นโทนเทา-ดำ [10]

4. สรุป

สารสกัดจากเปลือกลูกจาก ต่อน้ำ อัตราส่วน 1:1 ช่วยให้การย้อมสีผ้าติดดี และซึมลึกลงไปเนื้อผ้า ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลาในการย้อมนาน 1 ชั่วโมง เป็นการนำน้ำสกัดที่ผ่านการต้มมาใช้ในการกระบวนการย้อมสีทันที ผ่านการใช้สารช่วยติดสี 3 ชนิด ในอัตราส่วนของผ้าต่อน้ำเท่ากับ 1: 40 ซึ่งเมื่อนำไปวัดสีผ้าด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยพบว่า การย้อมสีผ้าโดยใช้สารส้มเป็นตัวช่วยในการติดสีผ้าในขั้นตอนหลังการย้อมให้สีผ้า (Post - $KAl(SO_4)_2$) โทนสว่างมากที่สุด มีค่าความสว่าง $L^* = 84.89$ โดยมีค่า $a = 5.65$ และ $b^* = -2.63$ ในขณะเดียวกัน จุนสีเป็นสารช่วยย้อมติดสีหลังการย้อมผ้า (Post - $CuSO_4$) ได้การดูดซับสีและทำให้ผ้ามีสีที่ขุ่นที่สุด โดยมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 44.12 ค่ามีความเป็นสีเขียว-แดง (a^*) เท่ากับ 10.62 มีค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) เท่ากับ 18.64 จากงานวิจัยครั้งนี้พบว่าเปลือกลูกจากที่ใช้สารช่วยย้อมจุนสีหลังการย้อมผ้าจะสามารถทำให้ไปย้อมให้ติดสีผ้าส่นเข้มที่สุด ควรมีการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อถ่ายทอดสู่ชุมชนเพื่อให้เกิดการต่อยอด และเกิดการใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้จาก คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ทุนสนับสนุนเพื่องานวิจัย และขอขอบคุณศูนย์บริการวิชาการเกษตรและอาหารอันตามัน คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ตที่ให้ความอนุเคราะห์ ให้ใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนถึงเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ อีกทั้งขอขอบคุณวิสาหกิจชุมชนชุมชนโต๊ะเมืองบาติก ตำบลบางหมาก อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และสนับสนุนการทำวิจัยสำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Punrattanasin, N., Nakpathom, M., Somboon, B., Narumol, N., Rungruangkitkrai, N. and Mongkholrattanasit, R. 2013. Silk fabric dyeing with natural dye from mangrove bark (*Rhizophora apiculata* Blume) extract. *Industrial Crops and Products*. 49: 122-129.
- [2] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2540. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีการมัดสี. กรุงเทพฯ: ครุสภาลาดพร้าว.
- [3] จิราภรณ์ อรรถนิษานาค. 2534. การเลี้ยงไหมในอีสาน. *ศิลปากร*. 34(5). 109-126.
- [4] ไชยรงค์ สำราญถิ่น. 2535. มุมมองไหมไทยในฤดูกาลเลี้ยง. *ข่าวสารเกษตรภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*. 21(1). 11-15.
- [5] ดร.ณิ สมมุติ สาคร ชลสาคร และรัตนพล มงคลรัตนาลิทธิ์. 2564. สภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีและความคงทนของสีผ้าไหมอี่รีด้วยเปลือกประดู่. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 12 ประจำปีการศึกษา 2564 หัวข้อ “Strategies for Managing Social and Technological Disruption: กลยุทธ์สำหรับการจัดการกับความพลิกผันทางสังคมและเทคโนโลยี” 25 กุมภาพันธ์ 2565 วิทยาลัยเทคโนโลยีภาคใต้. หน้า 40-48.
- [6] จีรพล พรหมโสภา. 2550. การผลิตผงสีธรรมชาติเพื่อใช้ในการย้อมเส้นไหมจากพืชท้องถิ่น. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*. 26(4). 367 -371.
- [7] พีรศักดิ์ วรสุนทรโรสด, สุนทร ดุริยะประพันธ์, ทักษิณ อาชาวาคม, สายันต์ ต้นพานิช, ชลธิชา นินาสประภฤติ และปริญญานันท์ ศรสูงเนิน. 2544. พืชที่ใช้ย้อมและแทนนิน. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.)
- [8] ปรีชา มูลสิน, ทันทิรา พันซารี และกนกกรณ์ ศิริทิพย์. 2564. การศึกษาการย้อมสีธรรมชาติจากใบยางพาราโดยใช้สารส้ม จุนสี และสนิมเหล็กเป็นสารช่วยติดสี. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 2. 35-40.
- [9] พันธุ์ยศ วรเชษฐาวาวัตร และพรไพยม วรเชษฐาวาวัตร. 2561. ศึกษาวิธีย้อมสีและสารช่วยย้อมที่เหมาะสมต่อการย้อมไหมด้วยสีจากลูกจาก. *รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, สงขลา*.
- [10] ภัทรา ศรีสุโข, ณภัค แสงจันทร์ และธนกฤต ใจสุตา. 2562. การศึกษาสีธรรมชาติจากพันธุ์พืชป่าชายเลน ตำบลบ่อ อำเภอลำลูกเกด จังหวัดจันทบุรี โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน. *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*. 13(1). 64-73.
- [11] ภาคภูมิ ดาราพงษ์. 2556. Zero Waste Agriculture. เข้าถึงได้จาก : <https://web2012.hrdi.or.th/HighlandDevelop/detail/2071/Zero-waste-agriculture-คืออะไร-ทำได้ไหมบนพื้นที่สูง/> (เข้าถึงเมื่อ 5 มกราคม 2565).
- [12] มยุรี พลวัฒน์. 2544. ศึกษาผลผลิตของต้นของชาวบ้านบ้านย่านซื่อ อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง. *วิทยานิพนธ์ ศิลปะศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยทักษิณ จังหวัดสงขลา*.
- [13] วิจิตร เชาววันกลาง และพิมพ์ภา ปาสาจะ. 2556. การศึกษาสารสกัดจากธรรมชาติในการย้อมผ้าฝ้าย. *รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม*
- [14] สมาคมโรงไฟฟ้าชีวมวล. 2556. วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. เข้าถึงได้จาก : https://sites.google.com/site/bppathailand/biomass?fbclid=IwAR3Gf56nWFDIMntrEYyn1_9jA1O8IH7rUHgFOKvnFUJmKYrBsbx5H-UUt10 (เข้าถึงเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2565).
- [15] กระทรวงอุตสาหกรรม. 2553. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 121- เล่มที่ 14 2552 วิธีการทดสอบสิ่งทอ เล่ม 14 การประเมินการเปลี่ยนสีและการเปื้อนสีโดยใช้เกรย์สเกลและเครื่องมือ. กรุงเทพมหานคร.

การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการสกัดตัวอย่างทางนิติวิทยาศาสตร์จากเลือดเก่าและดีเอ็นเอที่ผิวสัมผัส
A comparative study of forensic extraction methods from old blood and
exposed DNA samples

สุพิชญา ตริบุญเมือง^{1*} รุชนี ปดิฐพร² นพรุจ ศักดิ์ศิริ³ และ ศิริพร นุชสำเนียง⁴
Supitchaya Treebonmuang^{1*}, Ruchinee Patitaporn², Nuparuj Suksiri³ and Siriporn Nuchsamniang⁴

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

²ภาควิชาพยาธิวิทยา วิทยาลัยแพทยศาสตร์พระมงกุฎเกล้า เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร

³ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 2 (ชลบุรี) อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

⁴คณะตำรวจศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม

¹Faculty of Science, Silpakorn University, Samam Chandra Palace Campus, Mueang Nakhon Pathom, Nakhon Pathom,

²Department of Pathology, Phramongkutklow college of medicine, Ratchathevi, Bangkok

³Police Forensic Science Centre 2 (Chon Buri), Chon Buri District, Chon Buri

*Corresponding author: Supitchaya Treebonmuang, e-mail address: maisupitc1@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคนิคการสกัดดีเอ็นเอมีบทบาทที่สำคัญในอณูชีววิทยา โดยเฉพาะด้านนิติวิทยาศาสตร์ ดีเอ็นเอที่ได้ต้องมีคุณภาพและปริมาณที่เพียงพอ อย่างไรก็ตาม วัตถุประสงค์ที่ได้มาจำกัดไม่ได้จึงต้องศึกษาวิธีการสกัดแบบต่างๆ เพื่อให้ได้ปริมาณดีเอ็นเอที่เหมาะสมต่อการนำไปศึกษาขั้นตอนต่อไปได้ การศึกษานี้จึงมีความประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการสกัดดีเอ็นเอ เปรียบเทียบถึงปริมาณและคุณภาพดีเอ็นเอที่สกัดได้ในแต่ละวิธี เพื่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์ โดยทำการศึกษา 2 กลุ่มตัวอย่าง (เลือดเก่าและวัสดุพื้นผิวสัมผัส) จากอาสาสมัคร 15 คน ด้วยการสกัดดีเอ็นเอด้วยชุดสกัดสำเร็จรูป 2 วิธี ได้แก่ วิธีแรกสกัดแบบ Column-based method ได้แก่ ชุดสกัดดีเอ็นเอ QIAamp DNA micro kit และชุดสกัดดีเอ็นเอของ Geneius micro gDNA extraction kit จากตัวอย่างเลือดเก่าที่ปริมาณน้อย และวิธีที่สองแบบ Magnetic based method สกัดด้วยชุดสกัด Mag Tech Universal Extraction kit (Bioentist) จากตัวอย่างดีเอ็นเอที่พื้นผิวสัมผัส (แก้วและพลาสติก) โดยการวัดปริมาณความเข้มข้นด้วย Nano-spectrophotometer ผลการวิจัยพบว่า สามารถสกัดดีเอ็นเอได้ทั้งสองวิธี ซึ่งวิธีแรกพบว่ามีปริมาณดีเอ็นเอที่ได้ไม่แตกต่างกันทั้ง 2 ชุดสกัด โดยดีเอ็นเอที่ได้มีความเข้มข้นตั้งแต่ 3.17-11.57 ng/ μ l และวิธีที่สองพบดีเอ็นเอที่สกัดได้มีปริมาณที่ได้ไม่แตกต่างกันทั้ง 2 พื้นผิวสัมผัส โดยพบความเข้มข้นตั้งแต่ 0.59-6.27 ng/ μ l ซึ่งเพียงพอต่อการศึกษาในขั้นตอนต่อไปได้

คำสำคัญ: ดีเอ็นเอ, วิธีการสกัดดีเอ็นเอ, เลือดเก่า, ดีเอ็นเอที่ได้จากการสัมผัส, นิติวิทยาศาสตร์

Abstract

Currently, DNA extraction techniques play an important role in molecular biology. Especially in forensic science, the DNA obtained must be of sufficient quality and quantity. However, the evidence cannot be determined. Therefore, researchers had to study different extraction methods for enough DNA to be analyzed in the next step. This aims to study a comparative of DNA extraction methods in two groups (small amount old blood and touch DNA) from 15 volunteers for application of forensic science. That extracted using two pre-assembly methods, column-based DNA extraction kit QIAamp DNA micro kit and Geneius micro gDNA extraction kit from old blood samples and the second, magnetic based method. Mag Tech Universal Extraction kit (Bioentist) was extracted from surface-exposed DNA samples (glass and plastic). All concentrations were measured using a nano-spectrophotometer (Nabi: Micro digital). The results showed that DNA can be extracted by both methods. The first method found that the amount of DNA extracted from both sets was not different. DNA concentrations ranged from 3.17-11.57 ng/ μ l and the second method showed that the amount of DNA extracted was not different for both. The concentration ranged from 0.59-6.27 ng/ μ l, which was sufficient for further studies.

Keywords: DNA, Extraction methods, Old blood, Touch DNA, Forensic

1. บทนำ

การวิจัยโดยส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญต่อการสกัดกรดนิวคลีอิกหรือดีเอ็นเอ (DNA) ให้ได้ดีเอ็นเอที่มีคุณภาพเพียงพอสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป การสกัดกรดนิวคลีอิกหรือดีเอ็นเอจึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างมากในขั้นต้นด้านอณูชีววิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านนิติวิทยาศาสตร์ที่ไม่สามารถกำหนดชนิดหรือปริมาณตัวอย่างที่พบได้ จึงจำเป็นต้องมีเทคนิคหรือวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดดีเอ็นเอให้เพียงพอและมีการปนเปื้อนน้อย ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาเอกเป็นการวิจัยขั้นต้น เพื่อประเมินผลการสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธีต่างๆ สำหรับนำไปใช้งานขั้นตอนต่อไปได้อย่างเหมาะสม ซึ่งปัจจุบันชุดสกัดดีเอ็นเอสำเร็จรูป (Commercial kit) มีให้เลือกมากมาย สะดวก ใช้เวลาน้อย สามารถช่วยลดขั้นตอนการปฏิบัติงานได้เป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม หลักการสกัดของชุดสกัดแต่ละยี่ห้อ จะมีความแตกต่างกัน หลากหลายวิธี ซึ่งผู้ใช้ต้องมีความเข้าใจในหลักการที่จะนำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง เหมาะสมด้วย โดยทั่วไปหลักการสกัดดีเอ็นเอแบ่งได้เป็น 3 แบบ ได้แก่ แบบที่ 1 Solution-based method เช่น Chelex (Biorad) ใช้หลักการ Chelating resin เป็นวิธีที่ใช้จากแบบดั้งเดิม หรือ Classic alkaline lysis [1] โดยชุดน้ำยาสำเร็จรูปประกอบด้วย Phenol และ Chloroform ราคาไม่แพง แต่มีข้อจำกัดในด้านคุณภาพและความบริสุทธิ์ของกรดนิวคลีอิกที่สกัดได้ และมีสารที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย รวมทั้งต้องใช้เวลานานกว่าวิธีอื่นๆ แบบที่ 2 Column-based method หรือ Commercial column base strategy เป็นการใช้อนุภาคที่ประกอบด้วย Silica resin ในการแยกกรดนิวคลีอิกให้มีความบริสุทธิ์ [2] เช่น ชุดสกัด QIAmp (Qiagen) การสกัดได้ปริมาณดีเอ็นเอและความบริสุทธิ์สูง ใช้เวลาน้อย แต่มีข้อจำกัด คือ ราคาค่อนข้างแพง อาจไม่เหมาะกับการสกัดตัวอย่างในปริมาณมากๆ และแบบที่ 3 Magnetic based method มีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก ง่ายต่อการเรียนรู้ เหมาะกับห้องแล็บที่มีปริมาณตัวอย่างมากๆ ใช้หลักการ Paramagnetic resin สะดวก ไม่ยุ่งยาก ใช้เวลาน้อย เช่น DNA IQ (Promega), MagTech Universal Extraction kit (Bioentist) เป็นต้น ซึ่งในการศึกษานี้ ต้องการศึกษาวิธีการสกัดดีเอ็นเอแบบที่ 2 (Column-based method) สำหรับในกลุ่มตัวอย่างเลือดเพื่อเปรียบเทียบชุดสกัดสำเร็จรูปที่มีราคาแตกต่างกัน และแบบที่ 3 (Magnetic based method) สำหรับดีเอ็นเอจากพื้นผิวสัมผัส (เป็นตัวแทนวัตถุ-พยาน) ซึ่งคาดว่าจะมีปริมาณน้อย จึงสนใจใช้วิธีนี้เพื่อเปรียบเทียบปริมาณดีเอ็นเอจากพื้นผิวสัมผัสที่แตกต่างกัน ซึ่งการวิจัยครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ในหัวข้อเรื่อง “การประมาณอายุทางนิติวิทยาศาสตร์โดยการวิเคราะห์ดีเอ็นเอเมทิลเลชันในตัวอย่างประชากรไทย” มีขั้นตอนการศึกษา 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเก็บตัวอย่างและสกัดดีเอ็นเอ การวิเคราะห์ดีเอ็นเอเมทิลเลชันด้วยเทคนิคไพโรซีควเอนซิง (Pyrosequencing) การสร้างแบบจำลองการประมาณอายุ และการทดสอบแบบจำลองด้วยตัวอย่าง Touch DNA โดยมีการพิจารณาคุณภาพการนำไปใช้ ที่อัตราส่วน 1.6-2.2 และบ่งชี้ความบริสุทธิ์ของการสกัดดีเอ็นเอ จากค่าอัตราส่วน A260/280 เมื่ออัตราส่วนใกล้เคียง 1.8 แสดงว่าเป็นดีเอ็นเอที่มีความบริสุทธิ์ ถ้าอัตราส่วน A260/280 มีค่ามากกว่า 2.0 แสดงว่ามีการปนเปื้อนของ RNA ขณะที่ถ้าอัตราส่วน A260/280 มีค่าน้อยกว่า 1.6 แสดงว่ามีการปนเปื้อนโปรตีน ในขั้นตอนการสกัดดีเอ็นเอ [1]

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญของการสกัดดีเอ็นเอ เพื่อต้องการทราบปริมาณดีเอ็นเอ และคุณภาพให้เพียงพอต่อการนำไปใช้งานในขั้นตอนต่อไป ซึ่งปริมาณของดีเอ็นเอที่นำไปประยุกต์ใช้ต่อไปในการศึกษาขั้นตอน Pyrosequencing นั้นต้องการปริมาณอย่างน้อย 10 นาโนกรัม/ไมโครลิตร [7]

วัตถุประสงค์การวิจัยนี้เพื่อต้องการศึกษาวิธีการสกัดดีเอ็นเอและเปรียบเทียบถึงปริมาณและคุณภาพดีเอ็นเอที่สกัดดีเอ็นเอด้วยชุดสกัดสำเร็จรูป 2 ชุด ด้วยวิธีแบบ Column-based method ในกลุ่มตัวอย่างเลือดเก่าที่มีปริมาณน้อย และแบบ Magnetic separation ต้องการเปรียบเทียบในกลุ่มตัวอย่างแก้ว และพลาสติก ที่ได้จากการสัมผัสพื้นผิววัสดุ (Touch DNA) สำหรับการนำไปใช้ศึกษาในขั้นตอน Pyrosequencing ทางห้องปฏิบัติการต่อไปได้ เพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป

2. วิธีการศึกษา

เตรียมตัวอย่างอาสาสมัครทั้งชายหญิงที่มีสุขภาพแข็งแรง จำนวน 15 คน มีช่วงอายุ 19-75 ปี แบ่งตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มตัวอย่างเลือดที่เก็บด้วยสำลีปลอดเชื้อ โดยการเจาะเลือดจากปลายนิ้วจำนวน 10 คน และกลุ่มตัวอย่างจากวัสดุพื้นผิวสัมผัสแก้ว กับ แก้วพลาสติก จากอาสาสมัครทั้งชายหญิงจำนวน 5 คน ด้วยเทคนิค Double swab

2.1 การเก็บตัวอย่าง

2.1.1 การเก็บตัวอย่างเลือดจากปลายนิ้วมือด้วยก้านสำลีปลอดเชื้อ

การสกัดดีเอ็นเอด้วยชุดสกัดสำเร็จด้วยชุดสกัด QIAamp DNA micro kit (QIAGEN) และชุดสกัด Geneius micro gDNA extraction kit (Geneius) เป็นชุดสกัดที่ออกแบบสำหรับตัวอย่างที่มีปริมาณน้อย (Small volume) ซึ่งใช้เลือดในการสกัดเพียง 1-100 ไมโครลิตร เท่านั้น ในรูปแบบ Column-based method [3,4] โดยการใช้การเจาะเลือดบริเวณปลายนิ้วด้วยอุปกรณ์ Lancet (Figure 1a) และใช้ก้านสำลีปลอดเชื้อ (Cotton bud) ขนาดกลาง (M) ซับหยดเลือดที่ปลายนิ้วเลือดที่ได้ประมาณ 20-45 ไมโครลิตร ทิ้งให้เลือดแห้งสนิท (Figure 1b) ที่อุณหภูมิห้อง เก็บในช่องกระดาษระบายละเอียด อายุการเก็บเลือดที่อุณหภูมิห้องประมาณ 6 เดือน

2.1.2 การเก็บตัวอย่างจากการสัมผัสวัสดุพื้นผิวแก้วและแก้วพลาสติก (Touch DNA)

การเก็บตัวอย่างจากการสัมผัสวัสดุพื้นผิว โดยใช้ชุดสกัดดีเอ็นเอสำเร็จรูปแบบ Magnetic separation โดยการเตรียมวัสดุแก้ว และแก้วพลาสติกด้วยการล้างด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อให้สะอาด และผ่านรังสี Ultra Violet เป็นเวลา 30 นาที เพื่อทำลายดีเอ็นเอแปลกปลอมที่อาจติดอยู่ จากนั้นให้อาสาสมัครจับตัวอย่างทั้งซ้ายขวา หมุนรอบๆ ข้างละ 1 นาที (Figure 1c) ทำการเก็บตัวอย่างวิธี Double swab โดยใช้ก้านสำลีแห้งหยดด้วยน้ำปลอดเชื้อป้ายเก็บให้ทั่วบริเวณวัสดุที่สัมผัส จากนั้นนำก้านสำลีอีก 1 อันป้ายเก็บส่วนที่เหลือให้ทั่ว ตั้งทิ้งไว้ให้แห้งสนิท เก็บใส่ช่องกระดาษเก็บที่อุณหภูมิห้อง ระบายละเอียด [5]

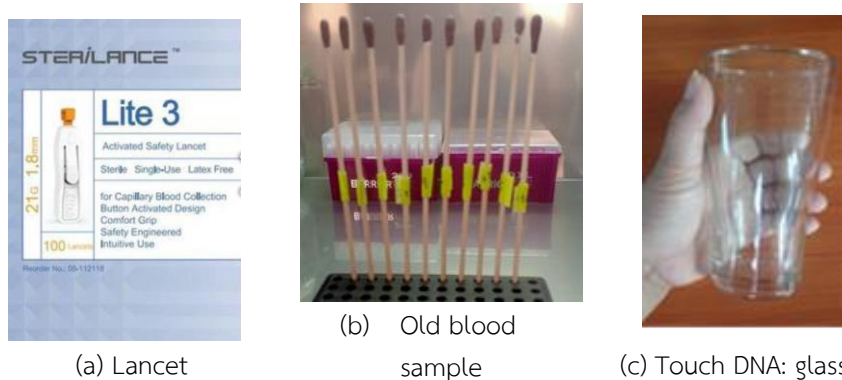


Figure 1 An old blood sample taken from a fingertip and samples collected by DNA touching the DNA.

a) Blood collection equipment (Lancet) b) Old blood samples and c) DNA collection from touching glass.

2.2 การสกัดดีเอ็นเอด้วยชุดสกัด Column-based method

2.2.1 การสกัดดีเอ็นเอด้วยชุดน้ำยา QIAamp DNA micro kit (QIAGEN):Qg

มีขั้นตอนการสกัด DNA โดยย่อคือ นำก้านสำลีมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ในหลอด Microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Lysis บัฟเฟอร์ (ATL buffer) ปริมาตร 400 ไมโครลิตรและ Proteinase K ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ทำการเขย่าและนำไปปั่นที่อุณหภูมิ 56 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที จากนั้นนำสำลีมาแยกใส่ Basket และนำไปปั่นเหวี่ยง 14,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที แยกสำลีทิ้งไป และเติม AL Buffer ปริมาตร 400 ไมโครลิตร นำไปปั่นพร้อมเขย่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติม Ethanol ปริมาตร 200 ไมโครลิตรปั่นที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นทำการถ่ายส่วนใสทั้งหมดใน Minlute Column แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที ทำการเปลี่ยนหลอดรองใหม่ จากนั้นเติม AW1 Buffer ปริมาตร 500 ไมโครลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที ทำการเปลี่ยนหลอดรองใหม่ และเติม AW2 Buffer ปริมาตร 500 ไมโครลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเปลี่ยนหลอดรองใหม่ นำไปปั่นที่ 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที เพื่อให้ตัวอย่างแห้ง ก่อนที่จะย้าย Minlute Column ไปยังหลอด Microcentrifuge tube และเติม AE Buffer ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ที่ตรงกลางหลอด จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง 14,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาที เก็บดีเอ็นเอที่ได้ ที่ -20 องศาเซลเซียส ก่อนดำเนินการศึกษาขั้นตอนต่อไป (Figure 2a)

2.2.2 การสกัดดีเอ็นเอด้วยชุดน้ำยา Geneius micro gDNA extraction kit (Geneius):Gn

มีขั้นตอนการสกัด DNA โดยย่อ คือ นำก้านสำลีมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในหลอด Microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Lysis บัฟเฟอร์ (S1 buffer) ปริมาตร 200 ไมโครลิตรและ Proteinase K ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ทำการเขย่าและนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสำลีมาแยกใส่ Basket และนำไปปั่นเหวี่ยง 14,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที แยกสำลีทิ้งไป และเติม S2 Buffer ปริมาตร 200 ไมโครลิตร นำไปบ่มพร้อมเขย่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติม Ethanol 200 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นทำการถ่ายส่วนใสทั้งหมดใน GD Column แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที ทำการเปลี่ยนหลอดรองใหม่ จากนั้นเติม AW1 Buffer ปริมาตร 400 ไมโครลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 16,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที ทำการเปลี่ยนหลอดรองใหม่ และเติม Wash Buffer ปริมาตร 600 ไมโครลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 16,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นเปลี่ยนหลอดรองใหม่ นำไปปั่นที่ 16,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที เพื่อให้ตัวอย่างแห้ง ก่อนที่จะย้าย GD Column ไปยังหลอด Microcentrifuge tube และเติม EB Buffer ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ที่ตรงกลางหลอด จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง 16,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที เก็บดีเอ็นเอที่ได้ ที่ -20 องศาเซลเซียส ก่อนดำเนินการศึกษาขั้นตอนต่อไป (Figure 2b)



(a)

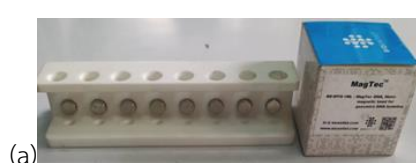


(b)

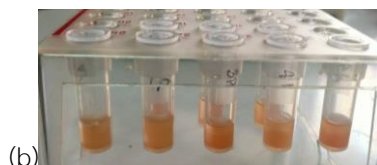
Figure 2 Commercial DNA extraction kit by Column-based method: a) QIAamp DNA micro kit: Qg and b) Geneius micro gDNA extraction kit: Gn

2.3 การสกัดดีเอ็นเอด้วยชุดสกัด Magnetic separation

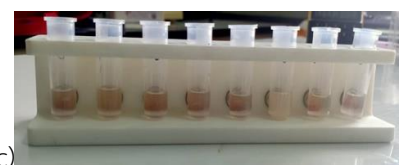
การสกัดดีเอ็นเอด้วยชุดน้ำยา Magnetic bead universal (Figure 3a) เพื่อศึกษาปริมาณการสกัดดีเอ็นเอที่สัมพันธ์กับผิวแก้ว และแก้วพลาสติก โดยมีวิธีการดังนี้ คือ นำก้านสำลีมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในหลอด Microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Lysis buffer ปริมาตร 300 ไมโครลิตร กับสารละลาย DTT ปริมาตร 2 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันและนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที บนเครื่องเขย่า 400 รอบต่อนาที (rpm) นำมาปั่นเหวี่ยงที่ 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ดูดสารละลายที่ได้ส่วนบนใส่หลอด Microcentrifuge tube ใหม่ เติม Magmatic bead (Resin) 30 ไมโครลิตร ต่อหลอด เขย่าให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที (Figure 3b) จากนั้นเขย่าแล้วนำหลอดไปใส่วางในแท่นแม่เหล็ก (Magnetic stand) ทันที โดย Resin จะติดกับแม่เหล็ก (Figure 3c) ดูดสารละลายทิ้งไป แล้วเติม Wash buffer ปริมาตร 600 ไมโครลิตร เขย่าเบาๆ นำไปวางที่แท่นแม่เหล็ก ดูดส่วนใสทิ้งไป จากนั้นตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นเติมสารละลาย BE buffer ปริมาตร 25 ไมโครลิตร เขย่าและบ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นำมาเขย่าและวางในแท่นแม่เหล็ก ทันที จากนั้นดูดสารละลายที่มีดีเอ็นเอใส่ในหลอด Microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร เก็บที่ -20 องศาเซลเซียส ก่อนดำเนินการศึกษาขั้นตอนต่อไป [6]



(a)



(b)



(c)

Figure 3 Commercial DNA extraction kit by Magnetic-based method: a) magnetic bead universal (Bioentist) b) DNA mixed with sample solution and c) DNA separated by magnetics stand.

2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณ DNA และตรวจสอบคุณภาพ DNA

ทำการตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นและคุณภาพของ DNA ที่สกัดได้จากวิธีที่กล่าวไว้ข้างต้น จะนำมาเปรียบเทียบกับคุณภาพและหาปริมาณความเข้มข้นของดีเอ็นเอที่สกัดได้ด้วยเครื่อง NanoDrop UV-Vis spectrophotometer โดยทำการหาค่าดีเอ็นเอ ปริมาตร 1 ไมโครลิตร ตรงจุดหยุดสารภายในเครื่อง อ่านค่าพร้อมบันทึกผลปริมาณดีเอ็นเอที่ค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 260 และ 280 นาโนเมตร ตามลำดับ ตรวจสอบคุณภาพความบริสุทธิ์ของ DNA และสิ่งปนเปื้อน โดยหาค่าอัตราส่วนระหว่างค่า A260/A280 ค่าที่คำนวณได้จะนำไปวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ต่อไป โดยตรวจ 3 ครั้งหาค่าเฉลี่ย บันทึกผลด้วย Microsoft Excel

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ กำหนดระดับความเชื่อมั่นในการทดสอบทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ซึ่งแบ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้ รายงานค่าปริมาณความบริสุทธิ์ (A260/280) และการปนเปื้อนของดีเอ็นเอที่สกัดจากเลือด และการสัมผัสวัสดุพื้นผิว (ค่า Mean, Minimum, Maximum และ S.D.) การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างปริมาณและความบริสุทธิ์ของดีเอ็นเอที่สกัดได้เป็นการเปรียบเทียบเฉพาะวิธีการสกัดเลือดในกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน และเปรียบเทียบเฉพาะกลุ่มตัวอย่าง Touch DNA ในวิธีการสกัดแบบเดียวกัน

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

หลักการสกัดดีเอ็นเอโดยทั่วไป มีอยู่ 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การทำให้เซลล์แตก (Cell Lysis) ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอน (DNA binding) ขั้นตอนการกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ต้องการออกไปให้เหลือเฉพาะสารละลายดีเอ็นเอ ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอน (Washing) ที่ทำให้ดีเอ็นเอสะอาดและบริสุทธิ์ ไม่มีสิ่งปนเปื้อน โดยสารละลายที่สกัดออกมาสามารถนำไปหาปริมาณความเข้มข้นและความบริสุทธิ์โดยการตรวจดูคุณภาพของดีเอ็นเอ โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 และ 280 นาโนเมตร ตามลำดับ ด้วยเครื่อง Nano-spectrophotometer และการตรวจคุณภาพด้วยเทคนิคอะโรสเจล อิเล็กโตรโฟรีซิส [1] การศึกษานี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น พบว่าสามารถสกัดดีเอ็นเอของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มได้ทั้งตัวอย่างจากเลือดและวัสดุพื้นผิวสัมผัส สามารถนำดีเอ็นเอไปเพิ่มขึ้นส่วนดีเอ็นเอ (PCR) นำมาศึกษาในขั้นตอน Bisulfite (ต้องการอย่างน้อย 10 นาโนกรัม) เพื่อนำไปศึกษาด้วยเทคนิค Pyrosequencing ต่อไปได้ [7]

Table 1 Comparison of the DNA concentration, purity of DNA extracted from old blood samples with different commercial DNA extraction kits.

No.	Sample type	Extraction kit	Concentration* (ng/ μ l)	OD A260/280	Extraction kit	Concentration* (ng/ μ l)	OD A260/280
1	old blood	Qg	3.57 \pm 0.85	1.46 \pm 0.24	Gn	6.00 \pm 1.77	2.09 \pm 0.30
2	old blood	Qg	4.53 \pm 1.19	4.98 \pm 1.77	Gn	7.97 \pm 1.92	2.85 \pm 1.20
3	old blood	Qg	7.60 \pm 1.42	3.27 \pm 0.96	Gn	7.33 \pm 0.85	2.19 \pm 0.27
4	old blood	Qg	7.17 \pm 2.42	3.00 \pm 0.46	Gn	6.13 \pm 0.68	2.75 \pm 0.54
5	old blood	Qg	6.07 \pm 1.43	2.19 \pm 0.27	Gn	5.57 \pm 1.07	2.37 \pm 0.40
6	old blood	Qg	3.87 \pm 0.21	3.95 \pm 0.46	Gn	6.03 \pm 0.25	2.30 \pm 0.69
7	old blood	Qg	3.17 \pm 0.31	14.25 \pm 6.39	Gn	7.03 \pm 0.83	2.38 \pm 0.63
8	old blood	Qg	11.57 \pm 2.99	2.40 \pm 0.80	Gn	5.80 \pm 0.85	2.66 \pm 1.09
9	old blood	Qg	3.53 \pm 1.20	12.33 \pm 3.92	Gn	6.40 \pm 2.95	2.04 \pm 0.15
10	old blood	Qg	3.57 \pm 0.85	7.73 \pm 1.07	Gn	7.53 \pm 2.91	2.52 \pm 0.40

*ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) Qg: Qiagen micro-DNA kit

Gn: Geneius DNA micro kit

3.1 การเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้น ความบริสุทธิ์ของ DNA ที่สกัดด้วยชุดสกัดแบบรูป Column-based method

การสกัดดีเอ็นเอจากหยดเลือดเก่าที่มีปริมาณน้อย (Small volume) โดยใช้ชุดสกัด QIAamp® DNA Micro kit (QIAGEN) เป็นการสกัดดีเอ็นเอให้บริสุทธิ์โดยวิธีการใช้ Silica gel membrane ดักจับดีเอ็นเอ โดยมีการเติม Ethanol ลงไปทำให้ดีเอ็นเอแน่นจับกันอย่างจำเพาะกับ Membrane ซึ่งรูปแบบนี้เป็นกรดชั้นตอนการตกตะกอนดีเอ็นเอ โดยการใช้แอลกอฮอล์ และหลีกเลี่ยงการใช้สารที่เป็นอันตราย เช่น Phenol และ Chloroform เป็นต้น ส่วนสารปนเปื้อนต่าง ๆ จะถูกชะออกจากการล้าง Membrane filter ด้วยสารละลาย Washing buffer 1 และ 2 ซึ่งบัฟเฟอร์ทั้งสองจะมีความเข้มข้นของเกลือที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการชะดีเอ็นเอที่จับกับ Membrane ด้วยสารละลาย AE บัฟเฟอร์ เพื่อนำดีเอ็นเอไปวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งใช้หลักการเดียวกันกับชุดสกัด Micro gDNA extraction kit (Geneius) จากการเปรียบเทียบวิธีการสกัดด้วยวิธี Column-based method พบว่า การสกัดด้วยชุดสกัด Qg พบว่ามีปริมาณดีเอ็นเอเฉลี่ยช่วงระหว่าง $3.17 \pm 0.31 - 11.57 \pm 2.99$ นาโนกรัมต่อไมโครลิตร และผลการเปรียบเทียบความบริสุทธิ์ (A260/280) พบค่าเฉลี่ยช่วงระหว่าง $1.46 \pm 0.24 - 14.25 \pm 6.39$ ขณะที่การสกัดด้วย Gn พบว่ามีปริมาณดีเอ็นเอเฉลี่ยช่วงระหว่าง $5.57 \pm 1.07 - 7.97 \pm 1.97$ นาโนกรัมต่อไมโครลิตร และผลการเปรียบเทียบความบริสุทธิ์ (A260/280) พบค่าเฉลี่ยช่วงระหว่าง $2.04 \pm 0.15 - 2.85 \pm 1.20$ ดังแสดงใน Table 1 อย่างไรก็ตาม ค่า OD ที่สกัดในการสกัดด้วยชุด Qg พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่กว้างมาก 1.46-14.25 (ควรจะอยู่ที่ประมาณ 1.6-2.2 ที่ยอมรับได้) อาจเนื่องจากเกิดความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการสกัดดีเอ็นเอทำให้เกิดการปนเปื้อนดีเอ็นเอซึ่งจำเป็นต้องทำการตรวจสอบอีกครั้ง และจากการศึกษาครั้งนี้ชุดสกัดดีเอ็นเอ Gn และชุดสกัด Qg ได้ปริมาณความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่มีราคาที่แตกต่างกันจึงสามารถพิจารณาใช้ทดแทนกันได้ตามเหมาะสม

3.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของดีเอ็นเอด้วยชุดสกัด Magnetic separation

จาก Table 2 การเปรียบเทียบตัวอย่าง Touch DNA ที่สกัดด้วยวิธี Magnetic separation พบว่า ทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่างสามารถทำการสกัดด้วยชุดสกัด Magnetic bead universal ได้ โดยตัวอย่างที่สัมผัสแก้วพลาสติก พบว่าได้ปริมาณดีเอ็นเอเฉลี่ยช่วงระหว่าง $0.59 \pm 0.27 - 3.77 \pm 1.10$ นาโนกรัมต่อไมโครลิตร และผลการเปรียบเทียบความบริสุทธิ์ (A260/280) พบค่าเฉลี่ยช่วงระหว่าง $0.01 \pm 0.02 - 2.27 \pm 7.08$ ขณะที่ การสกัดจากตัวอย่างสัมผัสแก้ว พบว่า มีปริมาณดีเอ็นเอเฉลี่ยช่วงระหว่าง $1.36 \pm 0.36 - 6.27 \pm 1.72$ นาโนกรัมต่อไมโครลิตร และผลการเปรียบเทียบความบริสุทธิ์ (A260/280) พบค่าเฉลี่ยช่วงระหว่าง $2.65 \pm 0.59 - 6.64 \pm 2.06$ จากการศึกษานี้พบว่าชุดสกัดดีเอ็นเอสำเร็จรูปจากตัวอย่างการสัมผัสได้ปริมาณความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของดีเอ็นเอที่สกัดได้สามารถนำไปศึกษาต่อได้ โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งผลการสกัดดีเอ็นเอจาก Touch DNA ในครั้งนี้ จำเป็นต้องประเมินความเหมาะสมของดีเอ็นเอที่สกัดได้ ด้วยขั้นตอนพีซีอาร์ศึกษาในขั้นตอน Pyrosequencing (ต้องการอย่างน้อย 10 นาโนกรัม)

Table 2 Comparison of DNA concentrations and purity of DNA extracted from exposure of various DNA samples (glass and plastic mug with Magnetic commercial DNA extraction kit.

No.	Sample type (Touch DNA)	Concentration*	OD	Sample type (Touch DNA)	Concentration*	OD
		(ng/μl)	A260/280		(ng/μl)	A260/280
1	Plastic mug	1.28 ± 0.59	0.01 ± 0.02	glass	3.20 ± 1.21	6.64 ± 2.06
2	Plastic mug	1.57 ± 0.40	0.13 ± 0.23	glass	3.43 ± 1.19	3.99 ± 1.20
3	Plastic mug	3.77 ± 1.10	1.01 ± 2.95	glass	6.27 ± 1.72	2.72 ± 0.25
4	Plastic mug	3.60 ± 1.85	0.87 ± 3.32	glass	3.77 ± 0.76	7.75 ± 2.35
5	Plastic mug	0.59 ± 0.27	2.72 ± 7.08	glass	1.36 ± 0.36	2.65 ± 0.59

*ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

4. สรุป

การศึกษาเบื้องต้นครั้งนี้เพื่อต้องการศึกษาวิธีการสกัดดีเอ็นเอและเปรียบเทียบถึงปริมาณและคุณภาพดีเอ็นเอที่สกัดดีเอ็นเอด้วยชุดสกัดสำเร็จรูป 2 ชุด ด้วยวิธีแบบ Column-based method ในกลุ่มตัวอย่างเลือดเก่าที่มีปริมาณน้อย และแบบ Magnetic separation ต้องการเปรียบเทียบในกลุ่มตัวอย่างแก้ว และพลาสติก ที่ได้จากการสัมผัสพื้นผิววัสดุ (Touch DNA) สำหรับการนำไปใช้ศึกษาในขั้นตอน Pyrosequencing ทางห้องปฏิบัติการต่อไปได้ เพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การสกัดดีเอ็นเอด้วยชุดน้ำยาสำเร็จรูปชุดสกัด QIAamp DNA micro kit และชุดสกัดดีเอ็นเอของ Geneius micro gDNA extraction kit สามารถใช้สกัดอย่างเลือดเก่าที่มีปริมาณน้อยได้ปริมาณและคุณภาพที่ไม่มีความแตกต่างกัน และพอเพียงพอการนำไปศึกษาขั้นตอนต่อไปได้ รวมถึงการสกัดดีเอ็นเอสัมผัส (Touch DNA) ด้วยชุดสกัด Magnetic beads สามารถสกัดดีเอ็นเอและได้ปริมาณที่นำไปศึกษาต่อได้ด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ปริมาณความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของดีเอ็นเอที่สกัดได้ จะขึ้นอยู่กับตัวอย่างแต่ละชนิด และวิธีการเก็บตัวอย่างจึงควรทำการเพิ่มจำนวนตัวอย่างในการสกัดดีเอ็นเอ เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น อีกทั้งการสกัดดีเอ็นเอจากวัตถุพยานบางครั้งมีปริมาณน้อยมาก จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคและวิธีการที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ดีเอ็นเอที่เพียงพอมาใช้วิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Michael, R.G. and J. Sambrook. 2012. Molecular cloning: A laboratory Manual. 4th Edition., Cold Spring Harbor Laboratory Press. Cold Spring Harbor., New York
- [2] Boyle, J.S. and A.M. Lew. 1995. An inexpensive alternative to glassmilk for DNA purification. Trends Genet. 11: 8
- [3] QIAamp DNA micro-Handbook
<https://www.qiagen.com/ch/~media/4D8DF38311F64606847546D1A40F0985.ashx> (เข้าถึงเมื่อ 26 กรกฎาคม 2565).
- [4] Geneius™ Micro gDNAExtraction Kit.
<https://www.geneaid.com/data/download/attached/1602744422239194396.pdf> (เข้าถึงเมื่อ 26 กรกฎาคม 2565).
- [5] สุภัทร ตันติวิทยมาศ บุชบา ฤกษ์อำนวยโชค และสันต์ สุขวัจน์. 2554. การเก็บดีเอ็นเอจากพื้นผิวหินสัมผัส. ใน: การประชุมวิชาการศึกษาระดับชาตินานาชาติ ครั้งที่ 2 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [6] Instruction Manual: MagTec™ Universal Extraction Kit
https://bioentist.com/wpcontent/uploads/2019/04/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD-Universal-MagTec-Extraction-kit_Bioentist-copy.pdf (เข้าถึงเมื่อ 11 สิงหาคม 2565).
- [7] EpiTect® Bisulfite Handbook (2020) <https://www.qiagen.com/us/resources/download.aspx?id=f6e8659a-8c2f-49b6-8ac3-5dbdc99589cd&lang=en>

การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต Development of a new attraction recommendation application for promoting tourism business in Phuket

อิสริยา เส้นสี^{1*} กษิตินารท หลักมัน² และ อุไรรัตน์ มากจันทร์³
Aitsariya Senla^{1*}, Kasitinart Lakman² and Urairat Makchan³

¹นักศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ภูเก็ต

²นักศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ภูเก็ต

³หลักสูตรเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ภูเก็ต

¹Bachelor Student of Digital Technology (3rd years), Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University, Phuket

²Bachelor Student of Digital Technology (3rd years), Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University, Phuket

³Department of Digital Technology, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University, Phuket

*Corresponding author: Aitsariya Senla, e-mail address: s6311423124@pkru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต ซึ่งมีการนำเสนอข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่ในจังหวัดภูเก็ต โดยมีการแบ่งประเภทของแหล่งท่องเที่ยวได้แก่ แหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ คาเฟ่ ร้านอาหารพื้นเมือง และร้านจำหน่ายของที่ระลึก ซึ่งให้รายละเอียดของข้อมูลประกอบด้วย ชื่อสถานที่ เวลาทำการ เบอร์โทรศัพท์ที่ตั้ง ข้อมูลแนะนำเพิ่มเติม รูปภาพประกอบ และมีแผนที่ นำทางไปยังที่ตั้งของแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชัน คือ โปรแกรม Glide นำแอปพลิเคชันไปประเมินประสิทธิภาพความพึงพอใจใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักท่องเที่ยวโดยบังเอิญ จำนวน 43 คน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลจากการวิจัยพบว่า การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต มีประสิทธิภาพความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.49, S.D. = 0.61$)

คำสำคัญ: แอปพลิเคชัน , แหล่งท่องเที่ยว , จังหวัดภูเก็ต

Abstract

This research has the purpose to develop a new attraction recommendation application to promote the tourism business in Phuket. and to study the efficiency of a new attraction recommendation application for promoting tourism businesses in Phuket. There is a presentation of new tourist attractions in Phuket. There is a classification of tourist attractions, including natural attractions, café, local restaurants, and souvenir shops Which provides detailed information consisting of location names, business hours, contact numbers, locations, additional information, illustrations, and maps to navigate to the location of various resources the tool used for application development is the Glide program. application to assess performance and satisfaction A sample of 43 random tourists was used. The statistics used for data analysis were mean and standard deviation.

Results of the study show that overall satisfaction with the development of a new attraction recommendation app for promoting tourism business in Phuket is at a good level ($\bar{X}=4.49, S.D.= 0.61$)

Keywords: Application, Tourist Attraction, Phuket

1. บทนำ

ในปัจจุบันการท่องเที่ยวเป็นหนึ่งในกิจกรรมที่ทุกคนนิยมไปท่องเที่ยวในสถานที่ท่องเที่ยวที่ตนเองชื่นชอบ เพื่อไปพักผ่อนหย่อนใจตามสไตล์ของนักท่องเที่ยวในแต่ละคนไม่ว่าจะเป็นนักท่องเที่ยวตามแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ ทางสถาปัตยกรรมหรือวัฒนธรรมต่าง ๆ ที่มาพร้อมกับพฤติกรรมของนักท่องเที่ยว นั่นคือ การถ่ายรูป เช็คอิน ลงบนสื่อออนไลน์ นอกจากนี้การท่องเที่ยวยังเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างรายได้ให้กับประเทศ จังหวัด ชุมชน และชาวบ้านของสถานที่ท่องเที่ยวแต่ละแห่ง ซึ่งภูเก็ตเป็นจังหวัดที่มีรายได้จากการท่องเที่ยวเป็นหลักแต่เมื่อเกิดสถานการณ์โควิด 19 รัฐบาลได้ใช้มาตรการปิดน่านฟ้าเพื่อหยุดการแพร่ระบาดของการท่องเที่ยวของภูเก็ตประสบปัญหาประชาชนในจังหวัดมีการว่างงานขาดรายได้เป็นจำนวนมาก เมื่อสถานการณ์เริ่มคลี่คลายทางหน่วยงานภาครัฐและประชาชนในจังหวัดภูเก็ตพร้อมที่จะปรับปรุงธุรกิจสร้างแลนด์มาร์คเป็นจุดเช็คอิน เกิดเป็นสถานที่ท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับนักท่องเที่ยวทำให้ช่วงแต่ตั้งเดือน มกราคม – ตุลาคม พ.ศ. 2565 ภูเก็ตมีรายได้จากการท่องเที่ยวเป็นเงินจำนวน 127,927 ล้านบาท ซึ่งเป็นรายได้จากการท่องเที่ยวสูงที่สุดของประเทศไทย [1]

แผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติ (พ.ศ.2564-2565) ได้สรุปสาระสำคัญของแผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติ (พ.ศ.2564-2565) ได้มุ่งเน้นไปที่การวางรากฐานและแก้ไขปัญหาการหยุดชะงักของการท่องเที่ยวที่เกิดจากการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด 19 รวมทั้งการสร้างสมดุลของการพัฒนาทั้งในมิติของพื้นที่เวลาและกิจกรรม รวมไปถึงกลุ่มนักท่องเที่ยว เพื่อการสร้างรายได้และกระจายรายได้ไปยังชุมชน การเตรียมอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวเพื่อรองรับการเติบโตในอนาคตโดยอาศัยการลงทุนในการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศสมัยใหม่ ตลอดจนการให้ความสำคัญกับการท่องเที่ยวแห่งชาติ (พ.ศ. 2564-2565) สามารถใช้เป็นแผนหลักในการพัฒนาการท่องเที่ยวให้มีวิสัยทัศน์ตามที่คาดหวังอย่างแท้จริง [2]

จากแผนการพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติและผลกระทบจากสถานการณ์โควิดที่มีต่อธุรกิจการท่องเที่ยวในภูเก็ต ผู้วิจัยสนใจที่จะพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต ที่ประกอบไปด้วยสถานที่ท่องเที่ยว ร้านอาหารพื้นเมือง คาเฟ่ สถานที่ทำกิจกรรมจุดเช็คอินและสถานที่จำหน่ายของที่ระลึกต่าง ๆ ที่น่าสนใจเพื่อรองรับนักท่องเที่ยวที่มาเยือนภูเก็ต โดยมีแผนที่นำทาง สามารถนำทางไปถึงที่หมายได้อย่างถูกต้อง

การทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาในครั้งนี้ได้นำแนวคิด ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการศึกษา มีดังนี้

1) ทฤษฎีเกี่ยวกับการท่องเที่ยว

โดยองค์การการท่องเที่ยวโลกแห่งสหประชาชาติ (United Nations World Tourism Organization : UNWTO) ได้ให้ความหมายของการท่องเที่ยว คือ การเดินทางของบุคคลจากที่อยู่อาศัยปกติไปยังที่อื่นเป็นการชั่วคราว (ไม่มากกว่า 1 ปี ติดต่อกัน) เดินทางด้วยความสมัครใจเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ ติดต่อธุรกิจและวัตถุประสงค์ใด ๆ ก็ได้แต่ไม่ใช่เพื่อการประกอบอาชีพหรือหารายได้ และได้กำหนดรูปแบบของการท่องเที่ยวไว้ 3 รูปแบบ คือ 1) การท่องเที่ยวในแหล่งธรรมชาติ (Natural based tourism) 2) การท่องเที่ยวในแหล่งวัฒนธรรม (Cultural based tourism) และ 3) การท่องเที่ยวในความสนใจพิเศษ (Special interest tourism) ซึ่งในแต่ละรูปแบบสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. รูปแบบการท่องเที่ยวในแหล่งธรรมชาติ (Natural Based Tourism) ประกอบด้วย การท่องเที่ยวเชิงนิเวศ (Ecotourism) การท่องเที่ยวเชิงนิเวศทางทะเล (Marine Ecotourism) การท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา (Geo-Tourism) การท่องเที่ยวเชิงเกษตร (Agro Tourism) การท่องเที่ยวเชิงดาราศาสตร์ (Astrological Tourism)

2. รูปแบบการท่องเที่ยวในแหล่งวัฒนธรรม (Cultural Based Tourism) ประกอบด้วย การท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์ (Historical Tourism) การท่องเที่ยวงานชมวัฒนธรรมและประเพณี (Cultural And Traditional Tourism) การท่องเที่ยวชมวิถีชีวิตในชนบท (Rural Tourism/Village Tourism)

3. รูปแบบการท่องเที่ยวในความสนใจพิเศษ (Special Interest Tourism) ประกอบด้วย การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ (Health Tourism) การท่องเที่ยวเชิงทัศนศึกษาและศาสนา (Edu-Meditation Tourism) การท่องเที่ยวเพื่อศึกษากลุ่มชาติพันธุ์หรือวัฒนธรรมกลุ่มน้อย (Ethnic Tourism) การท่องเที่ยวเชิงกีฬา (Sports Tourism) การท่องเที่ยวแบบผจญภัย (Adventure Travel) การท่องเที่ยวแบบโฮมสเตย์ และ ฟาร์ม สเตย์ (Home Stay & Farm Stay) การท่องเที่ยวพำนักระยะยาว (Long stay) การท่องเที่ยวแบบให้รางวัล (Incentive Travel) การท่องเที่ยวเพื่อการประชุม (MICE) [3]

2) ทฤษฎีเกี่ยวกับโมบายแอปพลิเคชัน

โมบายแอปพลิเคชัน ประกอบด้วยคำสองคำ คือ โมบาย (Mobile) และแอปพลิเคชัน (Application)

โมบาย (Mobile) หมายถึง อุปกรณ์สื่อสารที่ใช้ในการพกพาซึ่งนอกจากจะใช้งานได้ตามพื้นฐานของโทรศัพท์แล้ว ยังทำงานได้เหมือนกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เนื่องจากอุปกรณ์ที่พกพาได้มีคุณสมบัติเด่น คือขนาดเล็กน้ำหนักเบาใช้พลังงานค่อนข้างน้อย ปัจจุบันใช้ทำหน้าที่ได้หลายอย่าง เช่น ใช้ติดต่อแลกเปลี่ยนข่าวสารกับคอมพิวเตอร์

แอปพลิเคชัน หมายถึง ซอฟต์แวร์ที่ใช้เพื่อช่วยการทำงานของผู้ใช้ (User) โดย แอปพลิเคชันจะต้องมีสิ่งเรียกว่า ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface หรือ UI) เพื่อเป็นตัวกลางการใช้งานต่าง ๆ โมบายแอปพลิเคชันเป็นการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ เช่น โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต โดยโปรแกรมจะช่วยตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งยังสนับสนุน ให้ผู้ใช้โทรศัพท์ได้ใช้ง่ายยิ่งขึ้น ในปัจจุบันโทรศัพท์มือถือหรือสมาร์ทโฟนมีหลายระบบปฏิบัติการที่พัฒนาออกมาให้ผู้ใช้บริโภคใช้ ส่วนที่นิยมใช้และเป็นที่ยอมรับคือระบบ iOS และ Android จึงทำให้เกิดการเขียนหรือพัฒนาแอปพลิเคชันลงบนสมาร์ตโฟนอย่างแพร่หลาย เช่น เกม โปรแกรมคุยต่าง ๆ และหลายธุรกิจก็เข้าไปเน้นในการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชัน เพื่อเพิ่มช่องทางในการสื่อสารกับลูกค้ามากขึ้น [4]

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจท่องเที่ยวในจังหวัด

ภูเก็ต

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชาญชัย อรรถผาดี และคณะ (2562) ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวในกลุ่มจังหวัด นครชัยบุรีนทร์ โดยใช้เทคโนโลยีภาพเสมือนจริงมีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันในการแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวในกลุ่มจังหวัด นครชัยบุรีนทร์ โดยนำเสนอผ่านเทคโนโลยีภาพเสมือนจริงเพื่อสนับสนุนด้านการท่องเที่ยวตามแผนยุทธศาสตร์ชาติและประเมินผล ความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบที่เกี่ยวข้อง โดยประเมินผลภายหลังจากการพัฒนาและเสร็จสิ้นผลจากการพัฒนาแอปพลิเคชัน พบว่า ในด้านประสิทธิภาพของระบบมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือด้านความสามารถของระบบในการประมวลผลและแสดงข้อมูลต่าง ๆ รองลงมาด้านความสามารถของระบบในการแสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ท่องเที่ยวถูกต้อง และแม่นยำ ได้สอดคล้องกับแนวทางในการพัฒนาระบบ จุดเด่นของการพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวในกลุ่ม จังหวัดนครชัยบุรีนทร์ โดยใช้เทคโนโลยีภาพเสมือนจริง คือ ช่วยนำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยวได้ดียิ่งและส่งเสริมด้านการท่องเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีอีกด้วย [5]

ณ ฤทธิ์ จิ่งสมาน และคณะ (2563) ได้ทำวิจัยเรื่องการพัฒนาแอปพลิเคชันอุตสาหกรรมท่องเที่ยวจังหวัดสุรินทร์ มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันของการท่องเที่ยวจังหวัดสุรินทร์ หาจุดคุ้มค่าและประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน และ เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีต่อสาธารณชนที่สนใจนำไปใช้ประโยชน์ จากการสร้างแอปพลิเคชัน 8 แอปพลิเคชัน คือ 1) สถานที่ท่องเที่ยว จัดแยกเป็นหมวดหมู่ เช่น สถานที่ท่องเที่ยวทางวัฒนธรรม สถานที่ท่องเที่ยวธรรมชาติ สถานที่ท่องเที่ยววิถีชุมชน เป็นต้น 2) ที่พัก มีข้อมูลที่ที่พักหรือโรงแรม นำเสนอโรงแรม ที่พักให้หลากหลายตามพื้นที่ท่องเที่ยว 3) ร้านอาหาร มีข้อมูลร้านอาหาร เป็นร้านอาหารทั่วไปและร้านอาหารพื้นถิ่น เป็นที่นิยมของคนทั่วไป 4) ข้อมูลจังหวัดสุรินทร์ มีประวัติและข้อมูลทั่วไปของจังหวัดสุรินทร์ 5) แหล่งบันเทิงมีข้อมูลแหล่งหรือสถานที่ท่องเที่ยวเวลากลางคืน 6) เบอร์โทรฉุกเฉินมีข้อมูลเบอร์โทรที่สำคัญ เช่น เบอร์สถานีตำรวจ เบอร์โรงพยาบาล เบอร์กู้ภัย 7) ปฏิทินกิจกรรม มีปฏิทินกิจกรรมของจังหวัดสุรินทร์ และ 8) ทริปเดินทาง มีข้อมูลประกอบการวางแผนการเดินทางโดยใช้แผนที่จาก Google Map โดยมีประสิทธิภาพร้อยละ 100 และพบว่าแอปพลิเคชันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพร้อยละ 96 โดยผู้ใช้แอปพลิเคชันมีความพึงพอใจ โดยรวมทั้ง 4 ด้าน อยู่ในระดับมากที่สุด คือ ด้านการทำงาน ด้านความทันสมัย ด้านกราฟฟิก ด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและตอบการสนองการใช้งาน จุดเด่นของการพัฒนาแอปพลิเคชัน อุตสาหกรรมท่องเที่ยวจังหวัดสุรินทร์ คือ ช่วยประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยว ที่พัก ร้านอาหารกิจกรรมต่าง ๆ และข้อมูลในการนำทางแก่ผู้ใช้งานที่มาจากจังหวัดสุรินทร์ [6]

สหทัย สิทธิวิเศษ และคณะ (2562) ได้ทำวิจัยเรื่องการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันเพื่อการส่งเสริมการท่องเที่ยวด้วยตนเองตามเส้นทางท่องเที่ยวชุมชนตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาโมบายแอปพลิเคชัน เพื่อการท่องเที่ยวด้วยตนเองตามเส้นทางท่องเที่ยวชุมชนตำบลนางแล และเพื่อประเมินผลความพึงพอใจต่อการใช้งานโมบายแอปพลิเคชัน ผลการพัฒนาแอปพลิเคชัน พบว่าชุมชนได้คัดเลือกแหล่งท่องเที่ยวจำนวน 9 แห่ง และร้านอาหารเครื่องดื่ม จำนวน 7 แห่ง มีเนื้อหาที่นำเสนอเป็นข้อมูลในแอปพลิเคชัน ได้แก่ 1) ประวัติ/ข้อมูลแนะนำสถานที่ 2) เวลาทำการ 3) ที่ตั้ง 4) เบอร์โทรติดต่อ 5) Website 6) อัตราค่าบริการ 7) ข้อมูลแนะนำเพิ่มเติม 8) รูปภาพประกอบ 9) คำวนระยะทางระหว่างตำแหน่งปัจจุบันกับสถานที่ท่องเที่ยว 10) คำวนระยะทางระหว่างสถานที่ท่องเที่ยว 11) จัดทำเป็น 5 ภาษา ได้แก่ ภาษาไทย ภาษาจีน ภาษาอังกฤษ ภาษาญี่ปุ่น และภาษาเกาหลี ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจ พบว่าอยู่ในระดับมาก และผลการประเมินโดยผู้ใช้โมบายแอปพลิเคชันมีความพึงพอใจ อยู่ในระดับ มาก จุดเด่นของการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันเพื่อการส่งเสริมการท่องเที่ยวด้วยตนเองตามเส้นทางท่องเที่ยวชุมชนตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย คือ การช่วยเหลือนักท่องเที่ยวในการค้นหาสถานที่ท่องเที่ยวและการวางแผนในการเดินทางสำหรับนักท่องเที่ยว ท่องเที่ยวด้วยตนเอง [7]

2. วิธีการศึกษา

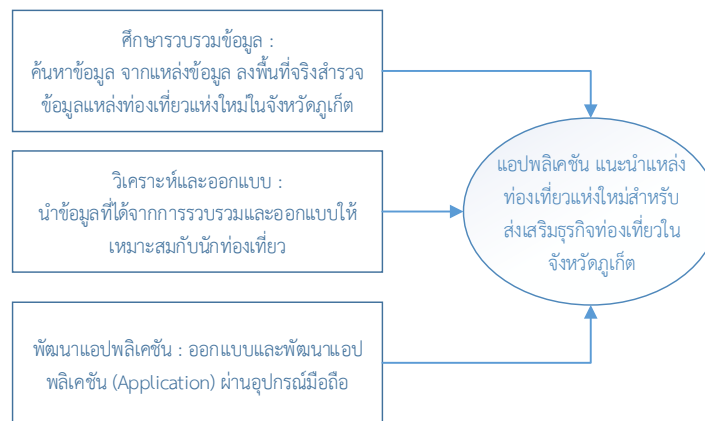


Figure 1 Conceptual Research Frameworks

การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต มีวิธีการศึกษาต่อไปนี้

2.1 ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และเครื่องมือที่ใช้สำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต

2.2 สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์และออกแบบระบบงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแอปพลิเคชัน

1) สืบค้นข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่ในจังหวัดภูเก็ต โดยการลงสำรวจพื้นที่จริงและค้นหาผ่านทางระบบออนไลน์

2) ออกแบบแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของผู้ใช้งานระบบ (Use Case Diagram) เพื่อแสดงการทำงานของผู้ใช้

ตั้ง Figure 2



Figure 2 Use-Case Diagram

3) ออกแบบโครงสร้างการใช้งานเพื่อให้ง่ายและเหมาะสมต่อการใช้งาน

2.3 ขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต โดยการดึงข้อมูลมาจากรฐานข้อมูลนำมาแสดงผลบนแอปพลิเคชันผ่านอุปกรณ์มือถือในระบบปฏิบัติการ iOS และ Android โดยใช้โปรแกรม Glide สำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชัน ซึ่งประกอบไปด้วยการแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่ในจังหวัดภูเก็ต ที่ประกอบไปด้วย แหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ แหล่งท่องเที่ยวคาเฟ่ ร้านอาหารพื้นเมือง และแหล่งจำหน่ายของที่ระลึก ซึ่งผู้เข้าชมสามารถเลือกดูรายละเอียดของแหล่งท่องเที่ยวต่าง ๆ ได้ พร้อมทั้งสามารถเลือกแผนที่ที่สามารถนำทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวที่เลือกไว้ได้

2.4 นำแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต ไปทำการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มนักท่องเที่ยวที่เข้ามาท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต จำนวน 43 คน เวลาที่ทำการเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างคือเดือนมกราคมไปจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2566 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพประเมินผลความพึงพอใจของแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต ซึ่งสามารถทำงานผ่านอุปกรณ์มือถือที่เป็นระบบปฏิบัติการ Android และ iOS สามารถใช้งาน แอปพลิเคชันตามตัวอย่าง Figure 3 และ Figure 4



Figure 3 The sample page to use the application

จากภาพ Figure 3 เป็นการแสดงหน้าการใช้งานแอปพลิเคชัน แนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต เริ่มการใช้งานโดย ทำการสแกน QR Code เพื่อติดตั้งแอปพลิเคชันเมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ก็ทำการ Login เข้าสู่ระบบโดยใช้อีเมล การใช้งานผู้ใช้สามารถเลือกรูปแบบการท่องเที่ยวที่ประกอบด้วย แหล่งท่องเที่ยว ทางธรรมชาติ คาเฟ่ อาหาร พื้นเมือง และ สถานที่จำหน่ายของที่ระลึก

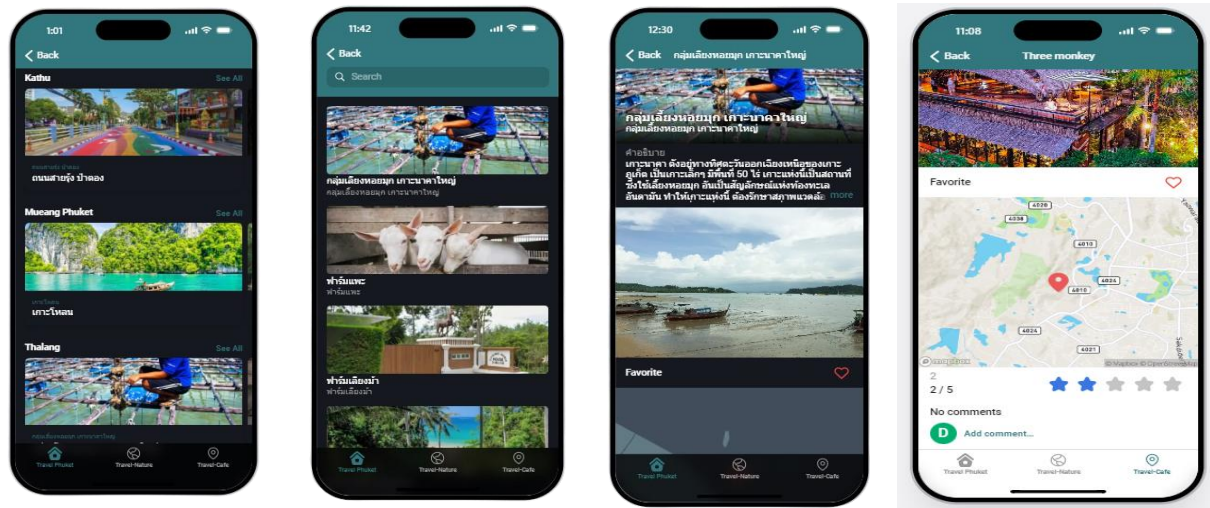


Figure 4 The sample page shows information about a tourist attraction

จาก Figure 4 ตัวอย่างเมื่อเลือกรูปแบบแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ จะปรากฏเมนูหมวดหมู่ให้เลือกอำเภอของจังหวัดภูเก็ต ซึ่งจะแสดงแหล่งที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติของอำเภอที่เลือก จากนั้นสามารถเลือกแหล่งท่องเที่ยวที่ต้องการก็จะบอกรายละเอียดของแหล่งท่องเที่ยวนั้นรวมทั้งมีปุ่มแผนที่ เพื่อนำทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวที่ต้องการ

3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพประเมินความพึงพอใจ การใช้งานแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต โดยผู้วิจัยใช้เกณฑ์การประเมินเป็นแบบมาตราประมาณค่า (Rating Scale) มีระดับตามวิธีของ ลิเคิร์ท [8] โดยใช้เกณฑ์การประเมินเป็นคะแนน ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย	แปลความหมาย
4.51 - 5.00	ระดับดีมาก
3.51 - 4.50	ระดับดี
2.51 - 3.50	ระดับปานกลาง
1.51 - 2.50	ระดับน้อย
1.00 - 1.50	ระดับน้อยที่สุด

ผู้วิจัยได้นำแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต สอบถามกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักท่องเที่ยวจำนวน 43 คน ซึ่งเป็นการทดลองใช้งานแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต โดยมีผลการทดลองดัง Table 1

Table 1 General information of satisfaction survey respondents

(N=43)

	Topic	Number of People	Percentage
Sex	Male	17	39.53
	Female	26	60.47
Age	under 20 years old	5	11.63
	21-30 years old	33	76.74
	31-40 years old	5	11.63
	more than 40 years	0	0.00

Table 2 Satisfaction Assessment Results

(N=43)

Topics	\bar{x}	S.D.	Level of satisfaction
Design issues			
1) The size of the font is appropriate on the display.	4.65	0.53	very good
2) Appropriateness in the use of descriptive words to convey meaning	4.49	0.59	good
3) Categorize topics used in the application are appropriate.	4.30	0.77	good
4) Organize content into steps, continuous and easy to understand.	4.30	0.60	good
5) The layout of the application components is appropriate for use.	4.40	0.58	good
6) Language used is accurate and easy to understand.	4.49	0.59	good
7) Easy-to-understand display format	4.42	0.66	good
8) The use of colors is suitable and beautiful.	4.49	0.70	good
9) The application is designed to be beautiful, modern.	4.53	0.67	very good
10) Interestingness of the application	4.56	0.59	very good
Summary of satisfaction, overview, design	4.46	0.64	good
Usage issues			
1) The menu for using the application is suitable. and continued to use	4.56	0.50	very good
2) Users can access the application easily.	4.53	0.55	very good
3) The processing speed of the application	4.23	0.68	good
4) Explains how to use it completely.	4.51	0.55	very good
5) The result processing is accurate.	4.42	0.54	good
6) Available for both iOS and Android operating systems.	4.70	0.51	very good
7) There is useful information for tourism.	4.74	0.44	very good
Summary of satisfaction, overview of usage issues.	4.53	0.56	very good
Summary of overall satisfaction	4.49	0.61	good

จาก Table 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่ สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต อยู่ในระดับมาก มีระดับค่าเฉลี่ยโดยภาพรวมที่ 4.49 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.61 แบ่งออกได้เป็น 2 ประเด็นได้แก่ 1) ประเด็นการออกแบบ มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยในภาพรวมที่ 4.46 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.64 และ 2) ประเด็นการใช้งานมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยในภาพรวมที่ 4.53 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.56

4. สรุป

งานวิจัยในครั้งนี้ เป็นการพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต 2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่สำหรับส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต แอปพลิเคชันที่พัฒนานักท่องเที่ยวสามารถเข้าใช้ระบบได้โดยการสแกน QR-CODE โดยมีหมวดหมู่ให้เลือกแหล่งท่องเที่ยว 4 รูปแบบได้แก่ แหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ คาเฟ่ อาหารพื้นเมือง ที่ขายของที่ระลึก ที่มีการแยกออกเป็นอำเภอ พร้อมทั้งมีแผนที่ในการนำทางให้นักท่องเที่ยวเดินทางไปยังจุดหมายได้ถูกต้อง ข้อดีของแอปพลิเคชันที่ได้พัฒนาขึ้น คือเป็นหนึ่งช่องทางที่ช่วย ประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่ให้กับธุรกิจการท่องเที่ยวของจังหวัดภูเก็ต ทำให้ชุมชนเป็นที่รู้จักและมีรายได้เพิ่มมากขึ้น ข้อเสนอแนะควรเพิ่มข้อมูลรูปแบบหรือแหล่งท่องเที่ยวให้ครอบคลุมกับการท่องเที่ยวของจังหวัด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] รัฐบาลไทย. 2565. เปิด 10 จังหวัดทำรายได้จากการท่องเที่ยวสูงที่สุด. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.thaigov.go.th/infographic/contents/details/6491> (เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 มีนาคม 2566).
- [2] คณะกรรมการนโยบายการท่องเที่ยวแห่งชาติ.แผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติ (พ.ศ.2564-2565) สำนักงานปลัดกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา.
- [3] วาริษฐ์ มัธยมบุรุษ.2562. โครงสร้างของระบบการท่องเที่ยว.วารสารการบริการและการท่องเที่ยวไทย.ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน 2562) 94-102.
- [4] ทีมงาน AdmissionPremium.ทฤษฎีเกี่ยวกับโมบายแอปพลิเคชัน. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.admissionpremium.com/it/news/1852> (เข้าถึงเมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2566).
- [5] ชาญชัย อรรถชาติและณิกานต์ เฟื่องชูช.2562.การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวในกลุ่มจังหวัดนครชัยบุรีรินทร์ โดยใช้เทคโนโลยีภาพเสมือนจริง. ใน.การประชุมมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10. 12-13 กรกฎาคม 2562. มหาวิทยาลัยมหาดใหญ่ อำเภอมหาดใหญ่ สงขลา.หน้า 581-595.
- [6] ณ ฤทธิ์ จิงสมาน และคณะ.2563.การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับอุตสาหกรรมท่องเที่ยวจังหวัดสุรินทร์.วารสารมหาจุฬานาครพรรณ์.ปีที่ 7 ฉบับที่ 7. 411- 424.
- [7] สหทัยา สิทธิวิเศษและคณะ.2562.การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันเพื่อการส่งเสริมการท่องเที่ยวด้วยตนเองตามเส้นทางท่องเที่ยวชุมชนตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย.วารสารมังรายสาร. ปีที่ 7. ฉบับที่ 1. 117-128.
- [8] บุญชม ศรีสะอาด.2560. การวิจัยเบื้องต้น.พิมพ์ครั้งที่ 10 .สุวีริยาสาส์น. กรุงเทพมหานคร.

ระบบสืบค้นที่พักนักศึกษา คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Dormitory search system, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.

ชนิดา แก้วเพชร¹ วุฒิพงษ์ เชื้อนดิน¹ ไกรสร สว่างศรี¹ ภัทรพล อ่วมสอาด² และ ศุภโชค กันแคล้ว²

Chanida Kaewphet^{1*}, Wuttiphong Khuandin¹ Krisorn Sawangsri¹ Patharapon Uamsa-ard², and Supachok Kanklaew²

¹สาขาวิชาระบบสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

²สาขาวิชาระบบสารสนเทศ คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Information System and Business Computer , Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.

² Department of Information System, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.

*Corresponding author: Chanida Kaewphet, e-mail address: chanida.k@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ออกแบบ และพัฒนาระบบสืบค้นที่พักนักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ด้วยภาษา PHP ร่วมกับเฟรมเวิร์ก Bootstrap และใช้ MySQL เป็นระบบฐานข้อมูล เพื่อเป็นระบบที่ทำงานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ในรูปแบบออนไลน์ให้บริการแก่นักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิทั้ง 4 ศูนย์พื้นที่ ได้แก่ ศูนย์สุพรรณบุรี ศูนย์นนทบุรี ศูนย์อู่ทอง และศูนย์หันตรา เพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับการค้นหาที่พักบริเวณใกล้เคียงกับศูนย์พื้นที่การศึกษาพร้อมแสดงเส้นทางการเดินทางผ่านระบบ GPS บนหน้าเว็บไซต์ สถิติที่ใช้ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ผลการวิจัยพบว่า การประเมินประสิทธิภาพของระบบสืบค้นที่พักนักศึกษา คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จากผู้เชี่ยวชาญ แบ่งการประเมินออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่ Function Requirement Test, Function Test, Usability Test และ Security Test พบว่าประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย (\bar{x}) เท่ากับ 4.56 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.39 และผลการประเมินความพึงพอใจจากนักศึกษาจำนวน 120 คน และเจ้าหน้าที่ฝ่ายพัฒนานักศึกษา จำนวน 5 ท่าน พบว่ามีค่าเฉลี่ย (\bar{x}) เท่ากับ 4.71 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.46 อยู่ในระดับดีมาก

คำสำคัญ: สืบค้น, หอพัก, เว็บไซต์, ระบบสืบค้น

Abstract

This paper aims to study, design and develop a dormitory search system for the Faculty of Business Administration and Information Technology Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. This system was developed with PHP language and bootstrap framework and used MySQL database, system worked on a web browser for providing services to students, and has 4 campuses. The system can facilitate the search for accommodation in the vicinity of the study area, along with showing the travel route via GPS on the website and help reduce the cost burden of students because they will receive discounts from the dormitories that participate in registering with the website. The statistics used were mean (\bar{x}) and standard deviation (S.D.).

The results showed that the evaluation of the efficiency of the system from the experts found that the overall performance was very good with an average (\bar{x}) of 4.56 and a standard deviation (S.D.) of 0.39 and satisfaction assessment results from 120 students and student development officers, 5 persons found that the mean (\bar{x}) was 4.71 and the standard deviation (S.D.) was 0.46, at a very good level.

Keywords: search, dormitory, website, search system

1. บทนำ

ปัจจุบันเว็บไซต์เป็นสิ่งที่เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะกลุ่มบุคคล เจนแซด (Generation Z) เป็นกลุ่มประชากรที่เกิดระหว่างปี พ.ศ.2540 ขึ้นไป เป็นวัยที่เติบโตท่ามกลางเทคโนโลยีที่ทันสมัย สะดวก สบาย รวดเร็ว ทันกระแส ประชากรกลุ่มนี้มักให้ความสำคัญกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเทคโนโลยี เป็นกลุ่มคนที่โตมาพร้อมกับ คอมพิวเตอร์ อินเทอร์เน็ตและเทคโนโลยีไอที ทำให้วิถีชีวิตต้องการความทันสมัยและทันต่อเหตุการณ์อยู่เสมอ เว็บไซต์จึงเป็นแหล่งสารสนเทศที่สำคัญสำหรับทุกคน เพราะสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นการติดต่อสื่อสาร การประชาสัมพันธ์ข่าว การโฆษณาสื่อต่าง ๆ ผ่านทางเว็บไซต์ หรือแม้กระทั่งสื่อสังคมออนไลน์ Social Network เช่น Facebook หรือ Google+ หรือ Twitter ที่สามารถตอบโต้การติดต่อสื่อสารได้เป็นอย่างดี ซึ่งเว็บไซต์ก้าวหน้าและพัฒนาตัวเองให้ตอบโต้กับพฤติกรรมการใช้ชีวิต แนวคิด และความต้องการของบุคคลในกลุ่มนี้ ไม่ว่าจะเป็นหน่วยงาน หรือธุรกิจต่าง ๆ ในปัจจุบันก็ต่างออกแบบและพัฒนา เว็บไซต์ให้สอดคล้องกับความต้องการดังกล่าว เพื่อเป็นกลยุทธ์ในการดึงดูดความสนใจ [1] รวมไปถึงใช้เทคนิคต่าง ๆ ในการนำเสนอข้อมูลให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้อินเทอร์เน็ตของกลุ่มเจนแซดที่มีความคล่องแคล่ว การเลือกใช้คอนเทนต์วิดีโอ หรือรูปภาพ ความเคลื่อนไหวในรูปแบบ Carousel ที่มีหลาย ๆ รูป จะดึงดูดความสนใจจากกลุ่มเจนแซดได้ดีกว่าข้อความยาว ๆ [2] และกลุ่มบุคคลเจนแซดนั้นเป็นกลุ่มบุคคลที่มีอายุไม่เกิน 25 ปี เป็นกลุ่มบุคคลที่ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของการศึกษาในมหาวิทยาลัย

คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มีการจัดการเรียนการสอนเป็น ศูนย์พื้นที่ แบ่งเป็น 4 ศูนย์พื้นที่ คือ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา วาสุกรี (สำนักงานคณบดี) ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา ศูนย์นนทบุรี และศูนย์สุพรรณบุรี สำหรับปีการศึกษา 2/2565 มีนักศึกษาจำนวนทั้งสิ้น 3,519 คน [3] และจากสถิติการสมัครเรียน ปีการศึกษา 2566 มีผู้สมัครเรียนทั้งสิ้นจำนวน 3,139 คน [4] เมื่อแยกตามภูมิลำเนาของนักศึกษาหรือผู้สมัครเรียนแล้วพบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่จากแต่ละศูนย์พื้นที่มาจากอำเภอหรือจังหวัดใกล้เคียงเป็นจำนวนมาก เช่น ศูนย์พื้นที่สุพรรณบุรี อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี มีนักศึกษาจากจังหวัดชัยนาท จังหวัดลพบุรี จังหวัดสิงห์บุรี จังหวัดอุทัยธานี จังหวัดอ่างทอง และจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งนักศึกษาเหล่านี้ไม่สะดวกเดินทางไปกลับระหว่างบ้านและมหาวิทยาลัยได้ทุกวัน จึงจำเป็นต้องพักใกล้กับมหาวิทยาลัย คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ ได้เล็งเห็นถึงแนวโน้มของจำนวนนักศึกษาที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาจากจังหวัดใกล้เคียงศูนย์พื้นที่การศึกษา จึงเกิดนโยบายเพื่ออำนวยความสะดวกในการเลือกที่พักให้กับนักศึกษา อีกทั้งยังเป็นอีกช่องทางหนึ่งให้กับนักศึกษาได้ลดภาระค่าใช้จ่ายในการศึกษากับทางคณะ ด้วยการทำข้อตกลงกับทางผู้ให้บริการหอพักต่าง ๆ ในแต่ละศูนย์พื้นที่ที่มีบริการส่วนลดค่าห้องพักให้กับนักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยประชาสัมพันธ์ผ่านทางแฟนเพจเฟซบุ๊กของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ และป้ายประกาศ ณ ที่ตั้งศูนย์พื้นที่ แต่ยังคงประสบปัญหาการกระจายข่าวสารที่ทั่วถึง และการเดินทางไปยังหอพักต่าง ๆ ที่เข้าร่วมโครงการ ทำให้ที่ผ่านมานักศึกษาได้รับประโยชน์ไม่เต็มที่

จากปัญหาที่กล่าวมาคณะผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดศึกษา ออกแบบ และพัฒนาระบบสืบค้นที่พักนักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ด้วยภาษา PHP ร่วมกับเฟรมเวิร์ก Bootstrap และใช้ MySQL เป็นระบบฐานข้อมูล สร้างระบบที่ทำงานได้บนทุกอุปกรณ์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ในรูปแบบออนไลน์ เพื่อให้บริการแก่นักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ทั้ง 4 ศูนย์พื้นที่ ได้แก่ ศูนย์สุพรรณบุรี ศูนย์นนทบุรี ศูนย์วาสุกรี และศูนย์หันตรา เพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับการค้นหาที่พักบริเวณใกล้เคียงกับศูนย์พื้นที่ การศึกษาพร้อมแสดงเส้นทางการเดินทางผ่านระบบ GPS บนหน้าเว็บไซต์ ของผู้ให้บริการหอพักที่ลงทะเบียนกับทางคณะเพื่อเป็นส่วนลดค่าที่พักให้นักศึกษา หลังจากพัฒนาระบบแล้วผู้วิจัยจะนำระบบไปประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญซึ่งแบ่งการประเมินออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่ Function Requirement Test, Function Test, Usability Test และ Security Test และประเมินความพึงพอใจของระบบกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพมากพอและนำไปใช้ได้จริง

2. วิธีการศึกษา

2.1 กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย ประกอบไปด้วย 1) ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ 3 ท่าน และ 2) นักศึกษาคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศจำนวน 120 ท่าน ซึ่งเป็นนักศึกษาชายจำนวน 72 ท่าน และ นักศึกษาหญิงจำนวน 48 ท่าน ด้วยวิธีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง

2.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การวิจัยประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังนี้

2.2.1 คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบสืบค้นที่พักนักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ด้วยวิธีการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องกับฝ่ายพัฒนานักศึกษาของคณะ พบว่าทางคณะมีนโยบายเพื่ออำนวยความสะดวกในการเลือกที่พักให้กับนักศึกษา อีกทั้งยังเป็นอีกช่องทางหนึ่งให้นักศึกษาได้ลดภาระค่าใช้จ่ายในการศึกษากับทางคณะ ด้วยการทำข้อตกลงกับทางผู้ให้บริการหอพักต่าง ๆ ในแต่ละศูนย์พื้นที่มีบริการส่วนลดค่าห้องพักให้กับนักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยประชาสัมพันธ์ผ่านทางแฟนเพจเฟสบุ๊กของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ และป้ายประกาศ ณ ที่ตั้งศูนย์พื้นที่ แต่ยังคงประสบปัญหาการกระจายข่าวสารที่ทั่วถึง และการเดินทางไปยังหอพักต่าง ๆ ที่เข้าร่วมโครงการ ทำให้ที่ผ่านมานักศึกษาได้รับประโยชน์ไม่เต็มที่ อีกทั้งนักศึกษาส่วนใหญ่มีอายุตั้งแต่ 18-25 ปี เป็นกลุ่มคนที่อยู่ในกลุ่มเจนแซด ที่มีความคล่องแคล่วในการใช้งานอินเทอร์เน็ตและสมาร์ทโฟน ทำให้วิถีชีวิตต้องการความทันสมัยและทันต่อเหตุการณ์อยู่เสมอ ดังนั้นระบบที่พัฒนาควรใช้งานผ่านเครือข่ายออนไลน์และควรเป็นเว็บไซต์ที่สามารถใช้งานได้บนทุกอุปกรณ์ และควรออกแบบหน้าเว็บไซต์ในรูปแบบ Carousel ที่มีหลาย ๆ รูปมากกว่าข้อความยาว ๆ

2.2.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในขั้นที่ 1 โดยวิเคราะห์และสรุปความต้องการของผู้ใช้งานระบบทั้งหมด จากนั้นจัดทำเป็นรายงานความต้องการของระบบจากผู้ใช้มารับทราบความถูกต้อง และแก้ไขปรับปรุงให้สอดคล้องถูกต้องตรงกัน

2.2.3 จากนั้นจัดทำ Use Case Diagram ซึ่งเป็นไดอะแกรมที่ช่วยให้ทราบถึงความสามารถของระบบว่า ระบบสามารถทำอะไรได้บ้าง และผู้ใช้งานในแต่ละส่วนใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับระบบ และออกแบบฐานข้อมูลที่ใช้ด้วยพจนานุกรมข้อมูล (Data Dictionary) และมีความสัมพันธ์กัน

2.2.4 พัฒนาเว็บไซต์ระบบสืบค้นที่พักนักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ โดยเริ่มจากการพัฒนาเชิงกายภาพได้แก่การจำลองเซิร์ฟเวอร์ด้วยโปรแกรม Xampp สำหรับทดสอบการเรียกใช้งานเว็บไซต์ จากนั้นสร้างฐานข้อมูลตามการออกแบบในขั้นตอนที่ 3 โดยเลือกใช้โปรแกรม phpMyAdmin ในการจัดการฐานข้อมูล MySQL และพัฒนาเว็บไซต์ด้วยภาษา HTML, JavaScript, PHP และใช้เฟรมเวิร์ก Bootstrap เพื่อออกแบบหน้าเว็บไซต์ให้สามารถใช้งานได้บนทุกอุปกรณ์ และเน้นรูปแบบ Carousel โดยการทำงานของระบบจะเริ่มจากผู้ใช้เปิดเบราว์เซอร์จากอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น คอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน หรือแท็บเล็ต เป็นต้น จากนั้นระบุคีย์เวิร์ดที่ต้องการค้นหา เช่น ศูนย์พื้นที่ประเภทของหอพัก อัตราค่าเช่า เป็นต้น เมื่อผู้ใช้ใส่ข้อมูลที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว ระบบจะทำการค้นหาหอพักที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ต้องการมากที่สุดจากฐานข้อมูล จากนั้นจะแสดงรายละเอียดต่าง ๆ ของหอพักให้ผู้ใช้ทราบ ได้แก่ ชื่อ ที่ตั้ง อัตราค่าเช่า รายละเอียดภายในหอพักและห้องพัก ระยะทางที่ห่างจากมหาวิทยาลัยในศูนย์พื้นที่ ค่าธรรมเนียมเวลาเดินทาง และแสดงแผนที่ที่ตั้งหอพักในรูปแบบ GPS ด้วย API ของ Longdo Map เพื่อให้สะดวกต่อการเดินทางไปยังหอพัก และส่วนลดค่าบริการที่ได้รับ ดัง Figure 1

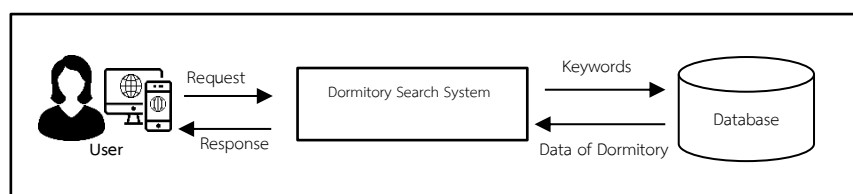


Figure 1 Overview of Dormitory Search System.

2.2.5 การทดสอบเบื้องต้นและการปรับปรุงระบบ เมื่อผู้วิจัยพัฒนาเว็บไซต์ระบบสืบค้นที่พักนักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิตามความต้องการและข้อกำหนดต่าง ๆ ครบทั้งหมดแล้ว จึงทำการทดสอบระบบก่อนนำไปติดตั้งบนเซิร์ฟเวอร์ของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อใช้งานจริงด้วยตนเอง เพื่อตรวจสอบหาข้อผิดพลาดและปรับปรุงแก้ไข พร้อมทั้งจัดทำคู่มือการใช้งาน จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของระบบและให้ข้อเสนอแนะ นำข้อเสนอแนะต่าง ๆ มาปรับปรุงระบบอีกครั้งให้สมบูรณ์สอดคล้อง และถูกต้องตามคำแนะนำ

2.2.6 เก็บรวบรวมข้อมูล สรุป วิเคราะห์ ผู้วิจัยนำระบบที่ผ่านการปรับปรุงให้ผู้ใช้งานเพื่อประเมินความพึงพอใจของการใช้งาน และสรุปผลต่าง ๆ

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษา

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาเว็บไซต์ระบบสืบค้นที่พักนักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ 1) เจ้าหน้าที่ฝ่ายพัฒนานักศึกษา ในส่วนนี้สามารถเพิ่มข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับหอพักที่เข้าร่วมโครงการกับทางคณะ เพื่อเป็นฐานข้อมูลให้กับนักศึกษาเพื่อการสืบค้น และ 2) นักศึกษาและผู้ใช้ทั่วไปสามารถสืบค้นข้อมูลหอพักของนักศึกษาที่ใกล้เคียงกับศูนย์พื้นที่การศึกษาผ่านคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ต่าง ๆ เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต ดัง Figure 3 จากนั้นระบบจะแสดงรายละเอียดต่าง ๆ ของหอพักให้ผู้ใช้งาน ได้แก่ ชื่อ ที่ตั้ง อัตราค่าเช่า รายละเอียดภายในหอพักและห้องพัก ส่วนลดค่าบริการที่ได้รับ ระบบนำข้อมูลที่รับมาประมวลผล และคำนวณระยะเวลาทางจากนั้นนำข้อมูลที่ประมวลผลมาแสดงระยะเวลาที่ห่างจากมหาวิทยาลัยในศูนย์พื้นที่และระยะเวลาเดินทาง เพื่อแสดงแผนที่ที่ตั้งหอพักในรูปแบบ GPS ด้วย API ของ Longdo Map เพื่อให้สะดวกต่อการเดินทางไปยังหอพัก ดัง Figure 4



Figure 2 Flowchart of Dormitory Search System.

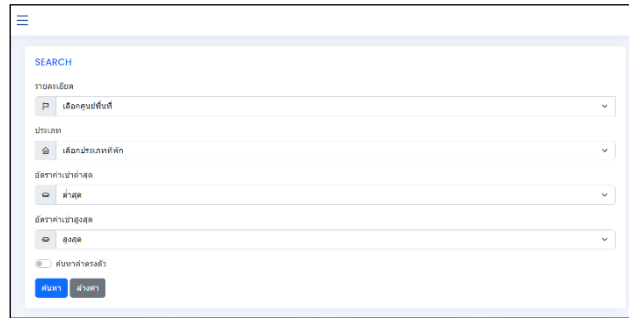


Figure 3 Search Page of Dormitory Search System.

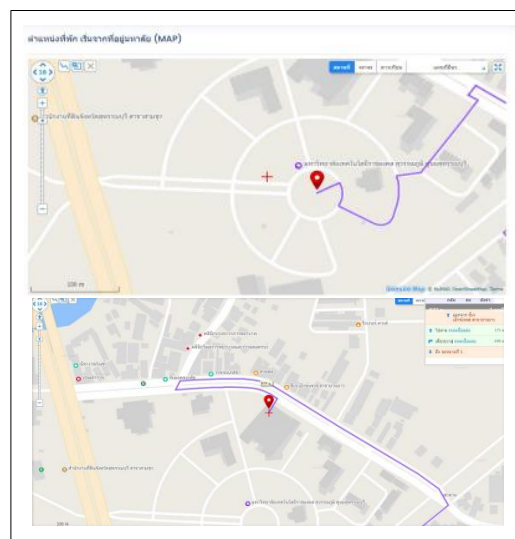


Figure 4 GPS Map of Dormitory Search System.

3.2 การวิจารณ์

3.2.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของเว็บไซต์ระบบสืบค้นที่พักนักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ผู้วิจัยดำเนินการทดลองใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นกับผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาระบบและเว็บไซต์ จำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ สามารถแสดงผลการประเมินค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ดังปรากฏใน Table 1

Table 1 Efficiency evaluation from experts of the Dormitory search system.

Topic	\bar{x}	S.D.
1. Function Requirement Test	4.50	0.40
2. Function Test	4.56	0.33
3. Security Test	4.63	0.44
Total	4.56	0.39

จาก Table 1 พบว่าเว็บไซต์ระบบสืบค้นที่พักนักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มีผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยรวมจากผู้เชี่ยวชาญโดยรวมอยู่ในระดับมาก (\bar{x} = 4.56, S.D.=0.39) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ อยู่ในระดับมาก (\bar{x} = 4.50, S.D.=0.40)

ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.56$, S.D.=0.33) และด้านความปลอดภัย อยู่ในระดับดีมากที่สุด ($\bar{X} = 4.63$, S.D.=0.44)

3.2.2.1 ผลการประเมินความพึงพอใจของเว็บไซต์ระบบสืบค้นที่พักนักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ผู้วิจัยดำเนินการทดลองใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นกับนักศึกษาทั้ง 4 ศูนย์พื้นที่การศึกษา จำนวน 120 ท่าน และเจ้าหน้าที่ฝ่ายพัฒนานักศึกษา จำนวน 5 ท่าน จาก 4 ศูนย์พื้นที่การศึกษาเพื่อประเมินความพึงพอใจของการใช้งาน สามารถแสดงผลการประเมินค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ดังปรากฏใน Table 2

Table 2 Satisfaction evaluation result of the Dormitory search system.

Topic	\bar{X}	S.D.
1. Usability Test from users.	4.59	0.50
2. Usability Test from experts.	4.66	0.23
Total	4.63	0.37

จาก Table 2 พบว่าเว็บไซต์ระบบสืบค้นที่พักนักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พบว่าโดยรวมกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจรวมในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.63$, S.D.=0.37) โดยนักศึกษามีความพึงพอใจในการใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.59$, S.D.=0.50) และผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจในการใช้งานระบบ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.66$, S.D.=0.23)

4. สรุป

เว็บไซต์ระบบสืบค้นที่พักนักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเว็บไซต์ที่ออกแบบมาสามารถตอบสนองความต้องการของนักศึกษาในกลุ่มที่ต้องการหาที่พักได้อย่างรวดเร็ว และใช้งานได้ง่าย เนื่องจากผู้วิจัยใช้หลักการออกแบบเว็บไซต์โดยการยึดหลักในการเข้าใจ เข้าถึงพฤติกรรมและวิธีการเข้าถึงผู้บริโภคจนขาดที่มีพฤติกรรมชอบสื่อที่ใช้ทำงานง่ายและโต้ตอบได้อย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับหนังสือของดนุลดา จามจุรี ในหนังสือเรื่อง “การออกแบบการเรียนรู้สำหรับผู้เรียน Gen Z” [5] อีกทั้งระบบได้ช่วยแบ่งเบาภาระหน้าที่และช่วยอำนวยความสะดวกให้กับเจ้าหน้าที่ฝ่ายพัฒนานักศึกษาในการทำงานตามนโยบายของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศในส่วนของงานจัดหาส่วนลดและประชาสัมพันธ์ให้แก่นักศึกษา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เว็บไซต์ระบบสืบค้นที่พักนักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในระดับดีมาก และผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับระบบมีความพึงพอใจในระดับมาก

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหาร และเจ้าหน้าที่ฝ่ายพัฒนานักศึกษาทุกคนของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยี ที่ให้ความช่วยเหลือในการอธิบายขั้นตอนและข้อมูลต่าง ๆ ของการปฏิบัติงาน ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ อีกทั้งยังเสียสละเวลาอันมีค่าในการอธิบายให้บุคลากรและนักศึกษาที่เกี่ยวข้องกับระบบตอบแบบสอบถามในครั้งนี้ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้ผลการศึกษาในครั้งนี้ประสบความสำเร็จลงได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาและออกแบบเว็บไซต์ทุกท่านที่เสียสละเวลาอันมีค่าช่วยทดสอบ และประเมินประสิทธิภาพของระบบ เพื่อให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพสำหรับการใช้งานในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วชิรา ทองสุข. 2565. เข้าใจ Gen Z อย่างอินไซต์ กำลังซื้อกลุ่มใหม่ เขย่าโลกออนไลน์ด้วยปลายนิ้ว!. Talka Talka Digital Media Co.,Ltd. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://talkatalka.com/blog/insight-gen-z/> (เข้าถึงเมื่อ 17 มิถุนายน 2565).
- [2] เอมิการ์ ศรีธาดู และประทุม ฤกษ์กลาง. 2560. พฤติกรรมการใช้และการรับรู้อิทธิพลของสื่อดิจิทัลจ่อเจเนเรชั่นวายและเจเนอเรชั่นแซด ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. วารสารวิทยาลัยนครราชสีมา. 3. 20-31
- [3] สำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน. 2565. จำนวนนักศึกษาคงอยู่'จำแนกตามระดับการศึกษา ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2565. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://drive.google.com/file/d/1Ob70o7xD7PYNIN3WM-8jY3QM7LD2RHEX/view> (เข้าถึงเมื่อ 12 มกราคม 2565).
- [4] สำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน. 2565. สถิติผู้สมัครเรียนแยกตามคณะ ปีการศึกษา 2566. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://admis.rmutsb.ac.th/report/main> (เข้าถึงเมื่อ 12 มกราคม 2565).
- [5] ดนุลดา จามจรี. 2563. การออกแบบการเรียนรู้สำหรับผู้เรียน Gen Z. พิมพ์ครั้งที่ 1. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร.

การพัฒนาาระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS)
คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
The Development Of Online Part-Time Job Search System (Part-Time Job RUS), Faculty
Of Business Administration, Rajamangala University Of Technology Suvarnabhumi.

สิทธีวรรต ครอบรู¹ สุกัญญา เจริญกิจธนาलग ศุภกิจ พัวประเสริฐ ศุภโชค กันแคล้ว และ ภัทรพล อ่วมสอาด²
Sittiwat Robroo^{1*}, Sukunya Charoenkitthanalap, Supakij Pruaprasert, Supachok Kanklaew and Patharapon Uamsa-ard²

¹สาขาวิชาระบบสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
²สาขาวิชาระบบสารสนเทศ คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Information System and Business Computer , Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.

² Department of Information System, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.

*Corresponding author: Sittiwat Robroo, e-mail address: Sittiwat.r@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาและออกแบบระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ 2) พัฒนาระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ 3) ประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิควิธีการ 4) ประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ ใช้ ภาษา PHP ร่วมกับเฟรมเวิร์ก Bootstrap และใช้ MySQL เป็นระบบฐานข้อมูล โดยกลุ่มผู้ใช้งานและกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิทั้ง 4 ศูนย์พื้นที่ ได้แก่ ศูนย์สุพรรณบุรี ศูนย์นนทบุรี ศูนย์วาสุกรี และศูนย์หันตรา รวม 130 คน เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ 1) ระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ 2) แบบประเมินประสิทธิภาพระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ และ 3) แบบสอบถามความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น สถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า การประเมินประสิทธิภาพระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS) ที่พัฒนาขึ้นจากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิควิธีการ แบ่งการประเมินออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบระบบ, ด้านความสามารถของระบบ และด้านผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ พบว่าประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย (\bar{x}) เท่ากับ 4.75 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.44 และผลการประเมินความพึงพอใจจากนักศึกษาคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จำนวน 130 คน พบว่ามีค่าเฉลี่ย (\bar{x}) เท่ากับ 4.84 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.36 อยู่ในระดับดีมาก

คำสำคัญ: พาร์ทไทม์, ระบบ, สืบค้น, ออนไลน์

Abstract

The objectives of this research were to 1) study and design an online part-time job search system; 2) develop an online part-time job search system; The tools used in system development use the PHP language with the Bootstrap framework and use MySQL as the database system. The group of users and samples were students from the Faculty of Business Administration and Information Technology. Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi in 4 centers, namely Suphanburi Center, Nonthaburi Center, Wasukri Center and Hantra Center, totaling 130 people. Tools used were 1) online part-time job searching system, 2) online part-time job search system efficiency evaluation form, and 3) satisfaction questionnaire. To use the developed system, statistics used were mean, percentage, standard deviation.

The results showed that Evaluation of the efficiency of the developed online part-time job search system (Part-Time Job RUS). from the experts The evaluation is divided into 3 aspects: system design, system capability and results obtained from the system It was found that the overall performance was at a very good level with a mean (\bar{x}) of 4.75 and a standard deviation (S.D.). equal to 0.44 and the satisfaction assessment results from students from the Faculty of Business Administration and Information Technology Rajamangala

University of Technology Suvarnabhumi, 130 people found that the mean (\bar{x}) was 4.84 and the standard deviation (S.D.) was 0.36, at a very good level.

Keywords: Part-time, system, search, online

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นสิ่งสำคัญสำหรับองค์กรที่เข้ามาช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินงาน ทำให้การเข้าถึงข้อมูลมีความรวดเร็ว การติดต่อสื่อสารมีประสิทธิภาพ และช่วยประหยัดต้นทุนในการดำเนินงานด้านต่าง ๆ ของหน่วยงานที่เชื่อมต่อในระบบอินเทอร์เน็ต เช่น การรับส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ การมีเว็บไซต์สำหรับเป็นช่องทางในการประชาสัมพันธ์ข่าวสารต่าง ๆ เป็นต้น ในปัจจุบันเว็บไซต์เข้ามามีบทบาทและมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะกลุ่มคน Gen Z (Generation Z) หรือ “เด็กรุ่นใหม่” ที่เกิดตั้งแต่ปี พ.ศ.2540 ขึ้นไป เป็นกลุ่มคนที่โตมาพร้อมกับคอมพิวเตอร์ อินเทอร์เน็ตและเทคโนโลยีไอที ทำให้วิถีชีวิตต้องการความทันสมัยและทันต่อเหตุการณ์อยู่เสมอ [1] เว็บไซต์จึงมีความสำคัญกับชีวิตประจำวันและเป็นผู้ช่วยในการดำเนินชีวิตไม่ว่าจะเป็นการค้นหาข้อมูลหรือการเข้าถึงข้อมูลที่ง่ายและรวดเร็ว การนำเสนอ Lifestyle หรือ กิจกรรมต่าง ๆ เช่น การนำเสนอข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งการเลือกซื้อสินค้ารวมถึงการประชาสัมพันธ์ข่าวสาร การโฆษณาสื่อต่าง ๆ ก็มีบทบาทที่สำคัญมากในยุคปัจจุบัน เรียกได้ว่าเป็นยุคที่สื่อออนไลน์เข้ามามีอิทธิพลต่อการโฆษณา หรือเรียกได้ว่าเข้ามามีส่วนร่วมสำคัญต่อชีวิตมนุษย์อย่างมาก [2]

ปัจจุบันได้เห็นว่านักศึกษาไทยให้ความสำคัญและสนใจในการทำงานพาร์ทไทม์ระหว่างเรียนเป็นจำนวนมาก ในช่วงวัยเรียนนั้นไม่ว่าจะเป็นระดับอนุบาล ประถม มัธยม ตลอดจนจนถึงระดับอุดมศึกษาเวลาที่มนุษย์ใช้หมดไปในแต่ละวันส่วนใหญ่นั้นก็คือการไปเรียนยังสถานศึกษา ซึ่งช่วงเวลาที่นอกเหนือจากการศึกษาในสถานศึกษานั้นก็นับได้ว่าเป็นมีความสำคัญ เพราะสามารถที่จะช่วยเพิ่มพูนศักยภาพหรือลดทอนประสิทธิภาพได้ [3] การทำงานพาร์ทไทม์ถือว่าการเรียนรู้นอกสถานศึกษา เป็นการฝึกประสบการณ์การทำงานก่อนศึกษาจบ เป็นการหาประสบการณ์ใหม่ ๆ ใ้กับชีวิต และยังเป็นการใช้เวลาว่างให้เกิดประโยชน์อีกด้วย เพราะนักศึกษาในปัจจุบันมีความรู้ความสามารถที่มากมายและกว้างขวาง มีความรู้ที่ทันสมัยเนื่องจากปัจจุบันมีแหล่งเรียนรู้และศึกษามากมาย ไม่ว่าจะเป็นทางอินเทอร์เน็ต หรือเทคโนโลยีสารสนเทศต่าง ๆ ที่ให้ความรู้มากมายและมีความสะดวกรวดเร็วทันใจ จากการสนับสนุนทางภาครัฐและครอบครัวทำให้นักศึกษาสามารถที่จะพัฒนาตนเองให้มีความรู้ความสามารถและนำมาใช้ทำงานพาร์ทไทม์เพื่อหาเงินเสริมรายได้ระหว่างเรียนได้อีกด้วย ซึ่งในส่วนของงานพาร์ทไทม์ที่นักศึกษาเลือกทำระหว่างเรียนนั้นก็มียหลายรูปแบบหลายประเภทแตกต่างกันออกไป ซึ่งการศึกษาในเรื่องนี้อาจทำให้เราเห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในสังคมอีกส่วนหนึ่งในอนาคตก็เป็นได้ [4]

การสัมภาษณ์และสอบถามนักศึกษาที่เข้าใหม่ของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ปีการศึกษา 2565 ทั้ง 4 ศูนย์พื้นที่ คือ ศูนย์พระนครศรีอยุธยาสุกรี (สำนักงานคณบดี) ศูนย์พระนครศรีอยุธยาหันตรา ศูนย์นนทบุรี และศูนย์สุพรรณบุรี [5] สรุปได้ว่าสภาวะทางเศรษฐกิจของประเทศไทยในขณะนี้ที่ทำให้รายได้ที่นักศึกษาได้รับจากผู้ปกครองหรือส่วนอื่น เช่น ทุนการศึกษาต่าง ๆ ที่มีไม่เพียงพอต่อค่าใช้จ่าย หรืออาจจะเป็นเหตุผลอื่นที่นักศึกษาต้องการเงินเพิ่มจากที่ได้รับปกติ เพื่อใช้จ่ายในกรณีพิเศษต่าง ๆ เช่น มีความต้องการสินค้าอุปโภคบริโภคแต่ไม่อยากจะบวกรบวงครอบครัวจึงเลือกที่จะทำงานพาร์ทไทม์เพื่อเก็บเงินซื้อเองหรืออาจจะเกิดจากกระแสบริโภคนิยมที่ทำให้เกิดค่านิยมที่ต้องใช้สินค้าที่ทันสมัยทันสมัย เพื่อให้ทันตามกระแสตามแฟชั่นที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วแต่ในทางกลับกันการทำงานพาร์ทไทม์ระหว่างเรียนนั้นเป็นการช่วยแบ่งเบาภาระครอบครัวได้อีกทั้งยังมีลักษณะที่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้มากยิ่งขึ้น

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS) คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ เพื่อการจัดการข้อมูลการเปิดรับสมัครนักศึกษาเข้าทำงาน (Part-Time) ระหว่างเรียน คณะบริหารธุรกิจฯ ได้ตระหนักถึงการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยในการทำงานมากขึ้น จึงมีความพยายามที่จะแสวงหาองค์ความรู้หรือการพัฒนาแบบต่าง ๆ เข้ามาแก้ไขปัญหาและพยายามพัฒนาองค์กรให้สามารถดำเนินงานได้สะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อรองรับความต้องการของนักศึกษาที่มีความประสงค์ทำงาน (Part-Time) ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบด้วยภาษา PHP ร่วมกับเฟรมเวิร์ก Bootstrap และใช้ MySQL เป็นระบบฐานข้อมูล สร้างระบบที่ทำงานได้บนทุกอุปกรณ์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ในรูปแบบออนไลน์ เพื่อให้บริการแก่นักศึกษาของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิทั้ง 4 ศูนย์พื้นที่ เพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับการค้นหางานพาร์ทไทม์

ที่เปิดรับสมัครนักศึกษาใกล้เคียงกับศูนย์พื้นที่การศึกษา หลังจากพัฒนาระบบแล้วผู้วิจัยนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปประเมินประสิทธิภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิควิธีการจำนวน 3 ท่าน และประเมินความพึงพอใจการใช้งานระบบ โดยกลุ่มตัวอย่างจำนวน 130 คน เพื่อให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพและนำไปใช้งานได้จริง

2. วิธีการศึกษา

2.1 กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย ประกอบไปด้วย 1) ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ 3 ท่าน และ 2) นักศึกษาคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศจำนวน 130 คน ช่วงอายุ 18 – 22 ปี ด้วยวิธีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง

2.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การวิจัยประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังนี้

2.2.1 ศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS) คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ เริ่มด้วยวิธีการสัมภาษณ์นักศึกษาเข้าใหม่ ของคณะฯ พบว่านักศึกษาใหม่ที่เข้ามามีความต้องการหางานทำระหว่างเรียน เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายให้กับผู้ปกครองแต่ในทางกลับกันนักศึกษาบางรายยังไม่รู้จักสถานที่ ห้างร้านที่มีความพร้อมและต้องการเปิดรับสมัครนักศึกษาเข้าทำงาน (Part-Time) และเมื่อทำการค้นหาข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตก็ยังไม่พบเว็บไซต์ที่ให้บริการนำเสนอข้อมูลเกี่ยวข้องกับงานพาร์ทไทม์ที่ใกล้กับมหาวิทยาลัยฯ จึงเกิดความยุ่งยากในการหางานทำระหว่างเรียนด้วยตนเอง

2.2.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในขั้นที่ 1 โดยวิเคราะห์และสรุปความต้องการของผู้ใช้งานระบบทั้งหมด จากนั้นจัดทำเป็นรายงานความต้องการของระบบจากผู้ใช้งานรับทราบความถูกต้อง และแก้ไขปรับปรุงให้สอดคล้องถูกต้องตรงกัน

2.2.3 จากนั้นจัดทำ Use Case Diagram ซึ่งเป็นไดอะแกรมที่ช่วยให้ทราบถึงความสามารถของระบบว่า ระบบสามารถทำอะไรได้บ้าง และผู้ใช้งานในแต่ละส่วนใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับระบบ และออกแบบฐานข้อมูลที่ใช้ด้วยพจนานุกรมข้อมูล (Data Dictionary) ดัง Figure 1

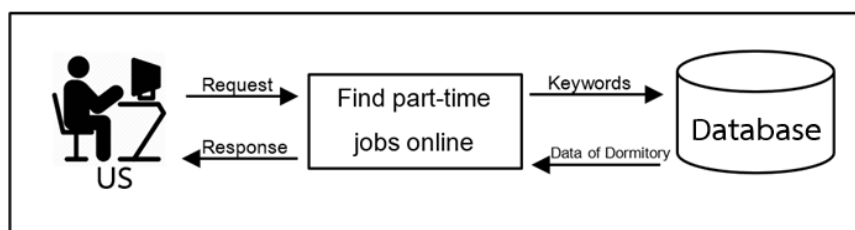


Figure 1 Overview of online part-time job search engine.

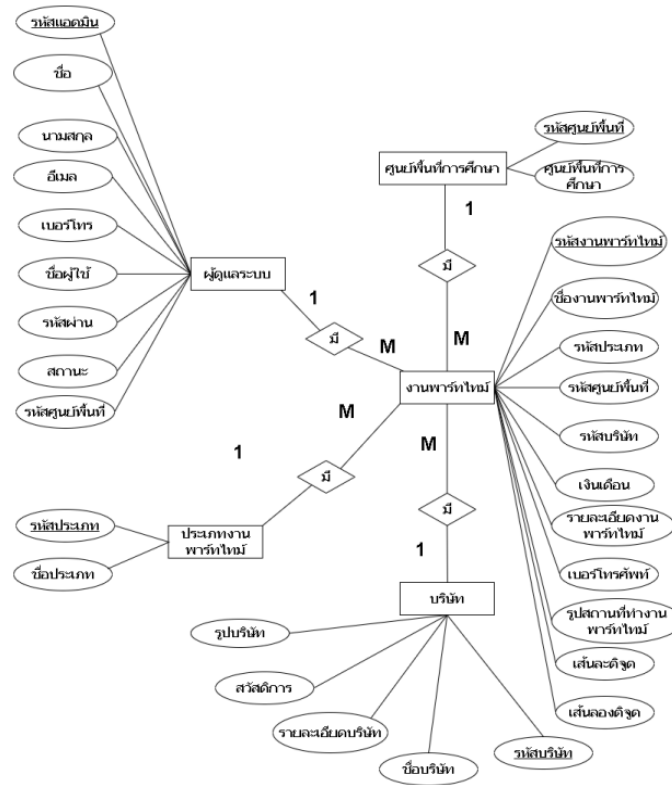


Figure 2 ER-Diagram of online part-time job search system.

2.2.4 พัฒนาระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS) คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ โดยเริ่มจากการพัฒนาเชิงกายภาพได้แก่การจำลองเซิร์ฟเวอร์ ด้วยโปรแกรม XAMPP สำหรับทดสอบการเรียกใช้งานเว็บไซต์ จากนั้นสร้างฐานข้อมูลตามการออกแบบในขั้นตอนที่ 3 โดยเลือกใช้โปรแกรม phpMyAdmin ในการจัดการฐานข้อมูล MySQL และพัฒนาเว็บไซต์ด้วยภาษา HTML, JavaScript, PHP และใช้เฟรมเวิร์ก Bootstrap ในการพัฒนาเว็บไซต์ค้นหางานพาร์ทไทม์ขึ้นมา เพื่อเพิ่มความสะดวกให้กับนักศึกษาที่ต้องการค้นหางานใกล้ ๆ กับมหาวิทยาลัยฯ หรือข้อมูลเกี่ยวกับงานพาร์ทไทม์ (Part-Time) เช่น ชื่อสถานที่ ที่ตั้ง เบอร์โทรศัพท์ ตำแหน่งงาน เป็นต้น ดัง Figure 3

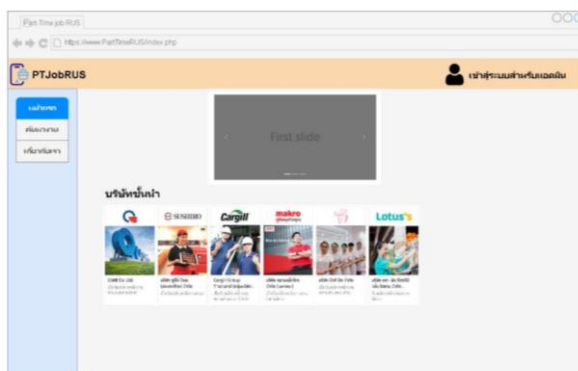


Figure 3 Displays the home page of the online part-time job search system.

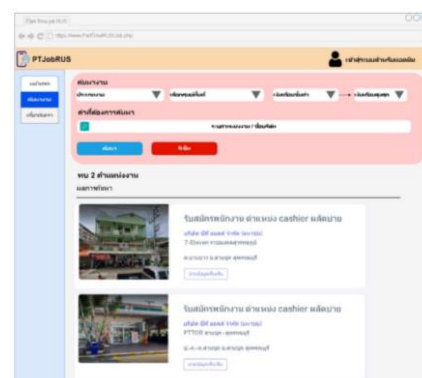


Figure 4 Part time job search page.

2.2.5 การทดสอบเบื้องต้นและการปรับปรุงระบบ เมื่อผู้วิจัยพัฒนาระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS) คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ตามความต้องการและข้อกำหนดต่าง ๆ ครบทั้งหมดแล้ว จึงทำการทดสอบระบบก่อนนำไปติดตั้งบนเซิร์ฟเวอร์ของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อใช้งานจริงด้วยตนเอง เพื่อตรวจสอบหาข้อผิดพลาดและปรับปรุงแก้ไขพร้อมทั้งจัดทำคู่มือการใช้งาน จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิควิธีการทั้ง 3 ท่าน ดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของระบบและให้ข้อเสนอแนะ นำข้อเสนอแนะต่าง ๆ มาปรับปรุงระบบอีกครั้งให้สมบูรณ์สอดคล้องและถูกต้องตามคำแนะนำ

2.2.6 เก็บรวบรวมข้อมูล สรุป วิเคราะห์ และจัดทำคู่มือการใช้งานระบบ โดยนาระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญได้ทดลองใช้และตอบแบบสอบถามเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้น นาระบบสารสนเทศไปให้กลุ่มตัวอย่างได้ทดลองใช้และตอบแบบสอบถามเพื่อหาความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น

3. สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนและกำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายค่าเฉลี่ย [6] ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51–5.00 หมายความว่า ระดับดีมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51–4.50 หมายความว่า ระดับดีมาก

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51–3.50 หมายความว่า ระดับดีปานกลาง

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51–2.50 หมายความว่า ระดับดีน้อย

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00–1.50 หมายความว่า ระดับดีน้อยที่สุด

4. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษา

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS) คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ 1) ผู้ดูแลระบบหรือเจ้าหน้าที่พนักงานในร้าน ในส่วนนี้สามารถเพิ่มข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับประเภทงานพาร์ทไทม์ (Part-Time) [7] ที่เข้าร่วมโครงการกับทางคณะฯ เพื่อเป็นฐานข้อมูลให้กับนักศึกษาที่เข้าใหม่ทำการสืบค้น และ 2) นักศึกษาที่เข้าใหม่สามารถสืบค้นข้อมูลงานพาร์ทไทม์ที่เปิดรับใกล้พื้นที่มหาวิทยาลัยฯ ดัง Figure 5

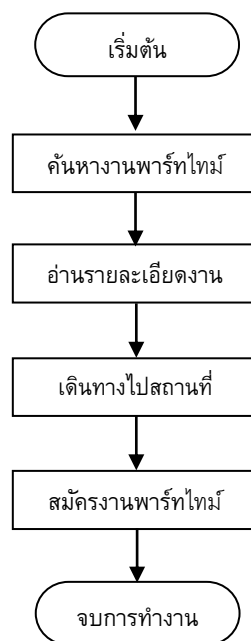


Figure 5 Flowchart of part-time job search engine.

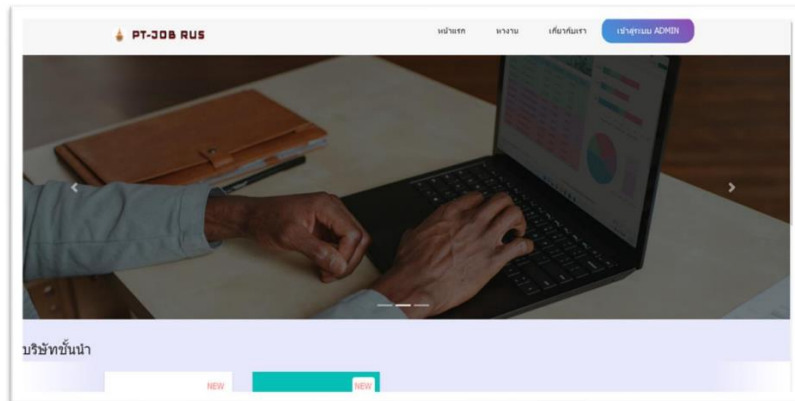


Figure 6 Home page and list of recommended companies.

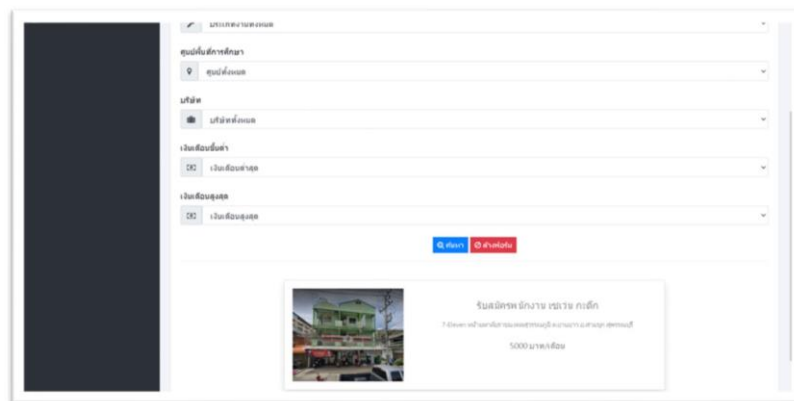


Figure 7 part time job search page.

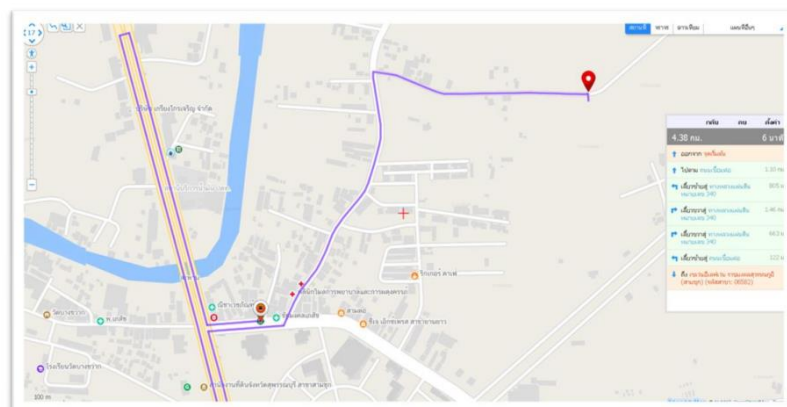


Figure 8 Location map of part-time jobs starting from current location.

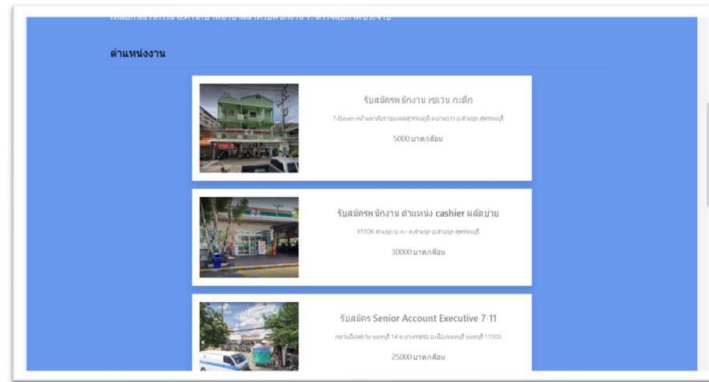


Figure 9 Company part-time jobs information page.

4.2 การวิจารณ์

4.2.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS) คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ผู้วิจัยดำเนินการทดลองใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นกับผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิควิธีการ จำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ สามารถแสดงผลการประเมินค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) [8] ดังปรากฏใน Table 1

Table 1 Efficiency evaluation from experts of the Online part-time job search system.

Topic	\bar{x}	S.D.
1. system design	4.77	0.43
2. the ability of the system	4.72	0.44
3. The results obtained from the system	4.77	0.44
Total	4.75	0.44

จาก Table 1 พบว่าระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS) คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มีผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบทั้ง 3 ด้าน โดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิควิธีการ ประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.75 จำแนกรายละเอียดต่าง ๆ ได้แก่ ด้านการออกแบบระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.77 ด้านความสามารถของระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.72 ด้านผลลัพธ์ที่ได้จากระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.77 ตามลำดับ

4.2.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS) คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ผู้วิจัยดำเนินการทดลองใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นกับนักศึกษาใหม่ทั้ง 4 ศูนย์พื้นที่การศึกษา จำนวน 130 ท่าน เพื่อประเมินความพึงพอใจของการใช้งาน สามารถแสดงผลการประเมินค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ดังปรากฏใน Table 2

Table 2 Satisfaction evaluation result of the Online part-time job search system.

Topic	\bar{x}	S.D.
1. system design	4.83	0.37
2. the ability of the system	4.76	0.43
3. The results obtained from the system	4.80	0.40
Total	4.84	0.36

จาก Table 2 พบว่าระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS) คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มีผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมของระบบทั้ง 3 ด้าน โดยผู้ใช้งาน (นักศึกษา) ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.84 จำแนกรายละเอียดต่าง ๆ ได้แก่ ด้านการออกแบบระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.83 ด้านความสามารถของระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.76 ด้านผลลัพธ์ที่ได้จากระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.80 ตามลำดับ

5. สรุป

5.1 ระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS) คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับนักศึกษาใหม่ของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศได้เป็นอย่างดี เนื่องจากระบบเว็บไซต์ที่ออกแบบมาสามารถตอบสนองความต้องการของนักศึกษาในกลุ่มที่ต้องการหางานพาร์ทไทม์ทำในช่วงเวลาเรียนได้อย่างรวดเร็ว และใช้งานได้สะดวก เนื่องจากผู้วิจัยใช้หลักการออกแบบเว็บไซต์โดยการยึดหลักในการเข้าใจ เข้าถึงพฤติกรรมและวิธีการเข้าถึงผู้บริโภคเจนแซด (Gen Z) ที่มีพฤติกรรมชอบสื่อที่ใช้งานง่ายและโต้ตอบได้อย่างรวดเร็ว

5.2 ผลการหาประสิทธิภาพของระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ที่พัฒนาขึ้น พบว่าผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิควิธีการ จำนวน 3 ท่านมีความคิดเห็นต่อประสิทธิภาพของระบบโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก สอดคล้องกับหนังสือของดนุลดา จามจรี ในหนังสือเรื่อง “การออกแบบการเรียนรู้สำหรับผู้เรียน Gen Z” พบว่าได้รับการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน อยู่ในระดับดีมาก

5.3 กลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาใหม่ของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มีความพึงพอใจต่อการใช้ระบบโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก สอดคล้องกับได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบสืบค้นสารสนเทศเพื่อการจัดการสารบรรณคำสั่งของสำนักงานสรรพากรภาค 8 พบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในการใช้ระบบอยู่ในระดับดีมาก จึงถือได้ว่าเป็นระบบสารสนเทศที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง และบรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ และเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนด

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหาร คณาจารย์และนักศึกษาคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่ให้ความช่วยเหลือให้ข้อมูลต่าง ๆ ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ ที่มีประโยชน์ในการพัฒนาระบบสืบค้นงานพาร์ทไทม์ออนไลน์ (Part-Time Job RUS) นี้ขึ้นมา อีกทั้งยังเสียสละเวลาอันมีค่าในการอธิบายให้บุคลากรและนักศึกษาที่เกี่ยวข้องกับระบบตอบแบบสอบถามในครั้งนี้ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้ผลการศึกษาในครั้งนี้ประสบความสำเร็จลงได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาและออกแบบเว็บไซต์ทุกท่านที่เสียสละเวลาอันมีค่าช่วยทดสอบ และประเมินประสิทธิภาพของระบบเพื่อให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพสำหรับการใช้งานได้จริงในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] วชิรา ทองสุข. 2565. เข้าใจ Gen Z อย่างอินไซต์ กำลังซื้อกลุ่มใหม่ เขย่าโลกออนไลน์ด้วยปลายนิ้ว!. Talka Talka Digital Media Co.,Ltd. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://talkatalka.com/blog/insight-gen-z/> (เข้าถึงเมื่อ 17 มิถุนายน 2565).
- [2] เอมิการ์ ศรีธาตุ และประทุม ฤกษ์กลาง. 2560. พฤติกรรมการใช้และการรับรู้อิทธิพลของสื่อดิจิทัลจ่อเจเนเรชั่นวาบและเจเนอเรชั่นแซด ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. วารสารวิทยาลัยนครราชสีมา. 3. 20-31
- [3] ขวลิต สุวชัยสุทธ์. (2553). รายงานวิจัยเรื่องศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการทำงานพิเศษระหว่างวัยเรียนของนักศึกษาปริญญาตรีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2553. (หนังสืออิเล็กทรอนิกส์). เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] สุวลี สาคำ. (2549). รายงานวิจัยเรื่องการศึกษาการทำงานพิเศษระหว่างเรียนของนักศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2549. (หนังสืออิเล็กทรอนิกส์). เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [5] สำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน. 2565. จำนวนนักศึกษาคงอยู่จำแนกตามระดับการศึกษา ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2565. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://drive.google.com/file/d/1Ob70o7xD7PYNlN3WM-8jY3QM7LD2RHEX/view> (เข้าถึงเมื่อ 12 มกราคม 2565).
- [6] ชานินทร์ ศิลป์จารุ. (2550). การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS. วี.อินเตอร์ พรีนซ์, กรุงเทพมหานคร.
- [7] ดนุลดา จามจุรี. 2563. การออกแบบการเรียนรู้สำหรับผู้เรียน Gen Z. พิมพ์ครั้งที่ 1. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพมหานคร.
- [8] วชิรา ต๊ะอินทร์. (2553). การพัฒนาระบบสืบค้นสารสนเทศเพื่อการจัดการสารบรรณคำสั่งของสำนักงานสรรพากรภาค 8. (การค้นคว้าอิสระปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ Online Assessment Creation System.

บารมี โอสธีรกุล¹ สัตตภาภูมิ ไทยพานิช¹ วรณช จันทโร¹ ธนวัตส์ เปี่ยมทอง² และ พิมพ์ชนก สายทอง²

Baramee Osateerakul¹, Sattarpoom Thaiparnit¹, Woranuch Chan-o Thaiparnit¹, Thanawat Paimthong² and Phimchanok Saytong^{2*}

¹สาขาวิชาระบบสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

²สาขาวิชาระบบสารสนเทศ คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Department of Information System and Business Computer , Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.

² Department of Information System, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.

*Corresponding author: Baramee Osateerakul, e-mail address: baramee.o@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อวิเคราะห์และออกแบบระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ 2) เพื่อพัฒนาระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ 3) เพื่อประเมินหาคุณภาพของระบบ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ ใช้ ภาษา PHP ในการพัฒนาระบบ ใช้ Visual Studio Code เป็นโปรแกรมที่ใช้เขียนโค้ด และใช้ XAMPP โปรแกรมจำลองเครื่องคอมพิวเตอร์เป็น web server โดยสามารถทำงานได้ดังนี้ 1) ส่วนของผู้ดูแลระบบ สามารถจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน, ข้อมูลชุดแบบประเมิน, ข้อมูลแบบประเมิน, ข้อมูลคำถาม, ข้อมูลรูปแบบการกรอกคำถาม, ตั้งเวลาในการใช้งานแบบประเมิน และดูรายงานในรูปแบบต่างๆ ในลักษณะ แดชบอร์ด 2) ส่วนของผู้ใช้ สามารถสมัครสมาชิก, ทำแบบประเมิน เครื่องมือที่ใช้หาคุณภาพ ได้แก่ แบบประเมินผลสอบถามความคิดเห็น โดยผู้เชี่ยวชาญ ด้านเทคนิคจำนวน 5 ท่าน และกลุ่มบุคคลทั่วไป จำนวน 100 คน วิเคราะห์ข้อมูลใช้ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ผลการวิจัยพบว่า ระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ มีผลจากการประเมินหาคุณภาพของระบบเว็บไซต์จากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิค พบว่าค่าเฉลี่ย (\bar{x}) เท่ากับ 4.27 มีคุณภาพอยู่ในระดับดี และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.36 และผลจากการประเมินหาความพึงพอใจของกลุ่มบุคคลทั่วไป พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.13 มีความพึงพอใจในระดับดี

คำสำคัญ: แบบประเมิน, แบบประเมินออนไลน์, แดชบอร์ด

Abstract

The purposes of this research were 1) to analyze and design an online assessment system, 2) to develop an online assessment system, and 3) to assess the quality of the system. Tools used in system development. PHP language is used to develop the system. Visual Studio Code is used to write code and XAMPP is a computer emulator as a web server. Which can work as follows. 1) The admin section. Can manage user information, assessment set data, assessment data, question data, question form data, set the time for using the assessment And view reports in various formats in a dashboard style. 2) User section. You can apply for membership, do assessments, tools used to determine quality, including evaluation forms asking for opinions from experts. There were 5 technical people and 100 people in general. Data were analyzed using mean (\bar{x}) and standard deviation (S.D.).

The results showed that Online Assessment Creation System There is a result of the evaluation of the quality of the website system by technical experts. It was found that the mean (\bar{x}) was 4.27 with good quality. And the standard deviation (S.D.) was 0.36 and the results of the assessment of the satisfaction of the general population. It was found that the mean was 4.37 and the standard deviation (S.D.) was 0.13. There was a good level of satisfaction.

Keyword: Assessment, Online Assessment, Dashboard

1. บทนำ

เทคโนโลยีเกิดขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ได้เป็นการเฉพาะด้าน เช่น เทคโนโลยีการเกษตร เทคโนโลยีการแพทย์ เป็นต้น ในปัจจุบันสมรรถนะและศักยภาพของเทคโนโลยีดิจิทัลและการสื่อสาร หรือเทคโนโลยีเว็บ 2.0 และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องเนื่องได้ถูกนำมาใช้ได้หลากหลายและเชื่อมต่อถึงกันได้ (Coccia, 2019) [1] ในการทำสิ่งต่างๆ เพื่อให้เกิดความสุขและสะดวกสบายใจชีวิต จึงทำให้มนุษย์เป็นสิ่งที่ชีวิตที่มีการพัฒนาและค้นหาหนทางต่างๆ เพื่อตอบสนอง ความต้องการของตน ในโลกของเทคโนโลยีเว็ลด์ไวด์เว็บ และการออกแบบเว็บไซต์ก็เช่นกัน การที่เว็บไซต์ แบบเดิมนั้นไม่สามารถตอบสนองความต้องการในการแสดงความคิดเห็น การโต้ตอบ หรือการเชื่อมโยงและการสร้างเครือข่ายสังคม จึงทำให้มีการพัฒนาและปฏิวัติรูปแบบของเว็บไซต์และเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อให้เกิดการตอบสนองต่อความต้องการมากขึ้น [2] ในการสร้างแบบสอบถามปัจจุบันเองมีเครื่องมือสำเร็จรูปหลายตัว เช่น Google Forms, Survey Can, Enable Survey เป็นต้น บางตัวเสียค่าใช้จ่าย บางตัวฟรี ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับฟังก์ชันการทำงานของแต่ละตัว

คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ นั้นยังมีการใช้กระดาษในการทำแบบประเมินอยู่ หรือใช้ Google Forms แต่บางอย่างยังไม่ตรงกับความต้องการของผู้บริหารและผู้ใช้งาน ไม่สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ในระยะยาว เนื่องจากยังมีความลำบากต่อการใช้งาน รวมถึงการจัดทำกิจกรรมต่าง ๆ ทางคณะต้องการทราบผลลัพธ์ความพึงพอใจ รวมถึงความคิดเห็น เพื่อช่วยในการดำเนินงานครั้งใหม่ หรือแต่ละปีการศึกษา นำมาเปรียบเทียบกัน รวมถึงการนำแบบประเมินเดิมมาใช้กับกิจกรรมหลายๆ กิจกรรม (Reuse)

ดังนั้นเพื่อการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนา โดยใช้เทคโนโลยีเว็บ 2.0 การพัฒนาระบบใช้ Visual Studio Code เป็นโปรแกรมที่ใช้เขียนโค้ด การพัฒนาเชิงกายภาพได้แก่การจำลองเซิร์ฟเวอร์ด้วยโปรแกรม Xampp สำหรับทดสอบการเรียกใช้งานเว็บไซต์ และใช้ MySQL เป็นจำลองสร้างฐานข้อมูล และพัฒนาเว็บไซต์ด้วยภาษา HTML, JavaScript, PHP และใช้เฟรมเวิร์ก Bootstrap เพื่อออกแบบหน้าเว็บไซต์ให้สามารถใช้งานได้บนทุกอุปกรณ์ โดยสามารถทำงานได้ดังนี้ 1) ส่วนของผู้ดูแลระบบ สามารถเข้าสู่ระบบ Back-end สามารถจัดการข้อมูลผู้ใช้ระบบ, ข้อมูลกลุ่มผู้ใช้ระบบ, ข้อมูลชุดแบบประเมิน ข้อมูลส่วนของแบบประเมิน และ ข้อมูลคำถาม 2) ส่วนของผู้ใช้ สามารถเข้าสู่ระบบ Front-end เลือกกลุ่มผู้ใช้งาน และสามารถทำแบบประเมินได้ 3) สามารถออกรายงานเป็น Excel และ Dashboard

2. วิธีการศึกษา

2.1 กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย ประกอบไปด้วย 1) ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ 5 ท่าน และ 2) อาจารย์ เจ้าหน้าที่ นักศึกษาคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศจำนวน 100 ท่าน ช่วงอายุ 18 – 50 ปี ด้วยวิธีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง

2.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

2.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้และความต้องการผู้ใช้

หลังจากได้แนวคิดในการออกแบบภาพรวมของระบบ ผู้จัดทำได้ทำการวิเคราะห์เงื่อนไข ของระบบงานให้มีความสามารถในการทำงานให้มีประสิทธิภาพ และศึกษาแนวทางวิธีทางหรือแนวทางการดำเนินการเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบ วิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้โดยการสัมภาษณ์ อาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษา ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี มีความต้องการของระบบงานดังนี้ 1.สามารถจัดทำสร้างแบบประเมินออนไลน์ได้ 2.สามารถปรับระดับการให้คะแนนในแบบประเมิน เช่น ดีมาก, ดี, พอใช้ หรือผ่าน, ไม่ผ่าน 3.มีความหลากหลายในการทำแบบประเมิน เช่น Radiobox, Textbox 4.สามารถจัดทำแบบประเมินในรูปแบบของแบบฟอร์ม และแบบตาราง 5.สามารถออกรายงานในรูปแบบ Excel และ Dashboard ได้

2.2.2 วิเคราะห์และออกแบบระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์

วิธีการที่ใช้ในการสร้างระบบขึ้นมาใหม่คือ การนำความต้องการของผู้ใช้งานจากที่ได้ไปเก็บข้อมูลมาจัดทำเป็นแผนภาพที่ใช้แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบงานและสิ่งที่อยู่นอกระบบงาน (Use Case Diagram) เป็นเครื่องมือเชิงโครงสร้างที่ใช้บรรยายภาพรวมของระบบโดยแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบหรือโพรเซส (Process) ระบุแหล่งกำเนิดของข้อมูล การไหลของข้อมูล ปลายทางข้อมูล การเก็บข้อมูลและการประมวลผลข้อมูล ออกแบบฐานข้อมูลด้วยพจนานุกรมข้อมูล (Data Dictionary) และใช้ Entity Relations Diagram (ERD) อธิบายโครงสร้างและความสัมพันธ์ของข้อมูล

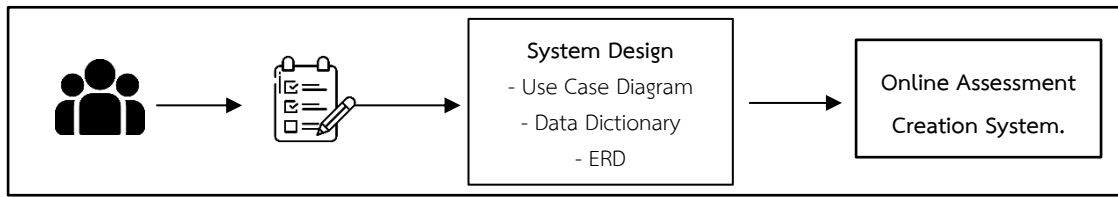


Figure 1 Overview of System.

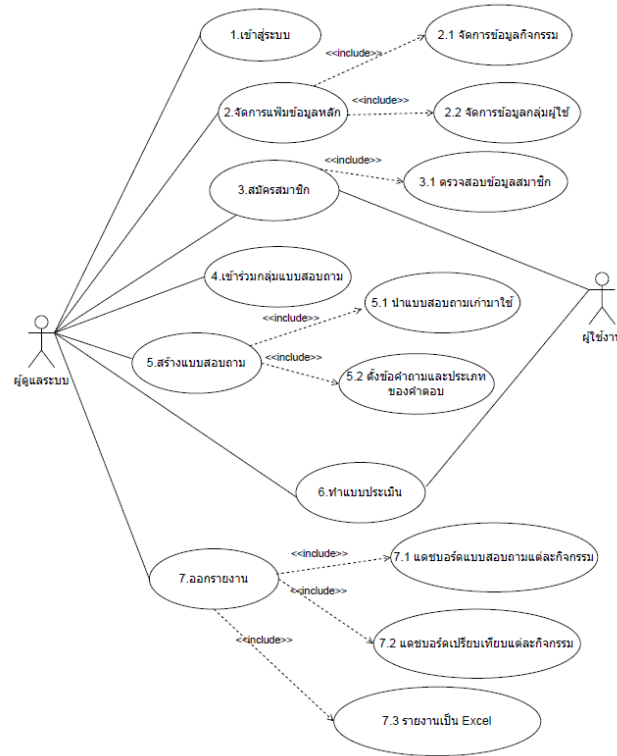
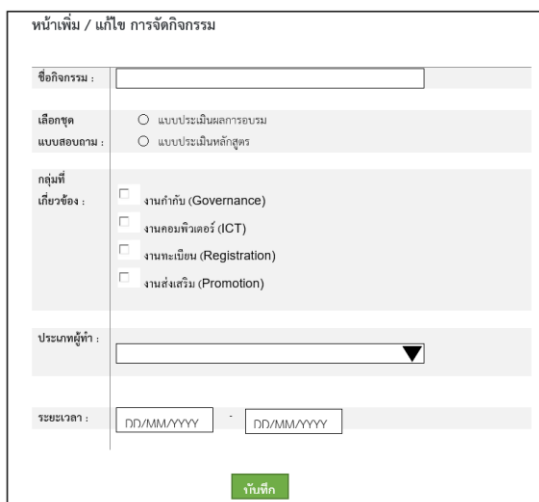


Figure 2 Use Case Diagram of the online assessment creation system.



หน้าเพิ่ม / แก้ไข การจัดการกิจกรรม

ชื่อกิจกรรม :

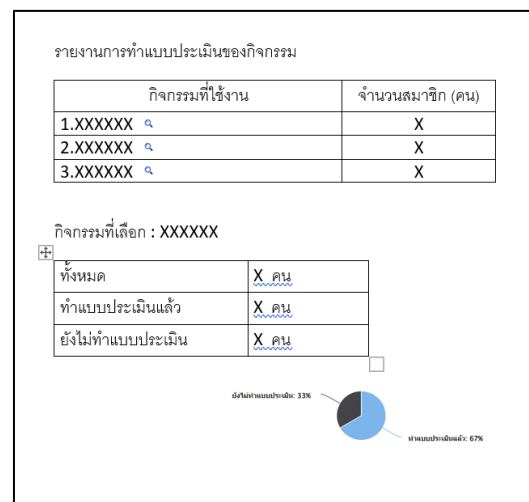
เลือกชุด : แบบประเมินผลการอบรม
แบบสอบถาม : แบบประเมินหลักสูตร

กลุ่มที่เกี่ยวข้อง : งานกำกับ (Governance)
 งานคอมพิวเตอร์ (ICT)
 งานทะเบียน (Registration)
 งานส่งเสริม (Promotion)

ประเภทผู้ทำ :

ระยะเวลา : -

Figure 3 Input adding, editing, activities.



รายงานการทำแบบประเมินของกิจกรรม

กิจกรรมที่ใช้ทำงาน	จำนวนสมาชิก (คน)
1.XXXXXX	X
2.XXXXXX	X
3.XXXXXX	X

กิจกรรมที่เลือก : XXXXXX

ทั้งหมด	X คน
ทำแบบประเมินแล้ว	X คน
ยังไม่ทำแบบประเมิน	X คน

ส่วนที่ประเมินแล้ว: 33%

ส่วนที่ยังไม่ประเมิน: 67%

Figure 4 Issue an activity assessment report.

2.2.3 พัฒนาระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์

การพัฒนาระบบ ใช้ Visual Studio Code เป็นโปรแกรมที่ใช้เขียนโค้ด ใช้ XAMPP เป็นโปรแกรม Apache web server ไว้จำลอง web server เพื่อไว้ทดสอบ สคริปหรือเว็บไซต์ในเครื่อง และพัฒนาเว็บไซต์ด้วยภาษา HTML, JavaScript, PHP และใช้เฟรมเวิร์ก Bootstrap เพื่อออกแบบหน้าเว็บไซต์ให้สามารถใช้งานได้บนทุกอุปกรณ์ โดยสามารถทำงานได้ดังนี้ 1) ส่วนของผู้ดูแลระบบ สามารถเข้าสู่ระบบ Back-end สามารถจัดการข้อมูลผู้ใช้ระบบ, ข้อมูลกลุ่มผู้ใช้ระบบ, ข้อมูลชุดแบบประเมิน ข้อมูลส่วนของแบบประเมิน และ ข้อมูลคำถาม 2) ส่วนของผู้ใช้ สามารถเข้าสู่ระบบ Front-end เลือกกลุ่มผู้ใช้งาน และสามารถทำแบบประเมินได้ 3) สามารถออกรายงานเป็น Excel และ Dashboard

2.2.4 ทดสอบระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์และปรับปรุงระบบ

ผู้วิจัยพัฒนาระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ ตามความต้องการของผู้ใช้งานแล้ว จึงทำการทดสอบระบบก่อนนำไปติดตั้งบนเซิร์ฟเวอร์เพื่อใช้งานจริงด้วยตนเอง เพื่อตรวจสอบหาข้อผิดพลาดและปรับปรุงแก้ไข พร้อมทั้งจัดทำคู่มือการใช้งาน จากนั้นนำระบบให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่านดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของระบบ และนำข้อเสนอแนะต่าง ๆ มาปรับปรุงระบบอีกครั้งให้สมบูรณ์สอดคล้อง และถูกต้องตามคำแนะนำ

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษา

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาเว็บไซต์ระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ 1) อาจารย์และเจ้าหน้าที่พนักงานในส่วนนี้สามารถเพิ่มแบบประเมิน เพิ่มกลุ่มผู้ใช้งาน เพิ่มกิจกรรม และสามารถออกรายงานได้ เพื่อทำแบบประเมินให้นักศึกษาได้ใช้งาน และ 2) นักศึกษา สามารถ เข้าร่วมกลุ่มผู้ใช้งาน และสามารถทำแบบประเมิน ได้โดยสามารถทำแบบประเมินผ่านคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ต่างๆ เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต จากนั้นระบบจะทำการเก็บข้อมูลที่นักศึกษาได้ทำแบบประเมินมาประมวลผล คำนวณเปอร์เซ็นต์ของการทำแบบประเมิน และนำออกรายงานในรูปแบบ Excel, Dashboard ,เปรียบเทียบแบบประเมิน



Figure 5 Login.

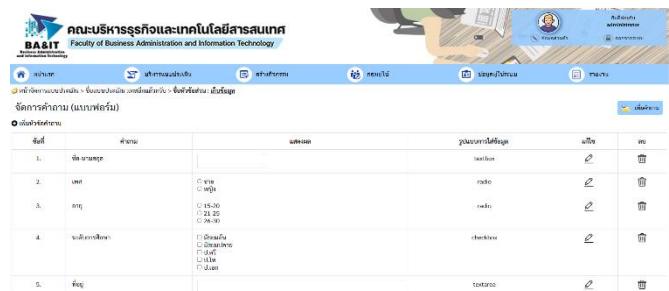


Figure 6 Add question page.

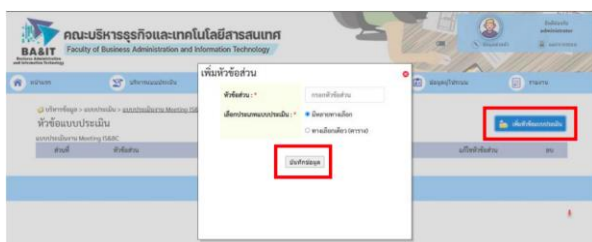


Figure 7 Add a topic for the assessment section.

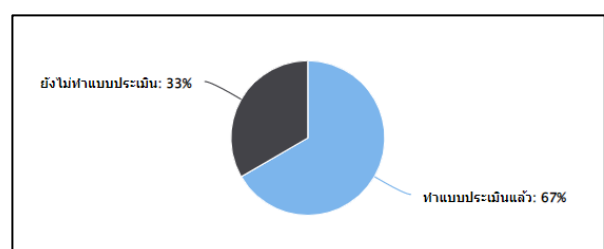


Figure 8 Dashboard.

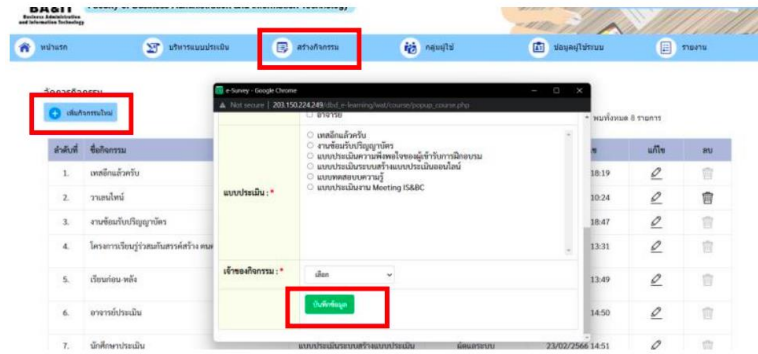


Figure 9 Create an event.



Figure 10 QR code or assessment link.

3.2 การวิจารณ์

3.2.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของเว็บไซต์ระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ของคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ผู้วิจัยดำเนินการทดลองใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นกับผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิค และ ผู้ใช้ทั่วไป

Table 1 System performance by experts.

Topic	Average (\bar{x})	S.D
Ease of linking internal data	4	0.58
Accuracy and completeness of information	4.33	1
It can be used successfully according to the user's objectives.	4.67	0.58
Appropriateness of internal data	4	0
Able to learn to use the system quickly.	4.33	0.57
Total	4.27	0.36

จาก Table 1 พบว่า ระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ มีผลการประเมินคุณภาพของระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ โดยรวมจากผู้เชี่ยวชาญ มีคุณภาพอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ย (\bar{x}) เท่ากับ 4.27 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.36

Table 2 System performance by general users.

Topic	Average (\bar{x})	S.D
Ease of linking internal data	4.28	0.79
Accuracy and completeness of information	4.56	0.53
It can be used successfully according to the user's objectives.	4.47	0.52
Appropriateness of internal data	4.33	0.67
Able to learn to use the system quickly.	4.25	0.79
Total	4.37	0.13

จาก Table 2 พบว่า ระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ มีผลการประเมินคุณภาพของระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ โดยรวมจากผู้ใช้งาน มีคุณภาพอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ย (\bar{x}) เท่ากับ 4.37 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.13

4. สรุป

ระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ สามารถจัดเก็บข้อมูลของสมาชิก,สร้างแบบประเมิน,สร้างคำถาม,สร้างกลุ่มผู้ใช้งาน,สร้างกิจกรรม,ออกรายงานเป็น Excel และ Dashboard ,สามารถเปรียบเทียบแบบประเมินเดียวกันแต่ต่างกิจกรรม,สามารถนำแบบประเมินที่สร้างแล้วไปใช้ได้อีกหลายกิจกรรม ผลการศึกษาพบว่า ระบบสร้างแบบประเมินออนไลน์ สามารถสร้างแบบประเมินออกมาใช้งานได้จริง และยังสามารถออกรายงานในรูปแบบ Excel และ Dashboard ได้ทั้งหมด 4 รายงาน คือ 1. รายงานการทำแบบประเมินของกิจกรรม 2. รายงานการทำแบบประเมินของผู้ใช้ 3. รายงานการตอบแบบประเมินของกิจกรรม และ 4. รายงานผลลัพธ์จากประเมิน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหาร คณาจารย์สาขาวิชาสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ธุรกิจ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้ข้อมูลต่าง ๆ จนทำให้บทความสำเร็จลงด้วยดี ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญและผู้ทดสอบระบบ และขอขอบพระคุณบิดามารดาที่ได้มอบความรัก ความห่วงใยให้การสนับสนุนอย่างดียิ่งมาโดยตลอดส่งผลให้ผู้ที่ศึกษาประสบผลสำเร็จในการศึกษาครั้งนี้ และขอขอบคุณผู้ให้ความช่วยเหลืออีกหลายท่าน ซึ่งไม่สามารถกล่าวชื่อนามได้หมด ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กุศลวัฒน์ คงประดิษฐ์. 2562. การใช้เทคโนโลยีเว็บ 2.0 ในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีโครงสร้างนิยม (Constructivism) เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/edubuu/article/view/244227> (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2565)
- [2] แวตตา เตชาทวิวรรณ. 2562. การรับรู้และการใช้เว็บ 2.0 ของบรรณารักษ์ห้องสมุดสถาบันอุดมศึกษา เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://infojournal.kku.ac.th/index.php/information/article/view/402> (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2565)
- [3] สุบิน ยุระรัช. 2554. แนวคิดเกี่ยวกับการสังเคราะห์งานประเมินความต้องการจำเป็น. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2554. คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [4] รัฐพงศ์ แก้วเดือนจิตร.2553 หลักการทำงานของ PHP เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <http://kvcbboy.blogspot.com/>(เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2565)
- [5] Codeigniter.in.th.2557 Codeigniter Framework. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <http://www.codeigniter.in.th>(เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2565)
- [6] JustUsers.net. 2553 XAMPP เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <http://www.justusers.net/forum/index.php?topic=5860.0>(เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2565)

การพัฒนาาระบบสารสนเทศเพื่อสำรวจการชำระเงินของลูกค้า บริษัท โทรคมนาคม แห่งชาติ
Development of information system to survey customer payments of National Telecom
Public Company Limited

อนูทิตา เล็กเพชร¹ ทวีศักดิ์ คงตุ๊ก^{1*} วรณัฐ จันทร์โอ¹ ชานนท์ ทองบุตรดี¹ และ ธนกรฤต สังข์เต็ม¹
Anutita Lekpech¹, Thaweesak Khongtuk^{1*}, Worranuch Chan-O¹ Chanon Thongbutdee¹, and Thanakrit Sungtem¹

¹สาขาวิชาระบบสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

^{1*}Business Administration and Information Technology, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Suphanburi Campus

*Corresponding author: thaweesak.k@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สำรวจปัญหาและความต้องการในการใช้แบบสำรวจการชำระเงินของลูกค้าบริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ 2) พัฒนาระบบแบบสำรวจการชำระเงินของลูกค้าของบริษัทฯ ในรูปแบบออนไลน์ โดยใช้เครื่องมือ Apps Script ร่วมกับการทำงานของ Google Sheet ในการค้นหารายชื่อของลูกค้า และ 3) ทดสอบและประเมินผลการใช้งานระบบ แบบสำรวจการชำระเงินของลูกค้าของบริษัทฯ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ พนักงานเจ้าหน้าที่ให้บริการลูกค้าของ บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด จังหวัดสิงห์บุรี โดยใช้การสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง จำนวน 20 คน เครื่องมือที่ใช้ คือ แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบการสำรวจการชำระเงินของลูกค้า และแบบประเมินคุณภาพด้านเทคนิค และด้าน เนื้อหา โดยให้อาจารย์ผู้สอนและผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า 1) การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อสำรวจการชำระเงินของลูกค้าบริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ สามารถ ใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลการให้บริการ การจัดทำรายงานได้เป็นอย่างดี ครบถ้วนและใช้งานได้สะดวก 2) การประเมินความ พึงพอใจของผู้ใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นมาใหม่อยู่ในระดับดีมาก ($x = 4.55$, S.D. = 0.49) และ 3) ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน มีผลการประเมินด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดีมาก ($x = 4.55$, S.D. = 0.47) และด้านเทคนิคอยู่ในระดับดีมาก ($x = 4.71$, S.D. = 0.44)

คำสำคัญ: การชำระเงิน, แบบสำรวจ, บริการลูกค้า, โทรคมนาคมแห่งชาติ

Abstract

The research aims to 1) Explore problems and requirements of the customer payment survey in National Telecom Public Company Limited. 2) To develop the company's online payment survey using the apps script tool and google sheet to search the data, and 3) The sample group used in this study was the staff of National Telecom Public Company Limited, Singburi Province. Using 20 individual samples, the tool used was a user satisfaction questionnaire, a customer payment survey system, and a technical and content quality evaluation conducted by three teachers and experts. The analysis statistics were average and standard deviation.

The research found that 1) the development of the information system to survey payments of national telecommunications customers can be used as a tool to capture service information, comprehensively and conveniently, 2) very good user satisfaction ($x = 4.55$, S.D. = 0.49) and 3) three expert assessments with a very good level of content ($x = 4.55$, S.D. = 0.47) and technical ($x = 4.71$, S.D. = 0.44).

Keywords : payment, survey, customer service, national telecom

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของคนเรามากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ในกระบวนการทำงานเพื่อความถูกต้อง สะดวกสบาย รวดเร็ว บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) ก็ได้นำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในหน่วยงานต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น เพื่อช่วยให้การทำงานมีประสิทธิภาพและทันสมัย ในกระบวนการให้บริการแก่ลูกค้าของบริษัทจะมีขั้นตอนของการจัดเก็บชำระค่าบริการลูกค้าของบริษัท ที่มีความล่าช้า การเก็บค่าบริการไม่ครบถ้วน

การพัฒนากระบวนการใช้งานในรูปแบบออนไลน์ได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน เพราะสามารถใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา เพราะอินเทอร์เน็ตได้กลายเป็นปัจจัยพื้นฐานของการติดต่อสื่อสารกันไปแล้ว ดังเช่นงานวิจัยของ [1] ได้ศึกษาเรื่อง การศึกษาและพัฒนาโปรแกรมออนไลน์สำหรับสนับสนุนเลขานุการ สำนักอธิการบดีของสถาบันราชภัฏรำไพาง มีวัตถุประสงค์เพื่อ แก้ไขปัญหาทางด้านสารบรรณ เช่น การบันทึก การจัดเก็บ การเรียกดูเอกสาร/หนังสือเข้า-ออก บันทึกข้อความ และคำสั่ง โดยเริ่มศึกษาจากปัญหาและรวบรวมความต้องการของเลขานุการและผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานสารบรรณ จากนั้นใช้เครื่องมือในการพัฒนาและออกแบบระบบงานใหม่ ได้แก่ ระบบปฏิบัติการวินโดวส์เซิร์ฟเวอร์ 2000 ใช้ภาษาเอเอสพีในการพัฒนาระบบ ใช้ระบบจัดการฐานข้อมูลเอสคิวแอลเซิร์ฟเวอร์ 2000 ผลการศึกษาพบว่า โปรแกรมออนไลน์สามารถนำไปใช้ได้จริง ผู้ใช้มีความพึงพอใจในระดับหนึ่ง แต่พบว่าการจะนำระบบใหม่ไปใช้แทนระบบปัจจุบันนั้นเป็นไปได้ค่อนข้างยาก เพราะต้องใช้เวลาในการให้ความรู้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องในการใช้งาน ตลอดจนผู้บริหารต้องให้ความสนับสนุนในการพัฒนาระบบอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยของ [9] ได้ศึกษาเรื่อง การพัฒนาระบบงานและการจัดการเอกสารสำหรับงานติดตามและซ่อมบำรุงเครื่องมือ บริษัทล้านนาไทย อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ จำกัด (แอลทีไอซี) โดยใช้โปรแกรมโลตัสโน้ตเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ บนเครื่องคอมพิวเตอร์ ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟต์วินโดวส์ 98 และใช้ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟต์ เอ็นทีเซิร์ฟเวอร์ 4.0 เป็นเซิร์ฟเวอร์ประมวลผลบนเครือข่ายภายในบริษัท ผลการศึกษาพบว่า โปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการทำงาน เป็นไปตามวัตถุประสงค์แต่ก็ยังพบข้อจำกัด คือ การเก็บข้อมูลยังมีความไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถแยกประเภทของเครื่องมือเป็นกลุ่มได้ ค่าที่มีอยู่ในตารางในบางเขตข้อมูลไม่มีค่า ทำให้เกิดปัญหาการเรียกดูข้อมูลซ้ำเมื่อจำนวนข้อมูลมีมากขึ้น สำหรับด้านฮาร์ดแวร์ พบว่า การใช้ฐานข้อมูลโลตัสโน้ตเป็นฐานข้อมูลขนาดใหญ่มาก พื้นที่ในการเก็บข้อมูลในเครื่องเซิร์ฟเวอร์ต้องมีหน่วยความจำสูง การทำงานของเซิร์ฟเวอร์โลตัสโน้ตโมโน จะราบรื่นเมื่อจัดให้ระบบทำงานแยกส่วนกัน คือ ให้เซิร์ฟเวอร์หลักทำหน้าที่เก็บฐานข้อมูลและให้เซิร์ฟเวอร์อีกหนึ่งตัวทำหน้าที่ให้บริการรับส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ [11] ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การพัฒนาระบบการจัดการเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระบบนี้พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพในการจัดการการรับ การส่ง การจัดเก็บ และการสืบค้นข้อมูลเอกสารภายในหน่วยงานมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาการสื่อสาร การจัดเก็บ การสืบค้น เอกสารสูญหายง่าย และการสิ้นเปลืองทรัพยากรอย่าง 13 กระดาษ พบว่าระบบสามารถช่วยจัดการเอกสารได้ตามความต้องการของผู้ใช้ระบบได้ดี แต่มีจุดที่สามารถนำไปพัฒนาเพิ่มเติมได้คือ การเอาเทคโนโลยีจดหมายอิเล็กทรอนิกส์มาช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการติดต่อสื่อสารของแต่ละหน่วยงานได้ดีมากขึ้น [2] [10] ได้ศึกษาเรื่อง ระบบจัดการเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ระบบจัดการเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ได้พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการ รับ - ส่ง การจัดเก็บการสืบค้นข้อมูลเอกสารภายในองค์กร รวมทั้งเพิ่มขีดความสามารถในการจัดการงานด้านเอกสารให้มีความสะดวกรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยลดปัญหา ด้านการสื่อสาร การจัดเก็บ การสูญหายของเอกสาร การสืบค้นข้อมูลเอกสาร และลดการสิ้นเปลืองทรัพยากรกระดาษ พบว่าการนำระบบ จัดการเอกสารอิเล็กทรอนิกส์มาใช้จะช่วยลดความซับซ้อนขั้นตอนการปฏิบัติงานในระบบเดิมเปลี่ยนมาเป็นรูปแบบเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถดำเนินการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน ทั้งนี้ เพื่อความสะดวกในการเข้าใช้งานระบบ [5] พัฒนาระบบการบริหารโรงงานน้ำดื่มเพชรน้ำทิพย์ เป็นระบบที่ช่วยในการบันทึก การขายน้ำดื่ม และการจัดทำสต็อกน้ำดื่ม โดยนำคอมพิวเตอร์มาประมวลผลสร้างรูปแบบรายงานที่เหมาะสม รวดเร็วและสวยงาม ช่วยลดภาระในการทำงานของหัวหน้างานที่ควบคุมบริหารงาน

การพัฒนากระบวนการโดยนำเอาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ในการใช้งานด้านต่างๆ ในหลายงานวิจัยที่กล่าวมาพบว่า ทำให้ระบบมีความทันสมัย ใช้งานได้สะดวกรวดเร็วมมากขึ้น ทั้งในขั้นตอนของการบันทึกข้อมูลเข้าไปจนถึงการสร้างรายงานที่สวยงาม ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีแนวคิดในการพัฒนาออกแบบ Google Sheet แบบสำรวจการชำระหนี้ของลูกค้าให้กับหน่วยงาน บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) เพื่อเป็นการติดตามหนี้ลูกค้าที่ยังไม่ชำระ หาสเหตุและเก็บข้อมูลลูกค้าเพื่อนำมาใช้พิจารณาว่าชำระหนี้ได้หรือไม่ อีกทั้งเพื่อใช้แนะนำข้อมูลต่าง ๆ ผ่านระบบออนไลน์ใน Google Sheet ของบริษัทที่เป็นมาตรฐาน

ใช้งานร่วมกัน เพื่อให้เกิดความคุ้นเคยของพนักงานในบริษัทและความสะดวกในการใช้บันทึกข้อมูลเข้าสู่ระบบ ตลอดจนการออก รายงานประเภทต่างๆ ที่มีการนำเอา Dashboards มาใช้งานซึ่งช่วยให้มองเห็นผลสรุปในภาพรวมได้อย่างรวดเร็ว

2. วิธีการศึกษา

งานนี้ใช้วิธีการศึกษาตัวแบบ ADDIE Model ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการศึกษา 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

2.1 ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ (Analysis Phase)

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการเก็บชำระเงินค่าบริการของลูกค้าบริษัทโทรคมนาคม แห่งชาติ จำกัด (มหาชน) ที่มีความล่าช้า และการเก็บค่าบริการไม่ครบถ้วน โดยพิจารณาข้อความเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

- ใครคือกลุ่มเป้าหมาย และกลุ่มเป้าหมายมีลักษณะอย่างไร

ทำให้สามารถระบุกลุ่มเป้าหมายหลักคือเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการ โดยต้องมีการจัดเก็บข้อมูลของลูกค้า และรายละเอียดการ เก็บค่าบริการ เพื่อใช้ในการตรวจสอบ ค้นหา และจัดทำรายงานที่เหมาะสม

- ระบุพฤติกรรมใหม่ที่คาดหวังว่าจะเกิดขึ้นกับกลุ่มเป้าหมายและลูกค้า

โดยคาดหวังว่าระบบที่สร้างขึ้นใหม่ต้องสร้างความสะดวก และความพึงพอใจให้กับเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการ ตลอดจนลูกค้า ที่มารับบริการ

- มีข้อจำกัดในการใช้งานอะไรอยู่บ้าง

จากการศึกษา ทำให้ค้นพบว่า การบันทึกข้อมูลแบบเดิม ไม่ได้ใช้มาตรฐานเดียวกัน ลักษณะการจัดเก็บไม่สอดคล้องกับ การออกแบบฐานข้อมูล ทำให้ไม่สะดวกในการนำไปใช้งานต่อ ทั้งในด้านของการค้นหา และการจัดทำรายงาน

- มีอะไรที่เป็นทางเลือกสำหรับการใช้งานที่มีอยู่บ้าง

ปัจจุบันการกรอกข้อมูลในลักษณะของแบบฟอร์มที่นิยมใช้กันมาก และเจ้าหน้าที่ทุกคนคุ้นเคยคือ Microsoft Excel และการกรอกข้อมูลในแบบฟอร์มออนไลน์อย่างเช่น Google Form และ Google Sheet ดังนั้นถ้าระบบใหม่มีการออกแบบให้อยู่ใน ลักษณะที่ผู้ใช้งานมีความคุ้นเคย ก็จะช่วยให้ระบบมีการยอมรับและผลตอบรับที่ดีตามมาด้วย

- หลักการในการวิเคราะห์และออกแบบระบบ

ต้องออกแบบระบบในลักษณะที่ผู้ใช้งานคุ้นเคย รวมทั้งต้องคิดถึงความยืดหยุ่นในอนาคตด้วย ดังนั้นการใช้งานในลักษณะ ออนไลน์จึงตอบโจทย์สำหรับเรื่องนี้ จึงได้เลือกใช้บริการของ Google เป็นหลัก

- มีช่วงเวลาในการพัฒนาอย่างไร

เนื่องจากระบบจำเป็นต้องใช้งานด่วน จึงมีเวลาพัฒนาน้อย และมีการออกแบบการจัดเก็บข้อมูลไปพร้อมๆ กับการใช้งาน จริง ซึ่ง Google Form ตอบโจทย์ในการนำมาพัฒนาได้เป็นอย่างดี

2.2 ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบ (Design Phase)

ในขั้นตอนของการออกแบบประกอบด้วย การสร้างจุดประสงค์ การกำหนดเครื่องมือการรวบรวมข้อมูล การประเมินผล และการจัดการอบรมการใช้งาน ซึ่งรายละเอียดที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย

- การจำแนกและออกแบบเอกสารที่จำเป็นต้องใช้ในระบบ

- การกำหนดวัตถุประสงค์ที่คาดหวังได้แก่การเก็บรวบรวมข้อมูลลูกค้า ชื่อ, อายุลูกค้า, วันที่ดำเนินการ, ประวัติการชำระ, ช่องทางการชำระเงิน และ ผลการดำเนินการติดตามหนี้ เป็นต้น

- ใช้ภาษา UML ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบใหม่โดยการสร้าง Use case และ Sequence Diagram

- ออกแบบ User interface และ User experiment

การออกแบบอินพุต (Input Design) เป็นการแสดงให้เห็นถึงหน้าจอที่ผู้ใช้งานทำการเก็บข้อมูล เพื่อให้ผู้ใช้งานทำการ รวบรวมข้อมูลได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม ในส่วนของการออกแบบเอาต์พุต (Output Design) เป็นผลลัพธ์ที่ส่งมอบให้แก่ผู้ใช้ ระบบ ประกอบด้วยรายงาน เอกสาร หรือบันทึกข้อความ

- สร้างระบบต้นแบบ

ระบบต้นแบบนี้ใช้ที่บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) จังหวัดสิงห์บุรี เพื่อศึกษาความถูกต้องครบถ้วน และ ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน เพื่อใช้เป็นต้นแบบให้กับที่อื่นต่อไป

2.3 ขั้นที่ 3 การพัฒนา (Development Phase)

เป็นขั้นตอนที่นำเอาแต่ละส่วนที่ออกแบบไว้มาพัฒนา เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่วางไว้ และเมื่อเรียบร้อยแล้วทำการทดสอบระบบเพื่อหาข้อผิดพลาดเพื่อนำผลไปปรับปรุงแก้ไขให้ระบบสมบูรณ์มากขึ้น

2.4 ขั้นที่ 4 การดำเนินการ (Implementation Phase)

เป็นการทดลองให้เจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ ได้ทดลองใช้บริการจริงกับลูกค้า ทั้งในขั้นตอนของการทำแบบสำรวจการชำระเงินของลูกค้าบริษัท NT ให้พนักงานเจ้าหน้าที่ได้ใช้ตามที่หัวหน้างานต้องการและได้ให้พนักงานทุกคนได้ใช้ใน 3 เดือนมีการสืบหน้าของการค้างชำระที่ไม่ได้ชำระมานานได้ชำระกลับมาชำระ พนักงานได้ติดตามหนี้ลูกค้าครบทุกคนและได้มีการสรุปผลที่เห็นได้ชัดว่า 3 เดือนมีใครได้ชำระเงินแล้ว และลูกค้าท่านใดบ้างที่ไม่ชำระ เพราะเหตุผลอะไร ลูกค้าท่านใดมีคุณสมบัติที่จะใช้บริการต่อได้หรือไม่ เพื่อตรวจสอบว่าพนักงานบริษัท NT ใช้งานได้ง่าย มีความเข้าใจ ในการทำงานของ Google sheet เป็นอย่างดีตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้เพียงใด

2.5 ขั้นที่ 5 การประเมินผล (Evaluation Phase)

ขั้นตอนของการประเมินผลประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การประเมินผลรูปแบบ (Formative) และการประเมินผลในภาพรวม (Summative)

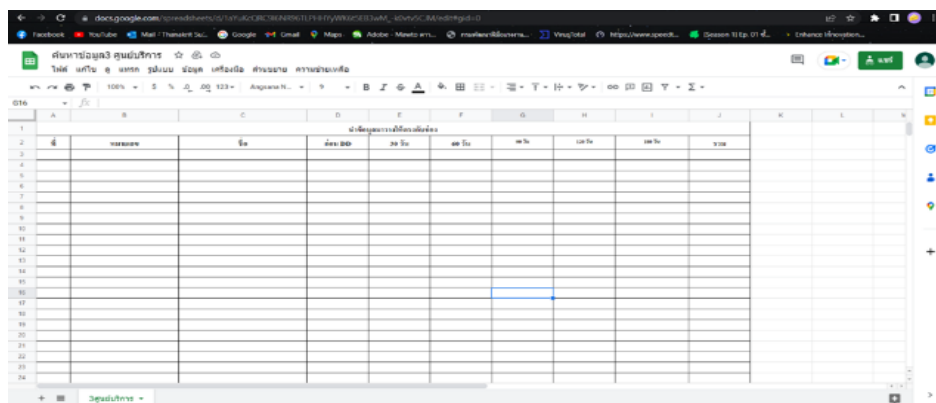
- การประเมินผลรูปแบบ เป็นการตรวจสอบแต่ละขั้นตอนของกระบวนการ ADDIE ในส่วนของการพัฒนา
- การประเมินผลในภาพรวม เป็นการประเมินผลเมื่อเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการลูกค้าได้นำไปใช้จริง เพื่อวัดผลความพึงพอใจ ความถูกต้องครบถ้วนในฟังก์ชันการทำงาน

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ผลการพัฒนาระบบ Google Sheet แบบสำรวจการชำระเงินของลูกค้าบริษัท ไทรคมนาคมแห่งชาติ

ผลการวิจัยพบว่า 1) การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อสำรวจการชำระเงินของลูกค้าบริษัท ไทรคมนาคมแห่งชาติ สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลการให้บริการ การจัดทำรายงานได้เป็นอย่างดีครบถ้วนและใช้งานง่าย 2) การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นมาใหม่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก ($x = 4.55$, S.D. = 0.49) และ 3) ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน มีผลการประเมินด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดีมาก ($x = 4.55$, S.D. = 0.47) และด้านเทคนิคอยู่ในระดับดีมาก ($x = 4.71$, S.D. = 0.44)

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบ Google Sheet แบบสำรวจการชำระเงินของลูกค้าบริษัท ไทรคมนาคมแห่งชาติ ตามขั้นตอนการวิจัยในระยะที่ 1 โดยนำข้อมูลจากการศึกษา และวิเคราะห์มาจัดทำระบบ Google Sheet แบบสำรวจการชำระเงินของลูกค้าบริษัท ไทรคมนาคมแห่งชาติและเครื่องมือของกิจกรรม แสดงดังภาพที่ 1 (Figure 1)



วันที่ชำระ	จำนวนเงิน	สถานะ
25/05/23	2500	ชำระ
26/05/23	3000	ชำระ
27/05/23	1500	ชำระ
28/05/23	2000	ชำระ
29/05/23	1000	ชำระ
30/05/23	1500	ชำระ
31/05/23	2000	ชำระ
01/06/23	1500	ชำระ
02/06/23	2000	ชำระ
03/06/23	1500	ชำระ
04/06/23	2000	ชำระ
05/06/23	1500	ชำระ
06/06/23	2000	ชำระ
07/06/23	1500	ชำระ
08/06/23	2000	ชำระ
09/06/23	1500	ชำระ
10/06/23	2000	ชำระ
11/06/23	1500	ชำระ
12/06/23	2000	ชำระ
13/06/23	1500	ชำระ
14/06/23	2000	ชำระ
15/06/23	1500	ชำระ
16/06/23	2000	ชำระ
17/06/23	1500	ชำระ
18/06/23	2000	ชำระ
19/06/23	1500	ชำระ
20/06/23	2000	ชำระ
21/06/23	1500	ชำระ
22/06/23	2000	ชำระ
23/06/23	1500	ชำระ
24/06/23	2000	ชำระ

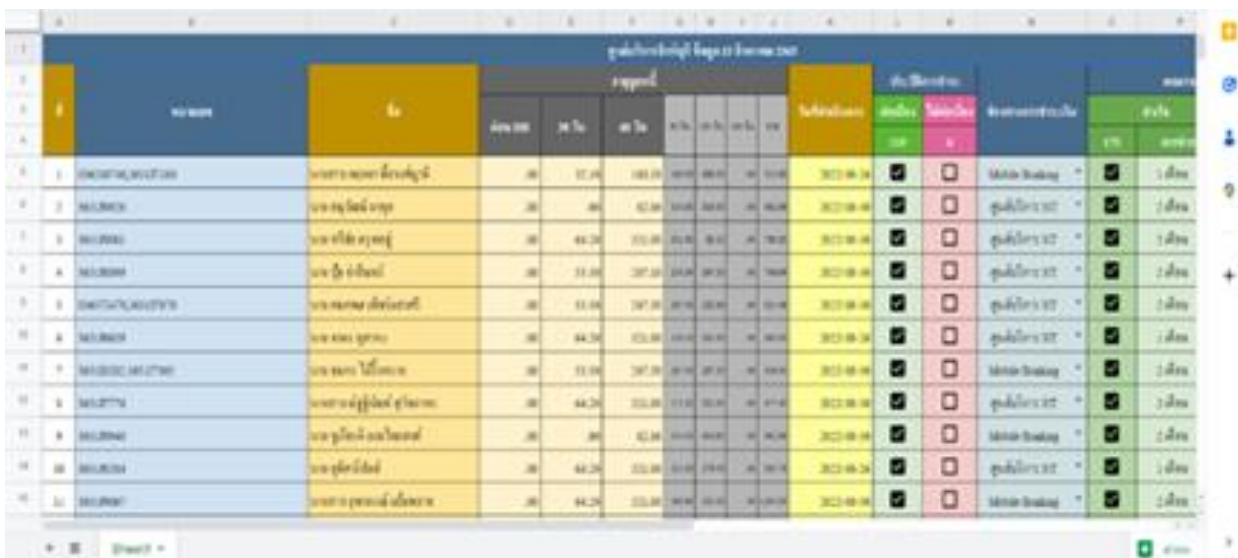
Figure 1 ตารางสำหรับกรอกข้อมูลลูกค้า

จาก Figure 1 ตารางสำหรับกรอกข้อมูลลูกค้า ระบบเว็บไซต์ทำจาก Apps Script เพื่อใช้กับ Google Sheet ในการค้นหารายชื่อของลูกค้า



Figure 2 หน้าแสดงรายชื่อลูกค้า (ลูกหนี้)

จาก Figure 2 ทำการกรอกรหัสลูกค้าที่ต้องการ ระบบก็จะแสดงรหัสลูกค้าที่มีตรงกันทั้งหมด



ลำดับ	หมายเลข	ชื่อ	จำนวนเงิน	สถานะ
1	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ
2	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ
3	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ
4	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ
5	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ
6	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ
7	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ
8	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ
9	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ
10	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ
11	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ
12	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ
13	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ
14	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ
15	0000000000000000	นางสาว นงนุช สิงห์บุรี	100.00	ชำระ

Figure 3 แสดงหน้าข้อมูลความต้องการจากลูกค้า

จาก Figure 3 แสดงหน้าข้อมูลความต้องการจากลูกค้า ทำการสำรวจและบันทึกข้อมูลลูกค้าที่ทำการสอบถามไปลงใน Google Sheet

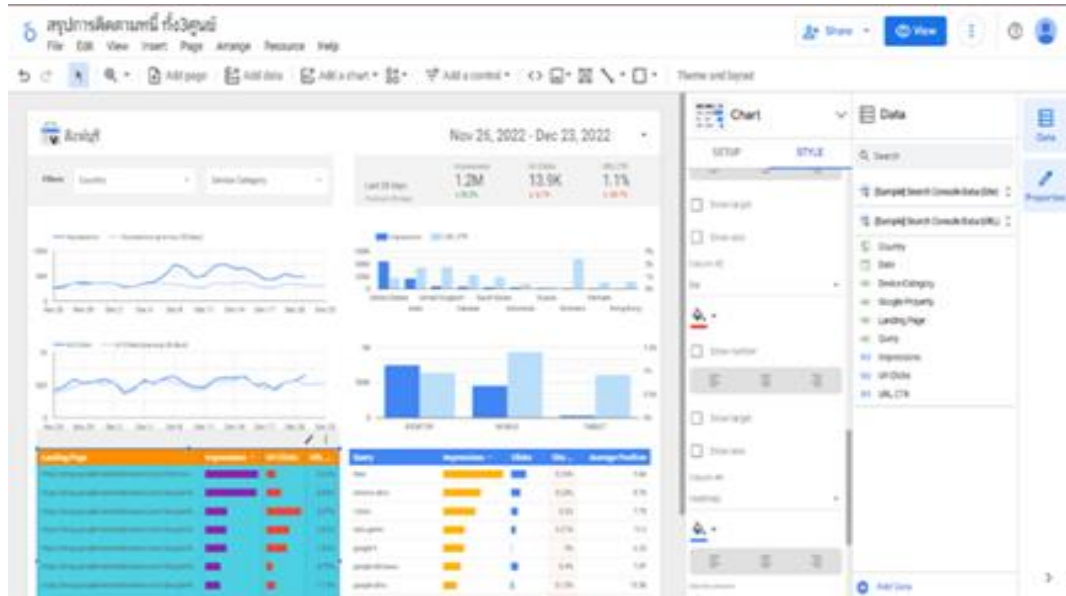


Figure 4 แสดงหน้าสรุปการ pay for service

จาก Figure 4 จะแสดงข้อมูลทั้งหมดที่บันทึกลงใน Google Sheet และสามารถสรุปผลและเรียกข้อมูลมาแสดงแสดงเป็นรายงานได้

ผลการศึกษาพบว่าการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อสำรวจการชำระเงินของลูกค้าบริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลการให้บริการ การจัดทำรายงานได้เป็นอย่างดีครบถ้วนและใช้งานง่าย

การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นมาใหม่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก ($x = 4.55$, S.D. = 0.49) ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน มีผลการประเมินด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดีมาก ($x = 4.55$, S.D. = 0.47) และด้านเทคนิคอยู่ในระดับดีมาก ($x = 4.71$, S.D. = 0.44) ดังภาพที่ 5 (Figure 5) Satisfaction และตารางที่ 1 (Table 1) Google Sheet Survey Evaluation Results on Usability

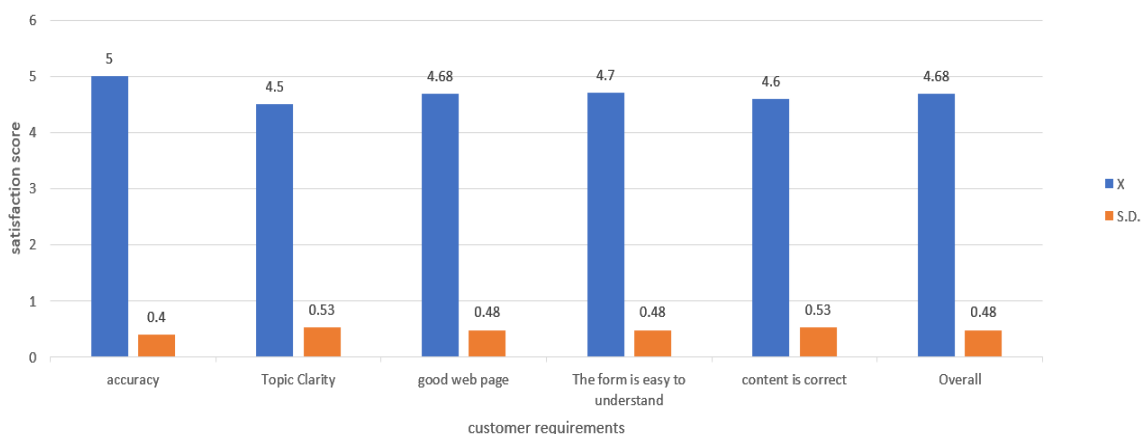


Figure 5 Satisfaction

Table 1 Google Sheet Survey Evaluation Results on Usability

List	\bar{X}	S.D.	opinion level
1. Accuracy and completeness of content	5.00	0.40	very good
2. Clarity on the topic you want to know	4.50	0.53	good
3. Making a Google Sheet page is easy to understand	4.68	0.48	very good
4. The decoration makes the form look easy	4.70	0.48	very good
5. The content meets the requirements completely	4.60	0.53	very good
Overall	4.68	0.48	very good

4. สรุป

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อสำรวจการชำระเงินของลูกค้าบริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลการให้บริการ การจัดทำรายงานได้เป็นอย่างดีครบถ้วนตรงตามวัตถุประสงค์ การใช้งานระบบทำได้ง่าย การวัดประเมินผลความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นมาใหม่อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x} = 4.55$, S.D. = 0.49) และผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน มีผลการประเมินด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x} = 4.55$, S.D. = 0.47) และด้านเทคนิคอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x} = 4.71$, S.D. = 0.44)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ นายวงศ ขวัญเมือง ผู้จัดการฝ่ายสนับสนุน และนายธนกฤต ทรัพย์เจริญ เจ้าหน้าที่พัสดุ/จัดซื้อจัดจ้าง บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือข้อมูลต่าง ๆ จนโครงการฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี ขอขอบพระคุณผู้ปกครองที่ได้มอบความรักความห่วงใย ให้กำลังใจ ให้การสนับสนุนทางการเงิน และขอบคุณผู้ให้ความช่วยเหลืออีกหลายท่านซึ่งไม่สามารถกล่าวนามได้หมด ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] จารุวรรณ เครือตัน (2547). โปรแกรมออนไลน์สำหรับสนับสนุนเลขานุการ สำนักงานอธิการบดี สถาบันราชภัฏลำปาง วิทยาลัยพนธมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- [2] จิรัชยา นครชัย (2553). ระบบจัดการเอกสารอิเล็กทรอนิกส์. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- [3] ชูศรี วงศ์รัตนะ. (2537). เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [4] ดวงพร เกียรติคำ และคณะ (2546). คู่มือการสร้างเว็บไซต์ด้วยตนเอง. กรุงเทพฯ : โปรวิชั่น.
- [5] ทวีศักดิ์ คงตุง และ อนุทิตา เล็กเพชร. (2561). ระบบบริหารงานโรงงานน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงงานเพชรน้ำทิพย์. วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2561) หน้า 148-155.
- [6] ธัญจิรา อยู่เกิด และคณะ (2561). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AR เพื่อนำเสนอสื่อความรู้และวินัยทางจราจร. การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3 หน้า 648-654.
- [7] ธนวัฒน์ สว่างศรี และคณะ (2561). การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้เลี้ยงแพะเนื้อ กรณีศึกษา ต.ศรีประจันต์ จ.สุพรรณบุรี. การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3 หน้า 655-660.
- [8] มหิตสิทธิ์ จักรบาตร. (2565). แนวความคิดการปฐมนิเทศพนักงาน. สืบค้นเมื่อ 13 พฤศจิกายน 2565, จาก <https://www.ntplc.co.th/>
- [9] วรวรรณ พิธากร (2547). การพัฒนาระบบกระแสดังงานและการจัดการเอกสารสำหรับงานติดตามการซ่อมบำรุงเครื่องมือ บริษัทลานนาไทยอิเล็กทรอนิกส์คอมโพเนนท์จำกัด (แอลทีไอซี). วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [10] วรสิทธิ์ คำหมาย และเพ็ญศรี อมรศิลป์ชัย. (2559). การพัฒนาระบบการจัดการเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ ของบริษัทโรงสี-ธัญรุ่งเรืองชัย (ประเทศไทย) จำกัด. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 3 ก้าวสู่ทศวรรษที่ 2: บูรณาการงานวิจัย ใช้องค์ความรู้ สู่ความยั่งยืน. 17 มิถุนายน 2559. วิทยาลัยนครราชสีมา, นครราชสีมา. หน้า 38 - 45.
- [11] ศิริรัตน์ ตรังวัฒนาวุฒิ (2550). การพัฒนาระบบการจัดการเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. การค้นคว้าแบบอิสระ. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [12] Pornthep Khetrum. (2562). Google Looker. สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2565, จาก <https://googleanalyticsthailand.com>

ห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขน A virtual exhibition room to show the evolution of Khon

ทวีศักดิ์ คงตุ๊ก^{1*}, อนูทิตา เล็กเพชร¹, ปิยฉัตร มะลิตทอง¹ และ ชลธิชา ไผ่พงษ์¹
Thaweesak Khongtuk^{1*}, Anutita Lekpech¹, Piyachat Malithong¹ and Chonthicha Phaipong¹

¹สาขาวิชาระบบสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

^{1*}Business Administration and Information Technology, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Suphanburi Campus

*Corresponding author: thaweesak.k@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษารวบรวมข้อมูลเรื่องวิวัฒนาการของโขนของโรงละครแห่งชาติภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี (2) เพื่อออกแบบสร้างห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขนโรงละครแห่งชาติภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี (3) เพื่อหาความพึงพอใจต่อการชมห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขนที่พัฒนาขึ้นโดยมีกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการหาคุณภาพ และหาความพึงพอใจต่อการชมสื่อมัลติมีเดียในครั้งนี้ คือ ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิค จำนวน 2 ท่าน และกลุ่มบุคคลทั่วไป จำนวน 20 ท่าน โดยเครื่องมือที่ใช้มีดังนี้ (1) ห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อการแสดงวิวัฒนาการของโขน (2) แบบสอบถามในด้านเนื้อหาและการนำเสนอ ซึ่งมีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

คำสำคัญ: ห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริง, เมตาเวิร์ด, โขน, โรงละคร

Abstract

The objectives of this research are (1) to study and collect data on the evolution of the Khon of the Western National Theater. Suphan Buri Province (2) to design and build a virtual exhibition room to show the evolution of Khon, the Western National Theater Suphanburi Province. (3) To find the satisfaction of visiting the virtual exhibition room to show the evolution of Khon developed by the target group used to find quality. And find satisfaction in watching multimedia media this time, namely 2 technical experts and 20 general people. The tools used are as follows. (1) a virtual exhibition room for showing the evolution of Khon (2) a questionnaire on content and presentation Data were analyzed using mean (\bar{x}) and standard deviation (S.D.).

Keywords: virtual exhibition, metaverse, pantomime, theater

1. บทนำ

โรงละครแห่งชาติภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี [6] ถูกจัดตั้งขึ้นมาตามแผนพัฒนาการศึกษาและวัฒนธรรม ในปี พ.ศ. 2536 - 2542 ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของศูนย์ศิลปวัฒนธรรมภาคตะวันตกจังหวัดสุพรรณบุรี ที่จัดตั้งขึ้นตามโครงการพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติประจำเมืองสนองแนวพระราชดำริของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี โดยศูนย์ศิลปวัฒนธรรม ภาคตะวันตกจังหวัดสุพรรณบุรีประกอบไปด้วย วิทยาลัยนาฏศิลป์สุพรรณบุรี พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติสุพรรณบุรี หอจดหมายเหตุแห่งชาติ จังหวัดสุพรรณบุรี หอสมุดแห่งชาติ จังหวัดสุพรรณบุรี เฉลิมพระเกียรติ และโรงละครแห่งชาติภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี โดยสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าเสด็จพระราชดำเนิน ทรงเปิดโรงละครแห่งชาติภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี เมื่อวันที่ 4 กันยายน 2543 และมีการแสดงรอบปฐมทัศน์ ในวันจันทร์ที่ 3 มีนาคม 2544 และเสด็จพระราชดำเนินทรงเปิดหอสมุดแห่งชาติจังหวัดสุพรรณบุรี เฉลิมพระเกียรติ หอจดหมายเหตุแห่งชาติ จังหวัดสุพรรณบุรี พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ สุพรรณบุรี เมื่อวันที่ 1 กันยายน 2546 ปัจจุบันมี นายเอนก อาจมังก เป็นผู้อำนวยการสำนัก และ นายนิรันดร์ ใจชนะ เป็นหัวหน้ากลุ่มโรงละครแห่งชาติ ซึ่งโรงละครแห่งชาติปัจจุบันมีอยู่รวมทั้งหมดจำนวน 3 แห่ง โดยอยู่ในส่วนกลาง 1 แห่ง ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร และอยู่ในส่วนภูมิภาค 2 แห่ง ที่จังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดนครราชสีมา โดยมีฐานะเป็นฝ่ายในสังกัดโรงละครแห่งชาติ โรงละครแห่งชาติภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นโรงละครแห่งชาติในส่วนภูมิภาค ขนาด 819 ที่นั่ง ซึ่งกำหนดให้สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นที่จัดกิจกรรมเพื่อเพิ่มพูนประสบการณ์ด้านการแสดง ให้บริการทางวิชาการด้านนาฏศิลป์ ดนตรี รวมทั้งเป็นสถานที่จัดกิจกรรมเพื่อเผยแพร่และแลกเปลี่ยนศิลปวัฒนธรรมระหว่างชาติ ประจำภาคตะวันตก ปัจจุบันมี นายวิรัตน์ คำแข็งชา เป็นหัวหน้าโรงละครแห่งชาติภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี

โขน เป็นศิลปะการแสดงชั้นสูงของไทยที่มีความสง่างาม อลังการและอ่อนช้อย การแสดงประเภทหนึ่งที่ใช้ทำรำตามแบบละครใน แตกต่างเพียงทำรำที่มีการเพิ่มตัวแสดง เปลี่ยนทำนองเพลงที่ใช้ในการดำเนินเรื่องไม่เหมือนกับละคร แสดงเป็นเรื่องราวโดยลำดับก่อนหลังเหมือนละครทุกประการ ซึ่งไม่เรียกการแสดงเหล่านี้ว่าละครแต่เรียกว่าโขนแทน มีประวัติยาวนานตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยา [6] จากหลักฐานจดหมายเหตุลาลูแบร์ เอกอัครราชทูตฝรั่งเศสในสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช ได้มีการกล่าวถึงการแสดงโขนว่า เป็นการเต้นออกท่าทาง ประกอบกับเสียงขอและเครื่องดนตรีประเภทต่าง ๆ ผู้แสดงจะสวมหน้ากากปิดบังใบหน้าตนเองและถืออาวุธ โขนเป็นจุดศูนย์รวมของศาสตร์และศิลป์หลากหลายแขนงเช่น วรรณกรรม วรรณศิลป์ นาฏศิลป์ คีตศิลป์ หัตถศิลป์ โดยนำเอาวิถีเล่นและการแต่งตัวบางชนิดมาจากการเล่นชกนาคคึกคักตาบรพ มีท่าทางการต่อสู้ที่โลดโผน ทำท่า ทำเต้นเช่น ท่าปฐมในการไหว้ครูของกระบี่กระบอง รวมทั้งการนำศิลปะการพากย์ การเจรจา หน้าพาทย์และเพลงดนตรีเข้ามาประกอบการแสดง ในการแสดงโขน ลักษณะสำคัญอยู่ที่ผู้แสดงต้องสวมหัวโขน ซึ่งเป็นเครื่องสวมครอบหุ้มตั้งแต่ศีรษะถึงคอ เจาะรูสองรูบริเวณดวงตาให้สามารถมองเห็น แสดงอารมณ์ผ่านทางกรรไกร ร่ายรำ สร้างตามลักษณะของตัวละครนั้น ๆ เช่น ตัวยักษ์ ตัวลิง ตัวเทวดา ฯลฯ ตกแต่งด้วยสี ละครปิดทอง ประดับกระจก บ้างก็เรียกว่าหน้าโขน

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AR เพื่อนำเสนอสื่อความรู้และวินัยทางจราจร [1] เป็นงานวิจัยที่นำเอาเทคโนโลยี Augmented Reality มาประยุกต์ใช้ในการนำเสนอสื่อความรู้เกี่ยวกับวินัยทางจราจร ซึ่งช่วยให้ผู้ที่ต้องการศึกษาเรื่องนี้ได้เพลิดเพลิน และสนุกไปกับการเรียนรู้สื่อดังกล่าวผ่านทางหน้าจอสมาร์ตโฟน ผลการวิจัยสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้ในระดับดีมาก แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม Augmented Reality มาประยุกต์ใช้งาน [3][4] มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ทั้งในวงการของการศึกษา การท่องเที่ยว การทำงานและอุตสาหกรรมต่างๆ ช่วยเพิ่มประสบการณ์และความน่าสนใจในการเรียนรู้ เพียงแต่มีอุปกรณ์สมาร์ตโฟน และมีอินเทอร์เน็ต ก็สามารถเรียนรู้ได้ทุกที่ทุกเวลาที่ต้องการ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้สำรวจความต้องการของการนำเอาศิลปะการแสดงโขนมาแสดงผ่านสื่อเสมือนจริง เพื่อให้ทันสมัยและเป็นที่ยอมรับแพร่หลายมากขึ้น ไม่ใช่เฉพาะในประเทศไทย แต่ต้องการให้เป็นที่รู้จักทั่วโลก งานวิจัยนี้จึงได้นำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่ อย่างเมตาเวิร์สมาที่เป็นการต่อยอดจากการนำเอาเทคโนโลยีเสมือนจริง AR มาใช้เป็นช่องทางสำหรับการนำเสนอและเผยแพร่เรื่องราวศิลปะของโขนออกไปให้มากขึ้นเพราะเป็นสื่อที่สามารถเข้าถึงได้ทั่วโลก เพียงมีสมาร์ตโฟน แท็บเล็ตหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ในการเข้าไปศึกษาใช้งานได้

2. วิธีการศึกษา

2.1 ศึกษาขั้นตอนการออกแบบห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขน

2.1.1 การวางแผน (Planning)

ในกระบวนการพัฒนาห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริง ขั้นตอนการวางแผนเป็นขั้นตอนที่สำคัญอย่างหนึ่ง เพราะเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์และกำหนดแผนปฏิบัติงาน หากวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องไม่ชัดเจน ไม่สมบูรณ์ จะส่งหรือผลให้การออกแบบการนำเสนอห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงไม่สอดคล้องกับกลุ่มเป้าหมาย หรือวัตถุประสงค์และทำให้ห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงที่สร้างขึ้นไม่มีประสิทธิภาพที่จะนำไปใช้งานได้

2.1.2 การออกแบบ (Desing)

ขั้นตอนการออกแบบนี้เป็นขั้นตอนที่ต้องจัดวางออกแบบเนื้อหาของเรื่องให้เหมาะสมตามลำดับเรื่องราว เป็นการเขียน Storyboard เพื่อออกแบบห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงให้เข้าใจได้ง่ายและดึงดูดความสนใจของผู้ชม

2.1.3 การสร้างสื่อภาพเสมือนจริง (Creating media)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำชิ้นงานที่ได้ออกแบบไว้ นำมารวบรวมจัดการประมวลผลให้กลายเป็นห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงโดยผู้จัดทำได้เลือกใช้เว็บไซต์ Metaverse เพราะสามารถนำเสนอในรูปแบบของภาพ ข้อความ และวิดีโอได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2.1.4 การนำเสนอ (Presentation)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงที่ได้สร้างขึ้นมานำเสนอกับผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิค และกลุ่มบุคคลทั่วไป เพื่อหาคุณภาพที่ได้พัฒนาและหาความพึงพอใจต่อการชม

2.1.5 การประเมินและแก้ไข (Evaluation and Revise)

การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิคและกลุ่มบุคคลทั่วไปที่ได้ชมห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขน โดยเฉพาะในส่วนของการนำเสนอและการนำเสนอนั้น จึงนำจุดบกพร่องต่าง ๆ นั้นกลับมาแก้ไข

2.2 การศึกษาข้อมูลด้านโขนและการพัฒนาสื่อในเมตาเวิร์ส

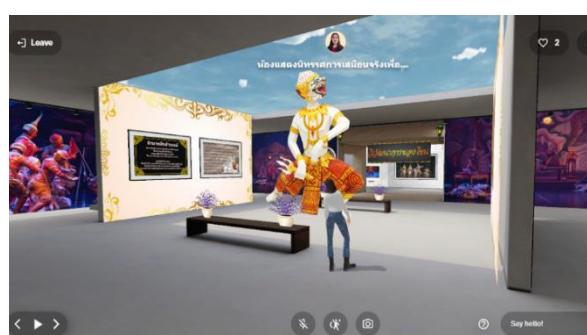
โรงละครแห่งชาติภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นหน่วยงานภาครัฐด้านการให้บริการทางวิชาการด้านนาฏศิลป์ ดนตรี ที่ยังคงนำเสนอในรูปแบบเดิมอยู่คือในรูปแบบสิ่งพิมพ์ เช่น เอกสาร แผ่นพับ ใบปลิว จะมีแค่ในวันที่มีการแสดงละครหรือส่งไปรษณีย์ไปให้ตามสถานที่ราชการในที่ต่าง ๆ ก่อนวันที่มีการแสดงโดยส่วนมากจะไม่ค่อยมีผู้คนสนใจ

ซึ่งในปัจจุบันนี้งานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำเนินชีวิตของมนุษย์อำนวยความสะดวกสบายมากขึ้น ผู้จัดทำจึงได้นำเทคโนโลยีสารสนเทศนี้มาช่วยเสริมสร้างและพัฒนาในด้านการให้ข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับโรงละครแห่งชาติภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี ให้แก่ผู้ที่อยากชมการแสดงห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขน ซึ่งจะช่วยกระตุ้นความสนใจได้ดีเพราะมีรูปภาพ ข้อความ และวิดีโอจะทำให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยจัดเป็นห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขน โรงละครแห่งชาติภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี จึงได้มีการวิเคราะห์ระบบงานปัจจุบันเพื่อที่จะทำการพัฒนาระบบงานใหม่ให้ดียิ่งขึ้น

Figure 1 Represented by a pantomime picture.



Figure 2 Shows using the Metaverse program.



หลังจากพัฒนาห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขนเรียบร้อยแล้ว จึงนำสื่อเสมือนจริงที่ได้นำเสนอผ่านทางเว็บไซต์ของเว็บทำกรมศิลปากร หมวดนิทรรศการ โรงละครแห่งชาติภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี

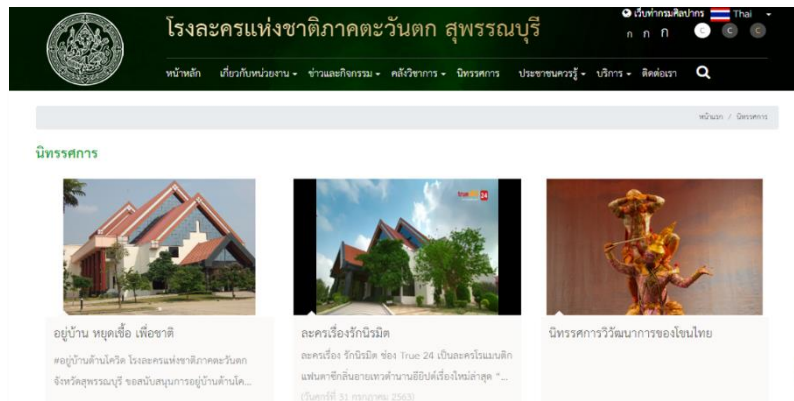


Figure 3 Presents the metaverse evolution of pantomime on the website.

2.2.2 ออกแบบและพัฒนาแบบประเมินประสิทธิภาพของห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขน โดยผู้เชี่ยวชาญ เก็บข้อมูลด้วยแบบประเมินด้านเนื้อหา และด้านเทคนิค

2.2.3 ออกแบบและพัฒนาแบบประเมินความพึงพอใจห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขน โดยกลุ่มตัวอย่าง

2.3 เก็บรวบรวมข้อมูล

2.3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ประชาชนที่เข้าชมการแสดงของโรงละครแห่งชาติตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี
กลุ่มตัวอย่าง คัดเลือกผู้เข้าชมการแสดงที่โรงละครแห่งชาติตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี จำนวน 20 คน ใช้เทคนิคในการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย และใช้วิธีคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญแบบเฉพาะเจาะจงเพื่อประเมินประสิทธิภาพของสื่อ จำนวน 3 ท่าน

2.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

2.3.1.1 แบบประเมินประสิทธิภาพของห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขน โดยผู้เชี่ยวชาญ

2.3.1.2 แบบประเมินความพึงพอใจแบบประเมินประสิทธิภาพของห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขน โดยกลุ่มตัวอย่าง

2.4 วิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิจัย คือ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [2] โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 – 5.00 หมายความว่า ระดับมากที่สุด
- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.50 – 4.49 หมายความว่า ระดับมาก
- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.50 – 3.49 หมายความว่า ระดับปานกลาง
- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.50 – 2.49 หมายความว่า ระดับน้อย
- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.49 หมายความว่า ระดับน้อยที่สุด

3. ผลการศึกษา

3.1 ผลการศึกษาและพัฒนาห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขนผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาและพัฒนาห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขนพบว่า สามารถใช้งานได้จริง แสดงผลภาพวิวัฒนาการของโขนเสมือนจริงในรูปแบบ Metaverse ให้ความรู้สึกเหมือนกับได้ไปอยู่ในสถานที่นั้นจริงโดยในการเข้าชมแต่ละสถานที่ยังมีข้อมูลเพิ่มเติมที่ผู้ใช้สามารถทำได้ง่ายเสมือนจริง ได้ เช่น การแสดงข้อมูลประวัติความเป็นมา การแสดงภาพและวิดีโอวิวัฒนาการของโขนเสมือนจริงดัง Figure 4 – 6

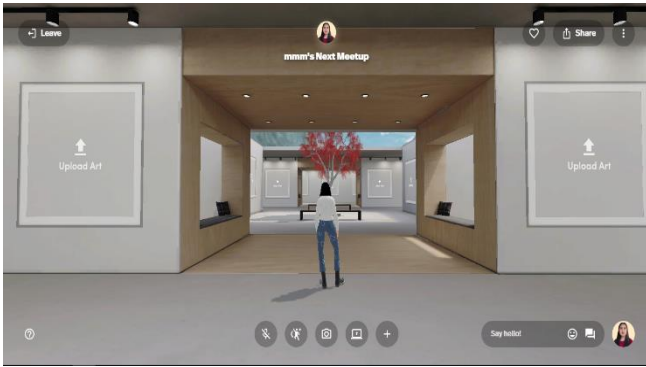


Figure 4 Show availability

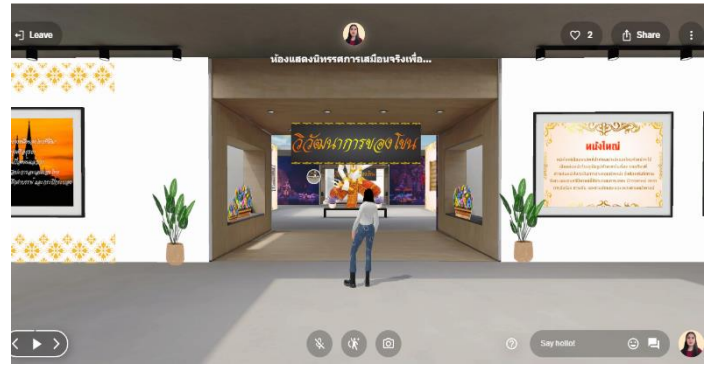


Figure 5 Shows a picture in front of the Khon evolution exhibition room.

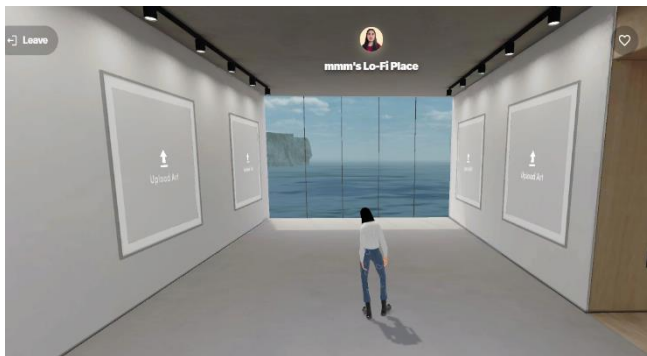


Figure 6 Show availability



Figure 7 Shows text and images of the evolution of Khon.

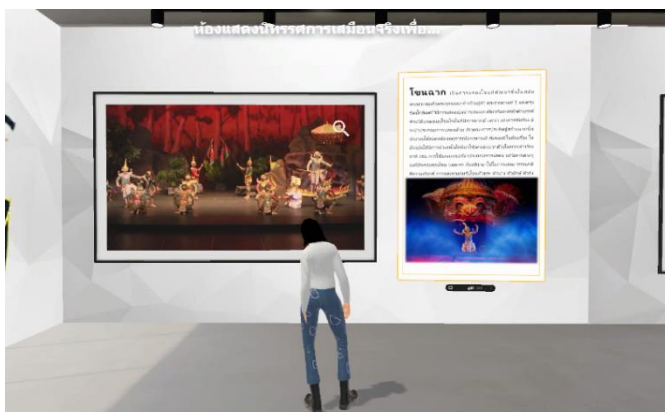


Figure 8 show the history of pantomime

Figure 9 Shows a video of the evolution of Khon.

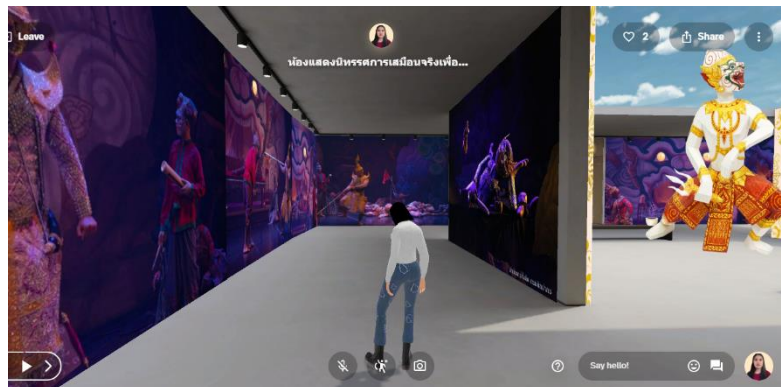


Figure 10 show the creation of a virtual exhibition room

3.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขนผู้วิจัยดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขนที่พัฒนาขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ประเมินด้านเนื้อหาและด้านเทคนิค จากนั้นนำผลการประเมินมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดัง Table 1 และ Table 2

Table 1 แสดงผลการประเมินหาคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิค ที่มีต่อการพัฒนาห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขน ด้านการนำเสนอ

ด้านการประเมิน	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	S.D.	ความหมาย
1. มีความชัดเจนของภาพ เสียง และตัวอักษร	4.33	0.58	ดี
2. มีการดำเนินเรื่องต่อเนื่องเหมาะสมกับเวลา	4.33	0.58	ดี
3. การจัดวางองค์ประกอบเหมาะสม	4.33	0.58	ดี
4. เสียงที่ใช้ในการบรรยายและเสียงประกอบ ในวิดีโอมีความเหมาะสม กระตุ้นให้เกิด ความน่าสนใจและน่าติดตาม	4.33	0.58	ดี
5. รูปแบบตัวอักษร ขนาด และสีตัวอักษรมีความชัดเจนอ่าน ง่าย	5.00	0.00	ดีมาก
เฉลี่ย	4.47	0.46	ดี

จากการสรุปผลแบบประเมิน จาก Table 1 แสดงผลการประเมินหาคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิค ที่มีต่อการพัฒนาห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโขน ด้านการนำเสนอ โดยมีค่าเฉลี่ย (\bar{X}) เท่ากับ 4.47 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.46 มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี

Table 2 แสดงผลการประเมินหาความพึงพอใจของกลุ่มบุคคลทั่วไปที่มีต่อการพัฒนาห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโซน ด้านเนื้อหา

ด้านการประเมิน	ค่าเฉลี่ย (\bar{x})	S.D.	ความหมาย
1. เนื้อหา มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของโครงการ	4.85	0.37	ดีมาก
2. เนื้อหา มีความชัดเจน เข้าใจได้ง่าย	4.60	0.50	ดีมาก
3. เนื้อหา ในวิดีโอที่ทำไม่ยากหรือง่ายเกินไป	4.40	0.60	ดี
4. การจัดลำดับเนื้อหาเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เข้าใจได้ง่าย	4.70	0.47	ดีมาก
5. เนื้อหา มีสาระและประโยชน์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ในชีวิตประจำวัน	4.40	0.68	ดี
เฉลี่ย	4.59	0.52	ดีมาก

จากการสรุปผลแบบประเมินสื่อมัลติมีเดีย จาก Table 2 แสดงผลการประเมินหาความพึงพอใจของกลุ่มบุคคลทั่วไปที่มีต่อการพัฒนาห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโซน ด้านเนื้อหา

โดยมีค่าเฉลี่ย (\bar{x}) เท่ากับ 4.59 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.52 มีความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ดีมาก

4. สรุป

ผลการดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโซน โรงละครแห่งชาติภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้หลักการจัดห้องแสดงนิทรรศการ สร้างจาก Metaverse เป็นการสร้างโลกเสมือนจริงบนเว็บไซต์ การตัดต่อวิดีโอโปรแกรม Adobe Premiere Pro 2020 การตัดต่อรูปภาพโดยใช้โปรแกรม Adobe Photoshop 2020 ที่เหมาะสมนำมาพัฒนาห้องแสดงนิทรรศการเสมือนจริงเพื่อแสดงวิวัฒนาการของโซนเรื่องนี้ ทำการสร้างภาพ ข้อความ วิดีโอและทรัพยากรที่ผสมผสานเข้ากันได้เป็นอย่างดีเหมาะสม มีการใส่สีให้เกิดความสวยงามทั้งฉาก ข้อความ และตัวการ์ตูน และวิดีโอมีการใส่เสียงพากย์และบรรยายที่เกิดขึ้นในการดำเนินเรื่องในรูปแบบของการนำเสนอ เพื่อให้ผู้ชมได้รรถรสในการเข้าชมทำให้ผู้เข้าชมมีจิตสำนึกในการอนุรักษ์ศิลปวัฒนธรรมไทย ซึ่งเหมาะสมสำหรับทุกเพศทุกวัย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยการสนับสนุน และความช่วยเหลืออย่างดีจากเจ้าหน้าที่โรงละครแห่งชาติภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดสุพรรณบุรี ที่ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ธัญจิรา อยู่เกิด และคณะ (2561). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AR เพื่อนำเสนอสื่อความรู้และวินัยทางจราจร. การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3 หน้า 648-654.
- [2] ธนวัฒน์ สว่างศรี และคณะ (2561). การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้เลี้ยงแพะเนื้อ กรณีศึกษา ต.ศรีประจันต์ จ.สุพรรณบุรี. การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3 หน้า 655-660.
- [3] ดุสิต ขาวเหลือง และอภิชาติ อนุกุลเวช. (2561). แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม Augmented Reality สืบค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2565 จาก https://dspace.lib.buu.ac.th/bitstream/1234567890/3742/3/2563_232.pdf
- [4] SUCHADA SANGSAW (2563) แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality : VR) สืบค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2565 จาก http://dspace.bu.ac.th/bitstream/123456789/4937/1/suchada_sang.pdf
- [5] มาร์ก ซักเคอร์เบิร์ก ซีอีโอเฟซบุ๊ก (2564) Metaverse โลกเสมือนแห่งอนาคต สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2565 จาก <https://www.nectec.or.th/news/news-article/9about-metaverse.html#:text=Metaverse>
- [6] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2560) ประวัติความเป็นมาของโรงละครแห่งชาติภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี 20 กันยายน 2565 จาก https://th.wikipedia.org/wiki/โรงละครแห่งชาติภาคตะวันตก_จังหวัดสุพรรณบุรี

การออกแบบเตาเผาชีวมวลระบบหมุนเวียนก๊าซร้อนเพื่อลดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM 2.5)
A Design of Biomass Incinerator with Hot Air Circulation System to Reduce Small
Particulate Matter (PM 2.5)

สกุลรัตน์ สุทธิประภา^{1*} นันทิรา วรกาญจนบุญ¹ อติตยา พุ่มกระจับ¹ ปราณณา เชื้อบำรุง นันธิยา จันสนิ¹
ทองพูล นายกชน¹ และพงษ์รพี คำจันทร์¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ

E-mail: sakulrat.sua@svit.ac.th*

Sakulrat Sutthiprapa^{1*}, Nantira Vorakarnchanabun¹, Atitaya Pumkraja¹, Prathana Bumrungchue¹,
Nanthiya Chansani¹, Thongphun Nayokchon¹ and Pongrapee Khamchan¹

¹ Department of Safety Engineering, Faculty of Engineering Science and Technology,
Suvarnabhumi Institute of Technology

*Corresponding author: Sakulrat Sutthiprapa, e-mail address: sakulrat.sua@svit.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบเตาเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน เพื่อลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน (PM 2.5) สามารถผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ โดยการทดสอบครั้งใช้ชีวมวล คือ ไม้ยางพารา 117 กิโลกรัม นำมาเผาในเตา 200 ลิตร ผลการทดสอบพบว่า ได้ถ่านบริสุทธิ์ จำนวน 22 กิโลกรัม และน้ำส้มควันไม้ 50 ลิตร เตาเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ และ PM 2.5 มีค่าเท่ากับ 419.38 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) และ 51.27 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (µg/m³) ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซ CO₂ และ PM 2.5 ของเตาเผาแบบดั้งเดิมเปรียบเทียบกับได้ 775.79 ppm และ 859.29 µg/m³ ตามลำดับ เตาเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน มีประสิทธิภาพในการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ อีกทั้งสร้างมูลค่าเพิ่มได้มากกว่าเตาเผาที่ไม่มีระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน

คำสำคัญ: เตาเผาชีวมวล, ไม้ยางพารา, น้ำส้มควันไม้, มลพิษทางอากาศ และขยะจากการเกษตร

Abstract

This research aims to design a biomass incinerator with a hot gas recirculation system. To reduce carbon dioxide, particulate matter with a diameter of less than 2.5 microns (PM 2.5) can be used, which can produce charcoal and pyrolygneous acid. In this test, 117 kilograms of rubber wood were used as biomass. The result found that 22 kilograms of pure charcoal and 50 liters of pyrolygneous acid were obtained. CO₂ gas and PM 2.5 concentrations from the biomass incinerator with a hot gas circulation system were 419.38 ppm and 51.27 µg/m³, respectively. The average CO₂ and PM 2.5 concentrations of the traditional incinerator were comparable, at 775.79 ppm and 859.29 µg/m³, respectively. A biomass incinerator with a hot gas circulation system is efficient at producing charcoal and wood vinegar. It also generates more trade value than a kiln without a hot gas circulation system.

Keywords: Biomass Incinerator, rubber wood, Pyrolygneous acid, Air Pollution, Agricultural Waste

1. บทนำ

เนื่องจากที่ผ่านมาเกษตรกรในประเทศไทยมีการนำขยะจากการเกษตรมาเผา เพื่อกำจัดหรือเผาเพื่อเพิ่มมูลค่าจากขยะทางการเกษตร เช่น การเผาขยะชีวมวลในที่แจ้ง การเผาทำถ่านโดยใช้เตาแบบดั้งเดิมที่ไม่มีประสิทธิภาพ การเผาโดยที่มีข้อจำกัดในเรื่องการลดควัน เป็นต้น เตาเผาที่เกษตรกรใช้เป็นเตาที่ไม่มีประสิทธิภาพในการลดควันและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและมีผลกระทบต่อสุขภาพของคนในชุมชนโดยรอบและตัวของเกษตรกรเอง โดยควันประกอบไปด้วย ฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน (PM 2.5) ฝุ่นละอองขนาดใหญ่มากกว่าหือเท่ากับ 10 ไมครอน (PM 10) และก๊าซต่างๆ ฝุ่นละอองขนาดใหญ่จะติดอยู่ที่จมูก และปากเท่านั้น ไม่ได้เข้าถึงหลอดลมและปอด ทำให้เสี่ยงต่อโรค ระบบหัวใจและหลอดเลือด โรคระบบทางเดินหายใจ โรคผิวหนัง เยื่อตาอักเสบ PM 2.5 สามารถเข้าสู่ร่างกายทางเดินหายใจ เข้าสู่หลอดลมและปอด และเข้าสู่กระแสเลือด ทำให้เสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดในสมอง โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคหัวใจขาดเลือด มะเร็งปอด โรคติดเชื้อเฉียบพลันของระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง [1] ควันสามารถลอยอยู่ในอากาศได้เป็นวันถึงหลายสัปดาห์และลอยไปไกลจากแหล่งกำเนิดได้ถึง 100-1,000 กิโลเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อระยะทางและเวลา และเมื่อ PM 2.5 มีการแพร่กระจายเข้าสู่ทางเดินหายใจ กระแสเลือด และแทรกซึมสู่วัยยะต่างๆของร่างกาย จึงเป็นการเพิ่มความเสี่ยงทำให้เกิดการเป็นโรคเรื้อรังและมะเร็งได้ ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากควันจะทำให้มีอาการในทางเดินหายใจมากขึ้นแล้ว ในการรับสัมผัสควันไฟ จะทำให้เกิดโรคร้ายแรงหลายชนิด ได้แก่ โรคติดเชื้อในทางเดินหายใจชนิดเฉียบพลันในเด็ก โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) โรคต่อกระดูก โรคมะเร็งปากมดลูก โรคหอบหืด โรคหัวใจ และวัณโรค เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาได้ถูกปล่อยออกมาจะมีผลกระทบต่อภาวะก๊าซเรือนกระจกและภาวะโลกร้อน (สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2565)

จากสถิติในปี พ.ศ. 2564 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผ่านมามีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เฉลี่ยทั้งปีประมาณ 2,300.19 KgCO₂ [2] (โครงการสำนักงานสีเขียว, 2565) ในปี พ.ศ.2564 ที่ผ่านมามีรายงานการปล่อยควันที่ทำให้เกิดฝุ่น PM 2.5 โดยความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีของแต่ละจังหวัดมีค่าระหว่าง 12.7 ถึง 31.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่เมื่อคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อปีของ PM 2.5 ที่ถ่วงน้ำหนักตามจำนวนประชากรทั้งหมด หรือคือปริมาณการได้รับสัมผัสเฉลี่ยต่อประชากรจะอยู่ที่ 21.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงกว่าค่าความเข้มข้นตามคำแนะนำคุณภาพอากาศโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) ถึงสี่เท่า (มูลนิธินิติธรรมสิ่งแวดล้อม มูลนิธิบูรณะนิเวศ และกรีนพีซ ประเทศไทย, 2564)

โดยปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีเตาเผาถ่าน คือ เตาดินเหนียวซึ่งการลงทุนก่อสร้างต่ำมากหรือไม่มีความคุ้มค่าเลยก็ได้ การก่อสร้างก็ใช้ดินเหนียวก่อ ซึ่งดินเหนียวหาได้ตามพื้นที่ต่างๆ ได้ตลอด คุณภาพถ่านที่ได้ก็ถือว่าคุณภาพดี แต่การสูญเสียจะมากกว่าเตาแบบอื่น เตาอิฐก่อ ซึ่งส่วนมากก่อสร้างเตาลักษณะนี้เพื่องานอุตสาหกรรม เป็นส่วนมากเนื่องจากว่า ผลิตถ่านได้ออกมาต่อการเปิดเตา 1 ครั้งได้จำนวนถ่านมากกว่าเตาดินธรรมดา การลงทุนก่อสร้าง จะสูงกว่าเตาดินเหนียวเนื่องจากว่าต้องใช้อิฐก่อเป็นรูปเตา หลังจากนั้นก็ต้องใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสานก้อนอิฐให้ติดกันเป็นรูปทรงของเตา การก่อสร้างเตาอิฐก่อไม่ใช้ปูนซีเมนต์เนื่องจากว่าสัมผัสประสิทธิภาพการขยายตัวของอิฐกับปูนไม่เท่ากันเมื่อเตาร้อน จะทำให้เตาเผาถ่านแตกหรือว่าร้าวได้ ถ้าหากว่าเราใช้ดินเหนียวแทนปูนการขยายตัวก็จะน้อย รอยร้าว รอยแตกของเตาก็จะน้อย และอายุการใช้งานของเตามีเวลานาน , เตาอิฐเตาแบบของเตาลักษณะนี้เป็นการนำต้นแบบมาจากประเทศญี่ปุ่น เนื่องจากประเทศญี่ปุ่นเป็นเจ้าของเทคโนโลยีของการผลิตถ่าน ดังนั้นเตารูปทรงนี้เป็นรูปแบบที่พัฒนาจากเตาดิน และเตาอิฐ ให้ผลผลิตถ่านออกมาได้คุณภาพดี ผลผลิตถ่านได้ปริมาณมาก ได้น้ำส้มควันไม้ออกมาเยอะ แต่การลงทุนก่อสร้างจะสูงกว่าเตาดินและเตาอิฐก่อ เนื่องจากว่าอิฐที่ใช้ก่อมีปริมาณ มากกว่า และการก่อสร้างยุ่งยากมาก ซึ่งต้องให้ผู้มีความรู้หรือว่า มีความชำนาญในการก่อสร้างเป็นคนทำ เตาที่สร้างได้ถึงจะมีคุณภาพดี เทคโนโลยีเตาเผาที่มีข้อจำกัดต้องมีระบบบำบัดมลพิษทางอากาศต้องมีผู้ดูแลที่มีความรู้ความชำนาญเพราะใช้เทคโนโลยีในการดำเนินการ ราคาลงทุนและดำเนินการสูงมีการลงทุนค่อนข้างสูงการควบคุมระบบมีความซับซ้อนและยุ่งยาก

เตาเผาชีวมวลลดมลพิษมีความซับซ้อนน้อยกว่าเทคโนโลยีเตาเผาอื่นๆ [3] เป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับใช้ในชุมชนหรือตามบ้านเรือน สามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และลดควันได้เยอะกว่าการเผาขยะกลางแจ้งหรือเตาดินและเตาอิฐก่อแบบดั้งเดิม ช่วยในการลดภาวะโลกร้อนและลดการเกิดควันและฝุ่นละอองขนาดเล็กจากการเผาขยะได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบเตาเผาที่สามารถลดฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน (PM 2.5)
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ เทียบกับเตาเผาแบบดั้งเดิม

1.3 สมมติฐาน

1. เต่าเผาที่ออกแบบด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อนสามารถลดควันและฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน (PM 2.5) ได้เมื่อเทียบกับเต่าเผาตั้งเดิม

2. เต่าเผาชีวมวลระบบหมุนเวียนลมร้อนมีประสิทธิภาพดีกว่าเต่าเผาแบบตั้งเดิมในการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. เต่าเผาขนาด 200 ลิตร การทดลองเผาที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ

2. ชีวมวลที่ใช้คือ ไม้ยางพารา

3. มลพิษทางอากาศ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน (PM 2.5)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลดขยะจากการเกษตร และลดควันที่เกิดการเผาได้ [4]

2. ได้ถ่านไปไocaust และน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาขยะทางการเกษตร [5]

3. สามารถสร้างรายได้เพิ่มจากการนำขยะจากการเกษตรมาเผาในเต่าเผาชีวมวล

4. ลดการเกิดโรคที่คนในชุมชนจะได้รับจากการเผาขยะที่ไม่มีประสิทธิภาพ

5. เกิดการสร้างสร้งนวัตกรรมใหม่

6. ลดปัญหาการเกิดหมอกควันจากการเผากลางแจ้ง

7. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาขยะชีวมวล

8. ลดการปล่อยควันที่เป็นผลทำให้เกิด PM 2.5, PM 10 และก๊าซต่างๆได้

2. วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองและใช้กระบวนการขั้นตอนของการจัดการความรู้ ดังต่อไปนี้

1. สสำรวจความปัญหาและศักยภาพของชนิดชีวมวล

2. การศึกษาดูงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3. การออกแบบและพัฒนาวัตกรรมเต่าเผาที่ส่งเสริมการคิดในแต่ละเทคนิควิธี เพื่อลงสู่การปฏิบัติจริง

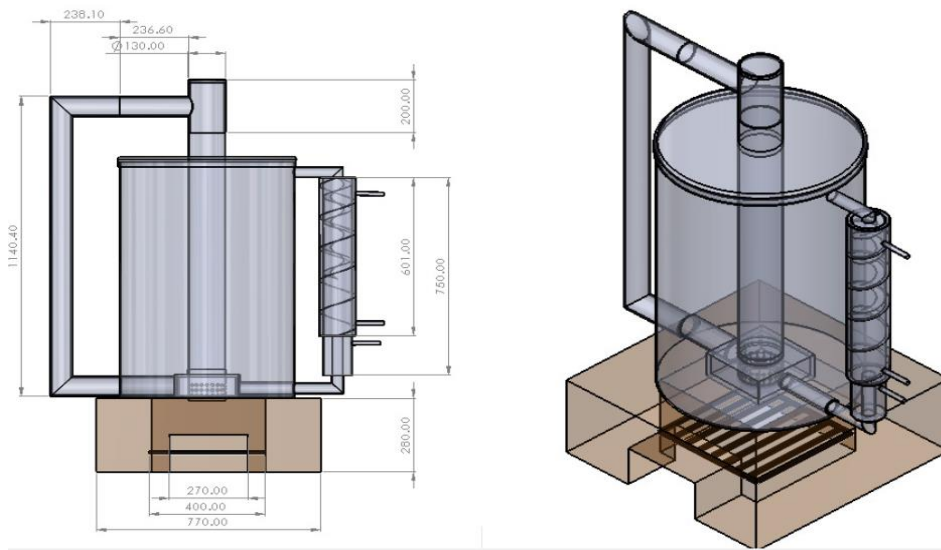
4. การดำเนินงาน โดยใช้แบบเต่าเผาที่ออกแบบมาประกอบขึ้นเพื่อใช้ในการทดลอง

5. การสรุปผลการทดลองและจัดเก็บผลการทดลอง เป็นการจ้ดระบบโดยการเผยแพร่ผลการวิจัย

2.1 การออกแบบเต่าเผา

การออกแบบเต่าเผาชีวมวลระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน ใช้หลักการ Bio-Circular-Green Economic Model (BCG) เป็นการนำเอาวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่ นั่นก็คือถ่านน้ำมันที่ใช้แล้วนำกลับมาเพิ่มมูลค่า รวมถึงการจัดการขยะทางการเกษตรที่เกิดขึ้นในสวนยางพารา ซึ่งต้นยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจ เมื่อมีการตัดแต่งกิ่ง หรือลำต้นแก่ที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นได้ จึงนำมาเผาเพื่อให้ได้ถ่านที่มีคุณภาพ เป็นพลังงานทดแทน และน้ำส้มควันไม้เป็นผลพลอยได้ นำมาใช้แทนยาฆ่าแมลง ลดต้นทุนสำหรับเกษตรกร เต่าเผาจะออกแบบจากถ่านน้ำมันใช้แล้วขนาด 200 ลิตร ออกแบบห้องเผา ให้มีการหมุนเวียนก๊าซร้อนเข้าสู่เต่าเผา ลดการปลดปล่อย ฝุ่นละออง คัน และก๊าซ เพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้

ส่วนที่ 1 เต่าเผาที่ใช้ถังเหล็ก 200 ลิตร แบบเรียบที่มีขนาดความสูง 900 มิลลิเมตร และมีฐานเต่าที่วัดรอบนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 602 มิลลิเมตร รูปที่ 1



รูปที่ 1 เตาเผาชีวมวลที่ออกแบบโดยโปรแกรม SOLIDWORKS

ส่วนที่ 2 ท่อที่ใช้ส่งผ่านความร้อนภายในเตา และใช้เป็นปล่องไฟ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 127 มิลลิเมตร ยาวทั้งหมด 1,017 มิลลิเมตร โดยตัวที่จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยที่ส่วนบนจะมีความยาว 900 มิลลิเมตร ถัดลงมาจะมีบ่ารับ ที่วัดขนาดรอบนอกจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 132 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร และถัดลงมาส่วนล่างของท่อมีความยาว 97 มิลลิเมตร จะเจาะรู ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ทั้งหมด 3 แถว โดยที่แต่ละแถวห่างกัน 10 มิลลิเมตร แถวแรกห่างจากขอบล่าง 15.89 มิลลิเมตร โดยจะเจาะรอบท่อให้แต่ละแถว ห่างกัน 20 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 2



a)

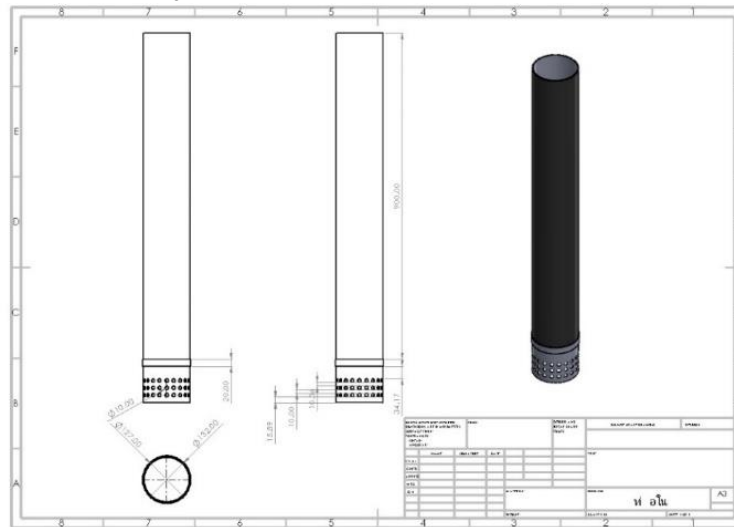


b)

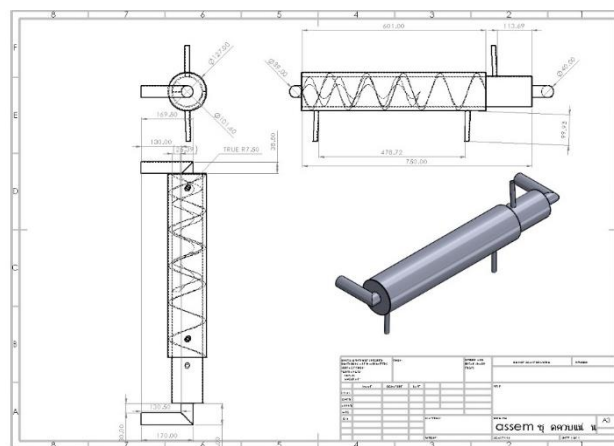
รูปที่ 2 a)เตาเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน, b)เตาเผาชีวมวลแบบเปรียบเทียบ

ส่วนที่ 2 ท่อที่ใช้ส่งผ่านความร้อนภายในเตา และใช้เป็นปล่องไฟ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 127 มิลลิเมตร ยาวทั้งหมด 1,017 มิลลิเมตร โดยตัวที่จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยที่ส่วนบนจะมีความยาว 900 มิลลิเมตร ถัดลงมาจะมีบ่ารับ ที่วัดขนาดรอบนอกจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 132 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร และถัดลงมาส่วนล่างของท่อมีความยาว 97 มิลลิเมตร จะเจาะรู ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ทั้งหมด 3 แถว โดยที่แต่ละแถวห่างกัน 10 มิลลิเมตร แถวแรกห่างจากขอบล่าง 15.89 มิลลิเมตร โดยจะเจาะรอบท่อให้แต่ละแถว ห่างกัน 20 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 ท่อส่งผ่านความร้อนภายในเตาและปล่องไฟ



ส่วนที่ 3 ชุดควบแน่นน้ำส้มควันไม้โดยการนำท่อนำก๊าซที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.60 มิลลิเมตร ยาว 750 มิลลิเมตร และท่อน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 127 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร โดยที่ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.60 มิลลิเมตร จะอยู่ในท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 127 มิลลิเมตร ที่มีเกลียวอยู่ โดยให้ขอบเกลียวท่อด้านนอกติดกับผนังท่อด้านใน นำท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร มาเชื่อมกับรูที่เจาะบนชุดควบแน่นทั้ง 3 รู และปิดฝาบนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 127 มิลลิเมตร มีท่อลักษณะตัวแอลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 40 มิลลิเมตร ซึ่งต่อออกจากชุดควบแน่น 70 มิลลิเมตร ยาว 170 มิลลิเมตร ส่วนฝาล่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.60 มิลลิเมตร มีท่อลักษณะตัวแอลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 40 มิลลิเมตร ซึ่งต่อออกจากชุดควบแน่น 38.50 มิลลิเมตร ยาว 169.50 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ชุดควบแน่นน้ำส้มควันไม้

2.2 ขั้นตอนการทดสอบเตาเผา

ลำดับที่ 1 การเลือกพื้นที่ ในการเผาถ่านนั้นควรเป็นพื้นที่โล่ง ห่างจากบ้านเรือน 50-100 เมตร
ลำดับที่ 2 การเตรียมไม้ย่างพารา ก่อนการเผาถ่านสิ่งสำคัญที่ต้องทำการเตรียมไม้ย่างพาราที่มีความชื้นน้อย ไม่เปียกน้ำหรือไม้ย่างพาราที่ตัดไว้แล้วมากกว่าครึ่งเดือน และควรมีการแยกขนาด เพื่อสะดวกในการเรียงไม้

ลำดับที่ 3 การเรียงไม้ บรรจุไม้ย่างพาราลงในฐานเตาจนเกือบเต็ม โดยบรรจุเป็นชั้นสลับกันเพื่อให้อากาศวิ่งผ่านได้สะดวก ชั้นบนสุดให้ใส่ไม้ย่างพาราเป็นเชื้อไฟเป็นชั้นเล็ก ๆ

ลำดับที่ 4 การเผา

1. วางเตาบนฐานในตำแหน่งกึ่งกลาง ใส่ท่อกลางลงในเตาโดยให้ด้านที่เจาะรูอยู่ด้านล่าง

2. บรรจุไม้ยางพาราที่เตรียมไว้ลงในเตา จัดเรียงโดยคำนึงว่าจะบรรจุไม้ยางพาราได้มากที่สุด เมื่อบรรจุได้ครั้งถึงให้ลองปิดฝาถัง เพื่อดูว่าท่ออยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลาง จากนั้นจึงเติมไม้ยางพาราลงถึงจนเกือบเต็ม
3. ซึ่ลฝาถังโดยการหยายฝาถังแล้วใช้ดินเหนียวผสมซีเมนต์ใส่ลงในร่องที่ขอบฝาถังจนเต็มแล้วปิดฝาถัง รััดล๊อคเข็มขัดให้เรียบร้อย
4. เริ่มจุดเตาโดยใช้เปลือกโยมะพร้าวแห้งหรือกระดาษลังคลุกกับน้ำมันหมาดๆ ใช้ที่คีบที่มีความยาวพอสมควรจุดไฟให้ลุกเต็มที่ไปหาไม้ยางพาราที่ฐานเตา เติมไม้ยางพาราเชื้อไฟขึ้นเล็ก ๆ ลงไปอีกพอสมควร
5. ปลอ่ยให้ไฟลุกไหม้ในฐานเตาไปเรื่อย ๆ จนสังเกตว่าที่ตระแกรงเริ่มเป็นถ่านไฟแดงๆจึงค่อยเริ่มเติมไม้ยางพาราทีละ 3-4 ชั้นไป

2.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

ลักษณะทางกายภาพและเคมีของไม้ยางพารา

1. ชั่งน้ำหนัก ไม้ยางพาราที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง (กิโลกรัม)
2. ชั่งน้ำหนักของไม้ยางพารา (ก่อนเผา-หลังเผา) (กิโลกรัม)
3. วัดปริมาณน้ำสัมควนไม้ที่ได้ (กิโลกรัม)
4. เก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และฝุ่นขนาดเล็ก PM 2.5 ในอากาศขณะการเผาด้วยเตาเผาชีวมวลทั้งแบบดั้งเดิมและที่ออกแบบใหม่โดยใช้ระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน [6]

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวอย่าง

ก่อนที่จะทำการเผาทางคณะวิจัยได้ทำการนำตัวอย่างของไม้ที่จะทำการเผามาทดสอบเพื่อหาความชื้นและความหนาแน่นของเนื้อไม้ค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 31% ซึ่งค่าความชื้นของชีวมวลขนาดไม้ยางพาราที่ใช้ในการเผามีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 9.88 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 9.95 เซนติเมตร ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวอย่างของชีวมวลชนิดไม้ยางพาราตารางที่1 แสดงน้ำหนักของไม้ยางพาราก่อนเผาและหลังเผา

ชนิดเตาเผาแบบถึง 200 ลิตร	น้ำหนักของไม้ยางพาราก่อนเผา (kg)	น้ำหนักของถ่านไม้ยางพาราหลังเผา (kg)	น้ำหนักของไม้ยางพาราหลังเผา (ไม่เป็นถ่าน)(kg)
เตาเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน	117.052	21.83	15.266
เตาเผาแบบเปรียบเทียบ	70	2.524	15.248

จากการเผาไม้ยางพารา ทั้งสองแบบ จะเห็นได้ว่าเตาเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อนเป็นถ่าน 18.65 % ไม่เป็นถ่าน 13.04 % และเตาเผาแบบเปรียบเทียบเป็นถ่าน 3.61% ไม่เป็นถ่าน 21.78 %

3.2 การเปรียบเทียบของเตาเผาถ่าน

เตาเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน เป็นเตาเผาที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาได้น้อยกว่าเตาเผาแบบเปรียบเทียบ แต่ในทางตรงข้ามกันพบว่าเตาเผาแบบเปรียบเทียบ ใช้เวลาในการเผาน้อยกว่าเตาเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน เนื่องจากเตาเผาแบบเปรียบเทียบ เป็นการเผาไม้ย่างพาราโดยตรง แต่เตาเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน เป็นการเผาไม้ย่างพาราแบบอบด้วยความร้อนภายในเตาจึงใช้เวลานานกว่า

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบชนิดของเตาเผาขนาด 200 ลิตร

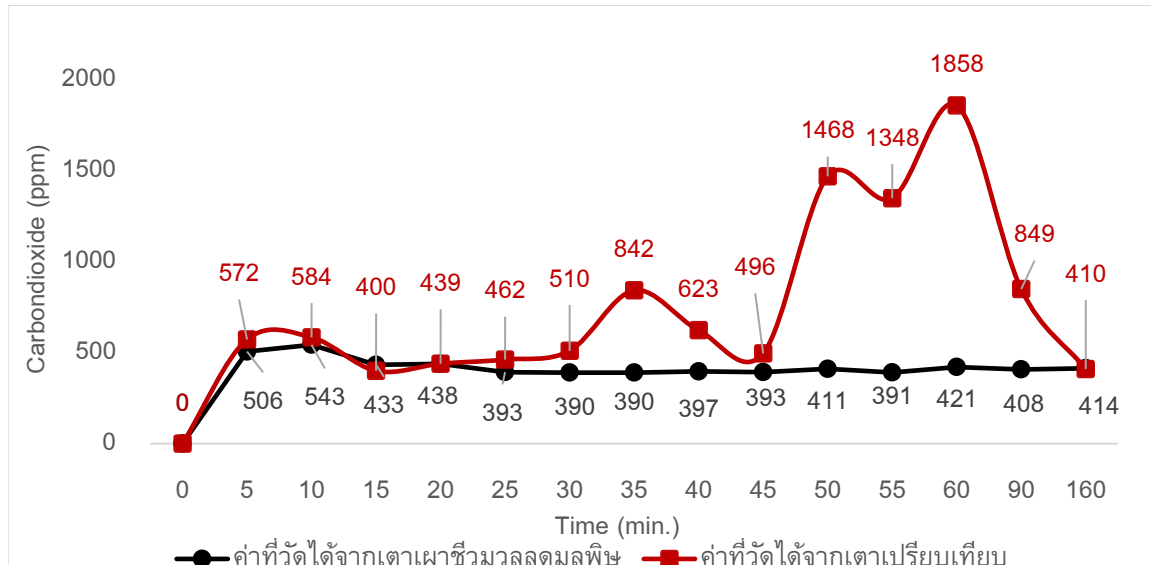
คุณสมบัติของเตา	เตาเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน	เตาเผาแบบเปรียบเทียบ
ขนาดเตา	ถัง 200 ลิตร	ถัง 200 ลิตร
การประกอบ	การเชื่อมติด	การเชื่อมติด
การเคลื่อนย้าย	สะดวก	สะดวก
ความร้อนรอบเตา	น้อย	มาก
การปล่อยมลพิษ	น้อย	มาก
พื้นที่ใช้ในการติดตั้ง	ใช้พื้นที่น้อย	ใช้พื้นที่น้อย
ถ่านที่ได้ (กิโลกรัม)	21.83	2.524
ระยะเวลาในการเผา (ชั่วโมง)	6	12
ปริมาณน้ำส้มควันไม้ (ลิตร)	50	0

จากการเผาเตาเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อนใช้เวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมง ซึ่งเริ่มเก็บน้ำส้มควันไม้ ชั่วโมงที่ 3-8 (ช่วงต้น) ได้น้ำส้มควันไม้ 30 ลิตร และชั่วโมงที่ 8-12 (ช่วงปลาย) ได้น้ำส้มควันไม้ 20 ลิตร รวมทั้งหมด 50 ลิตร และเตาเผาแบบเปรียบเทียบไม่ได้น้ำส้มควันไม้ แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3 แสดงผลปริมาณน้ำส้มควันไม้

ชนิดเตาเผาแบบถัง 200 ลิตร	ช่วงต้น (ชั่วโมงที่ 3-8)	ช่วงปลาย (ชั่วโมงที่ 8-12)
เตาเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน	30 ลิตร	20 ลิตร
เตาเผาแบบเปรียบเทียบ	-	-

ค่าเฉลี่ย ความเข้มข้นก๊าซ CO₂ (ppm) และ PM 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เต่าเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อนได้ 419.38 ppm และ 51.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ย ความเข้มข้นก๊าซ CO₂ และ PM 2.5 ของแบบเต่าเผาเปรียบเทียบได้ 775.79 ppm และ 859.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ แสดงตามรูปที่ 5 และตารางที่ 4



รูปที่ 5 ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เปรียบเทียบ
ระหว่างจากเต่าเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อนและเต่าเผาชีวมวลแบบเปรียบเทียบ

ตารางที่ 4 ค่า PM 2.5 ที่วัดได้จากเต่าเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อนและเต่าเผาชีวมวลแบบเปรียบเทียบ

ระยะเวลา (นาที)	ค่าที่วัดได้จากเต่าเผาชีวมวลผลผลิต ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าที่วัดได้จากเต่าเปรียบเทียบ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
5	694	≥ 999
10	30	≥ 999
15	18	≥ 999
20	19	≥ 999
25	17	≥ 999
30	16	≥ 999
35	16	≥ 999
40	19	≥ 999
45	20	≥ 999
50	80	≥ 999
55	17	≥ 999
60	52	≥ 999
90	15	≥ 999
160	68	≥ 999

4. สรุป

จากการวิจัย เตาเผาชีวมวลออกแบบใหม่โดยใช้ระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน สามารถลดมลพิษทางอากาศ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และฝุ่นขนาดเล็ก PM 2.5 ในอากาศขณะเผาชีวมวลได้จริง และมีประสิทธิภาพในการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ อีกทั้งสร้างมูลค่าเพิ่มได้มากกว่าเตาเผาที่ไม่มีระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน การออกแบบเตาเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อนเพื่อลดมลพิษทางอากาศ ทำการพัฒนสำเร็จแล้ว ซึ่งเตาเผาชีวมวลด้วยระบบหมุนเวียนก๊าซร้อน สามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ , PM 2.5 และสามารถผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ได้จริง โดยการทดสอบครั้งนี้ชีวมวล 1 ประเภท ได้แก่ ประเภทไม้ยางพาราเพื่อนำมาเผาในเตา 200 ลิตร โดยใช้เครื่อง Air Quality Monitor ในการตรวจวัดค่า อุณหภูมิ ความชื้น ไนโตรเจนไดออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ โอโซน มีเทน PM 2.5 และใช้เครื่องวัดความเร็วลมเพื่อวัดความเร็วลมในอากาศ ใช้ไม้ยางพาราจำนวน 110 กิโลกรัม ได้ถ่านบริสุทธิ์ จำนวน 21 กิโลกรัม และน้ำส้มควันไม้ 50 ลิตร ซึ่งมีประโยชน์สามารถช่วยไล่แมลงศัตรูพืช แทนสารเคมีฆ่าแมลงและมีมูลค่าสามารถลดต้นทุนและสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร [7]

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการอุดหนุนงานวิจัยจาก สำนักวิชาการและวิจัย สถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] โรงพยาบาลเว็ลด์เมดิคอล. (2565). ฝุ่น PM. 2.5 ภัยร้ายใกล้ตัวเรา. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://theworldmedicallcenter.com/th>: (เข้าถึงเมื่อ 26 ธันวาคม 2565).

[2] คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2564). ทำความรู้จักอันตรายจากคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide). เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์. <https://www.sci.psu.ac.th/news/2021/07/get-to-know-carbon-dioxide/> : (เข้าถึงเมื่อ 25 ธันวาคม 2565).

[3] สถาบันพลาสติก. (2563), เทคโนโลยีแก๊สซิพีเคชั่นเศษไม้. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ .<http://rubber.oie.go.th> : (เข้าถึงเมื่อ 25 ธันวาคม 2565).

[4] นายสุรเชษฐ ย่านวารี. (2558). ชีวมวล (BIOMASS). เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://jenergyguru.com> : (เข้าถึงเมื่อ 25 ธันวาคม 2565).

[5] อรสา สุกถสว่าง. (2552). ถ่านไบโอชาร์คืออะไร เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์. <https://www.biocharcoal.net/> : (เข้าถึงเมื่อ 25 ธันวาคม 2565).

[6] สมศักดิ์ สุขวงศ์ และคณะ. (2559). การวัดปริมาณเก็บธาตุคาร์บอนของต้นไม้ในภูมิทัศน์ โหนด นา เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ .<https://www.greenglobeinstitute.com>: (เข้าถึงเมื่อ 25 ธันวาคม 2565).

[7] สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (2562). น้ำส้มควันไม้ คืออะไร กับประโยชน์ในด้านการเกษตร. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์. <https://kaset.today/> : (เข้าถึงเมื่อ 25 ธันวาคม 2565).

ภาคโปสเตอร์

ผลของเอทิฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อคุณภาพของกล้วยเล็บมือนาง

Effect of Ethephon and Calcium Carbide on the Quality of 'Kluai Leb Mu Nang' Banana

ภัทรวดี ไหมจุน^{1*} สุริยพันธ์ สุภาพวานิช² พรรณิภา ย้วยล¹ และ โอภาส สืบสาย¹Pattarawadee Maichun^{1*}, Suriyan, Supapvanich², Pannipa Youryon¹ and Opart Suebsay¹¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ชุมพร² ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร¹ Department of Agricultural Technology, Prince of Chumphon campus, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chumphon² Department of Agricultural Education School of Industrial Education and Technology King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Thailand*Corresponding author: ภัทรวดี ไหมจุน, e-mail address: 62204101@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

วิธีการบ่มมีผลโดยตรงต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อเปรียบเทียบผลของเอทิฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อคุณภาพของกล้วยเล็บมือนาง ที่บ่มด้วยการทาซ้ำด้วยเอทิฟอนความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์และบ่มด้วยการรมแคลเซียมคาร์ไบด์ปริมาณ 5 กรัม/1 กิโลกรัม พบว่าการบ่มทั้ง 2 วิธีสามารถเร่งระยะเวลาการสุกได้ โดยกล้วยที่ไม่บ่มสุกในวันที่ 5 ในขณะที่กล้วยที่บ่มด้วยเอทิฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์สุกภายใน 2 และ 3 วัน ตามลำดับ เมื่อสุกเปลือกกล้วยชูดควมมีค่าสีเขียว ($-a^*$) ที่สุด เมื่อเทียบกับกล้วยที่บ่มด้วยเอทิฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์ การค่าสีเหลือง (b^*) ของกล้วยที่บ่มมีค่าสูงกว่ากล้วยชูดควมเล็กน้อย ค่าเฉดสี (hue angle) ของกล้วยที่บ่มด้วยเอทิฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์มีค่าแสดงสีเหลืองมากกว่าตัวอย่างชูดควมอย่างชัดเจน ในขณะที่การบ่มแต่ละวิธีมีค่า $-a^*$ และ b^* ของเนื้อกล้วยไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ค่า hue angle ของเนื้อกล้วยที่บ่มด้วยเอทิฟอนมีค่า hue angle ต่ำกว่าตัวอย่างอื่น การบ่มทั้ง 2 วิธี เร่งความนิ่ม และเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ไม่แตกต่างกันและมีค่ามากกว่าชูดควม การบ่มด้วยเอทิฟอนกระตุ้นปริมาณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกสูงกว่าการบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ ในขณะที่การบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์มีค่าความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าการบ่มด้วยเอทิฟอนและชูดควม การบ่มทั้ง 2 วิธีลดปริมาณฟลาโวนอยด์ในเนื้อกล้วย สามารถสรุปได้ว่าการบ่มด้วยเอทิฟอนเร่งการสุกได้ดีเร็วกว่าการบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ และการบ่มทั้ง 2 วิธีช่วยให้กล้วยมีคุณภาพด้านการบริโภคมากกว่ากล้วยที่สุกตามธรรมชาติ

คำสำคัญ: กล้วยเล็บมือนาง, เอทิฟอน, แคลเซียมคาร์ไบด์, คุณภาพ

Abstract

Ripening method directly affects the postharvest quality of fruit. This work aimed to compare ripening methods using ethephon (smearing 52% ethephon on bananas) and calcium carbide (through fumigation using 5 g calcium carbide / kg bananas) on the quality of ripened 'Kluai Leb Mu Nang' bananas. Both ripening methods induced banana ripening. Control samples were ripened within 5 days, while ethephon ripened and calcium carbide ripened bananas ripened within 2 and 3 days, respectively. Control fruit peels had higher $-a^*$ value (greenness) whereas both treatments had low $-a^*$ value. The b^* value of control bananas was slightly higher than that of both treated bananas. The $-a^*$ and b^* values of both treated bananas were similar and not significantly different. The hue value of both treated bananas were more yellow compared to the control bananas. The ethephon treated bananas had lower hue values than other samples. Ripening methods increased fruit softening, total soluble solids content and total acidity compared to the control treatment. Ripening with ethephon enhanced free radical scavenging activity and total phenols content more than calcium carbide. In contrast, calcium carbide treatment induced greater antioxidant capacity than ethephon and control treatments. Both ripening approaches decreased flavonoid content in bananas. In conclusion, ripening using ethephon induced ripening process of bananas faster than calcium carbide and both ripening approaches improved the eating quality of bananas compared to natural ripening.

Keywords: 'Kluai Leb Mu Nang' Banana, Ethephon, calcium carbide, Quality

1. บทนำ

กล้วยเล็บมือนาง *Musa* (AA group) ‘Kluai Leb Mu Nang’ เป็นพืชท้องถิ่นทางภาคใต้ ที่นิยมปลูกในจังหวัดชุมพร [1] ซึ่งมีลักษณะเด่นหลายประการเป็นที่ต้องการของท้องตลาดและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากกล้วยเล็บมือนางมีผลขนาดเล็ก เนื้อแน่น รสชาติดี ผลและเนื้อมีสีเหลืองทอง กลิ่นหอมน่ารับประทาน ในปัจจุบันผู้บริโภคนิยมรับประทานผลสด หรือนำมาปรุงอาหารคาวหวาน และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ อีกหลายชนิด ได้แก่ กล้วยตาก กล้วยทอด เป็นต้น [2] โดยกล้วยที่นิยมปลูกเป็นการค้าในปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่จะปลูกเพื่อจำหน่ายให้ผู้บริโภคในลักษณะทานผลสด ซึ่งได้ผลตอบแทนในราคาที่ดีและในบางครั้งผลผลิตก็ไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด อีกทั้งสภาพการสุกของกล้วยโดยธรรมชาติจะใช้เวลาานและสุกไม่สม่ำเสมอ [3] ดังนั้นการบ่มกล้วยเพื่อทำให้กล้วยมีการสุกสม่ำเสมอจะช่วยเพิ่มคุณภาพผลผลิตให้ดีขึ้น ซึ่งมีการใช้สารหลายประเภทที่กระตุ้นการสุกของกล้วย [4] เช่น เอทิลพอน เอทิลีน สารจากธรรมชาติและแคลเซียมคาร์ไบด์ จากปัญหาดังกล่าวจึงมีการศึกษาผลของสารละลายเอทิลพอนและแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อคุณภาพการสุกของกล้วยเล็บมือนาง

2. วิธีการศึกษา

กล้วยเล็บมือนาง *Musa* (AA Group) ‘Kluai Leb Mu Nang’ จากอำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร ขนส่งถึงอาคารปฏิบัติการหลักสูตรเทคโนโลยีการจัดการผลิตพืช สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร นำกล้วยเล็บมือนางมาแบ่งหวี วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยแบ่งกล้วยเล็บมือนางออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) ชุดควบคุม 2) ทาข้าวหวีด้วยเอทิลพอนความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์ 3) บ่มแคลเซียมคาร์ไบด์ 5 กรัม/1 กิโลกรัม จากนั้นนำไปบ่มให้ผลสุกอย่างสม่ำเสมอ ทำการบันทึกผลการทดลองดังนี้ ลักษณะที่ปรากฏของกล้วยเล็บมือนาง ค่าสีเปลือกสีเนื้อ (a^* , b^* , h values) ความแน่นเนื้อ การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (DPPH) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (TPC) และปริมาณฟลาโวนอยด์ (TFC)

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ลักษณะปรากฏของกล้วยเล็บมือนาง

ลักษณะปรากฏของกล้วยเล็บมือนางภายหลังจากการบ่มด้วยเอทิลพอนความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์และแคลเซียมคาร์ไบด์ ปริมาณ 5 กรัม/1 กิโลกรัมเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่ากล้วยเล็บมือนางที่ทาข้าวหวีด้วยเอทิลพอนที่ความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์ มีการสุกสม่ำเสมอทั้งหวี และที่ข้าวหวีเกิดลักษณะฝ่อคล้ายฟองน้ำ เนื่องจากใช้ความเข้มข้นของเอทิลพอนสูงเกินไป (Figure 1B) ซึ่งสอดคล้องกับผลของศึกษาการพ่นสารเอทิลพอนที่ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ผลทุเรียนหมอนทองอายุ 78 วันหลังการเก็บเกี่ยว มีน้ำหนักสดและขนาดของผลลดลง [5] ส่วนกล้วยเล็บมือนางที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ปริมาณ 5 กรัม/1 กิโลกรัม พบว่าผลกล้วยมีการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเกือบทั้งหวีและมีรอยช้ำเล็กน้อย (Figure 1C)



Figure 1 Appearance of ‘Kluai Leb Mu Nang’ bananas fruit treated with control (A), ethephon (B), and calcium carbide. (C)

3.2 ค่าสีเปลือกและสีเนื้อ

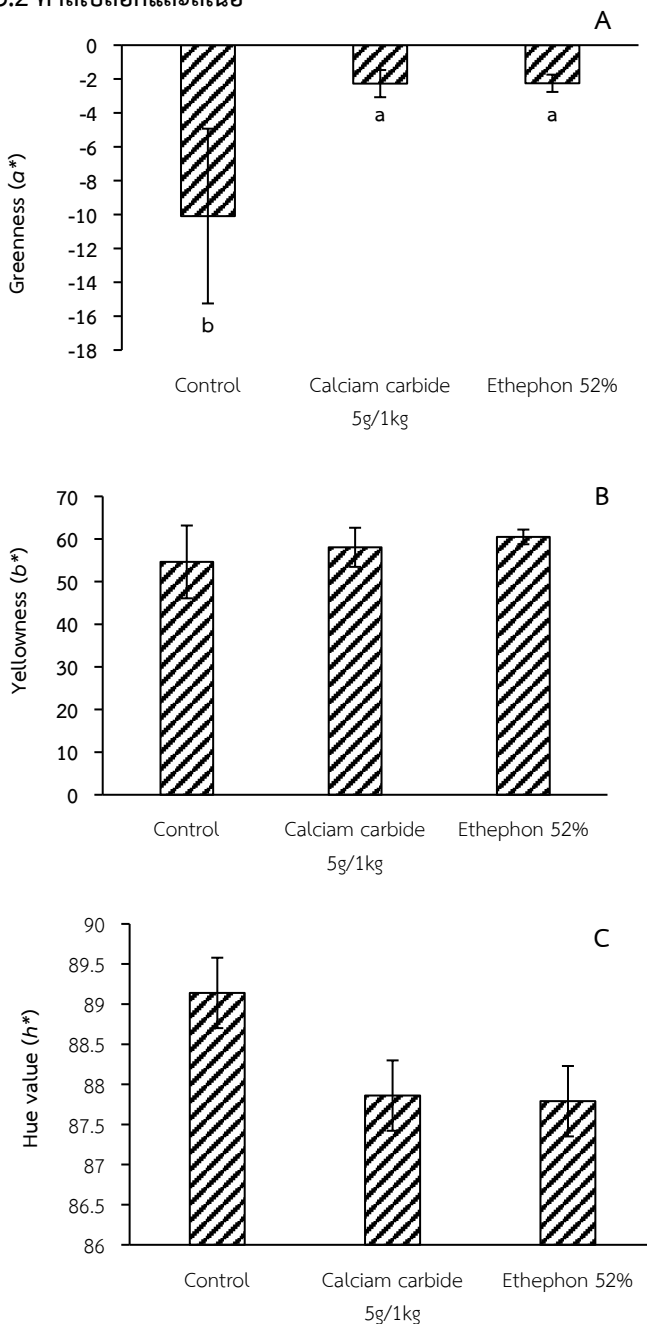


Figure 2 Peel color greenness ($-a^*$) (A), yellowness (b^*) (B), hue value (h) (C) of 'Kluai Leb Mu Nang' bananas fruit treated with ethephon and calcium carbide.

ค่าสีเปลือกผลกล้วยเล็บมือนางที่ทำซ้ำด้วยเอทธิพอนความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์และบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ปริมาณ 5 กรัม/1 กิโลกรัม พบว่าผลกล้วยเล็บมือนางมีค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) (Figure 2A) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) พบว่ากล้วยเล็บมือนางที่ทำซ้ำด้วยเอทธิพอนความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น เนื่องจากกล้วยเล็บมือนางเมื่อสุกเต็มที่จะมีสีเหลืองทอง แต่อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (Figure 2B) ส่วนค่าเฉดสี (h) ของกล้วยเล็บมือนาง ซึ่งอยู่ในช่วงมุมสีที่เป็นสีแดงและพบว่าค่าเฉดสี (h) ในชุดควบคุมสูงที่สุด ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (Figure 2C)

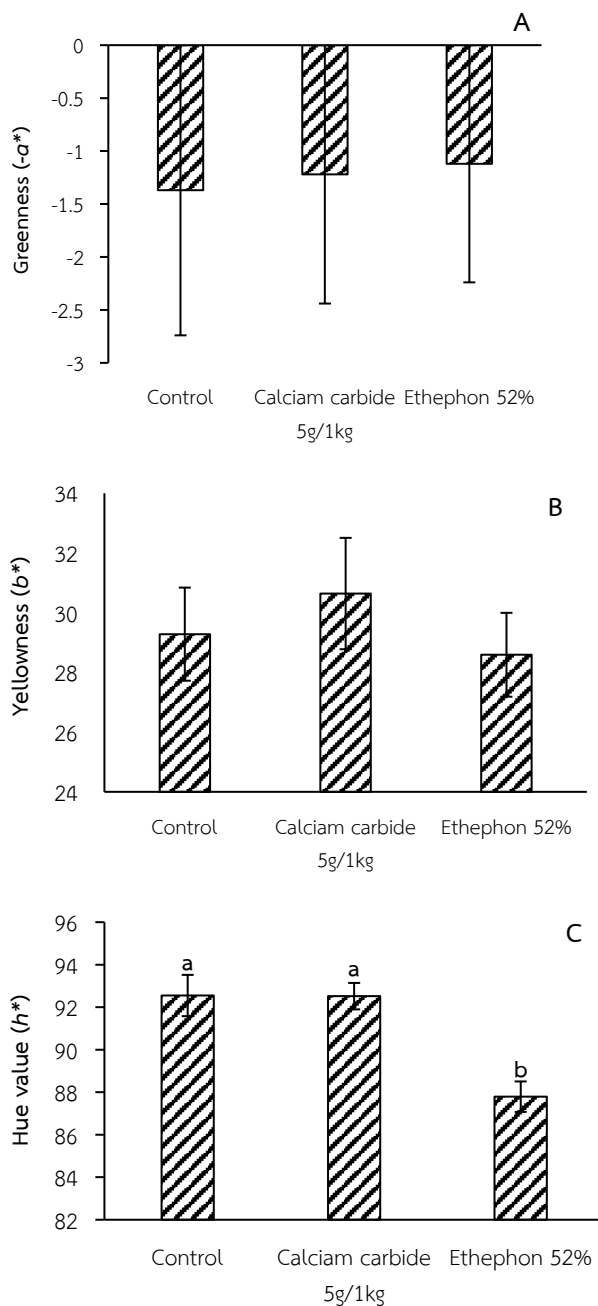


Figure 3 Flesh color greenness ($-a^*$) (A), yellowness (b^*) (B), hue value (h) (C) of 'Kluai Leb Mu Nang' bananas fruit treated with ethephon and calcium carbide.

Figure 3 แสดงค่าสีเนื้อผลกล้วยเล็บมือนางที่ทำด้วยเอทิพอนความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์ และบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ปริมาณ 5 กรัม/1 กิโลกรัม พบว่าค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) ของผลกล้วยเล็บมือนาง มีความเป็นสีเขียวทั้งชุดควบคุม ทำด้วยเอทิพอนความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์ และบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ปริมาณ 5 กรัม/1 กิโลกรัม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) (Figure 3A) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) พบว่ากล้วยเล็บมือนางที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ปริมาณ 5 กรัม/1 กิโลกรัม มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองอื่น ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) (Figure 3B) และค่าเฉดสี (h) ของกล้วยเล็บมือนาง ซึ่งอยู่ในช่วงมุมสีที่เป็นสีเหลือง โดยกล้วยเล็บมือนางที่ทำด้วยเอทิพอนความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์มีช่วงมุมที่เป็นสีเหลืองน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและ บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ปริมาณ 5 กรัม/1 กิโลกรัม แต่อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างสถิติ (Figure 3C)

3.3 ระยะการสุก

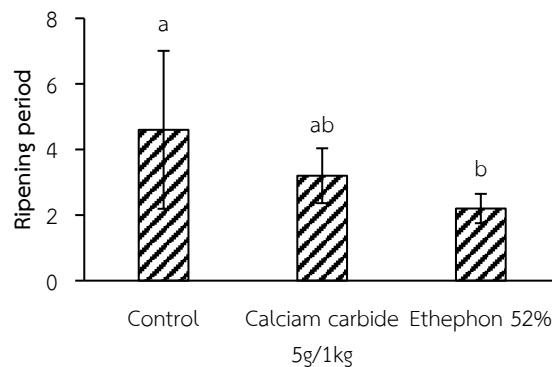


Figure 4 Ripening period of 'Kluai Leb Mu Nang' bananas fruit treated with ethephon and calcium carbide.

Figure 4 แสดงระยะการสุกของกล้วยเล็บมือนางที่ทำซ้ำด้วยเอทิพอนและบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ พบว่ากล้วยเล็บมือนางที่ทำซ้ำด้วยเอทิพอนความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์ มีระยะการสุกเร็วกว่ากล้วยเล็บมือนางในชุดควบคุมและบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ปริมาณ 5 กรัม/1 กิโลกรัม ซึ่งไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) โดยการซ้ำด้วยเอทิพอนความเข้มข้น 52% ทำให้การสุกและการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลกล้วยเล็บมือนางนั้นมีความสม่ำเสมอ ในขณะที่การใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ปริมาณ 5 กรัม/1 กิโลกรัม ทำให้ผลกล้วยเล็บมือนางมีการสุกและการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาผลการใช้สารละลายเอทิพอนที่ความเข้มข้นที่สูงขึ้น (50 มิลลิกรัม/ลิตร) ทำให้ผลทุเรียนมีการสุกเร็วขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อสูงกว่าการใช้สารละลายเอทิพอนที่ความเข้มข้นต่ำ (10 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร) [6] เช่นเดียวกับการศึกษาผลของการใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ 10 และ 20 กรัม/มะม่วง 1 กิโลกรัม บ่มนาน 24 ชั่วโมง ทำให้มะม่วงพันธุ์แก้วสุกเร็วและดีกว่าการปล่อยให้สุกตามธรรมชาติ และให้ผลไม่แตกต่างกับการบ่มด้วยเอทิสิน อัตรา 200 ไมโครลิตร/ ลิตร [7]

3.4 การสูญเสียน้ำหนักและความแน่นเนื้อ

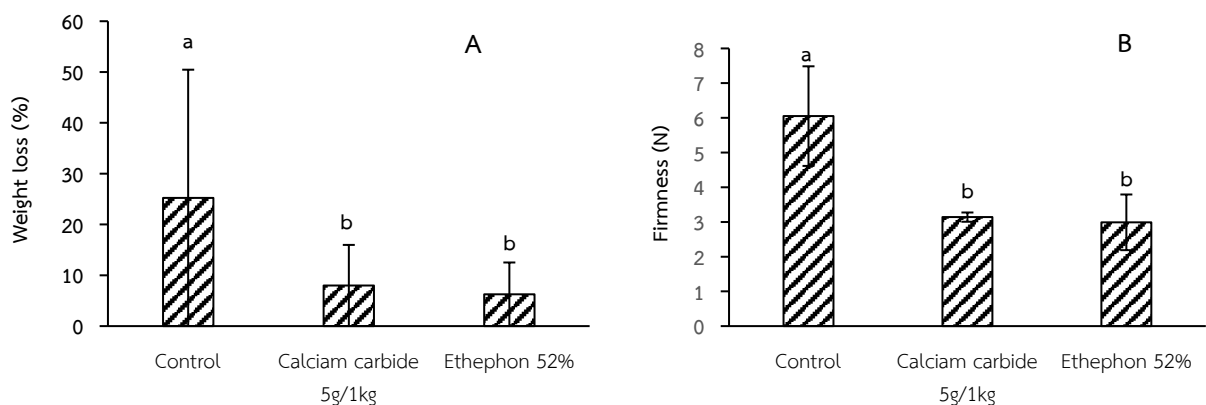


Figure 5 Weight loss (A) and Firmness (B) of 'Kluai Leb Mu Nang' bananas fruit treated with ethephon and calcium carbide.

Figure 5 การสูญเสียน้ำหนักและความแน่นเนื้อของกล้วยเล็บมือนางที่ทำซ้ำด้วยเอทิพอนและบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ พบว่ากล้วยเล็บมือนางที่ทำซ้ำด้วยเอทิพอนความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์ มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 5 กรัม/1 กิโลกรัม ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P\leq 0.01$) (Figure 4A) ส่วนความแน่นเนื้อ พบว่ากล้วยเล็บมือนางที่ทำซ้ำด้วยเอทิพอนความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์และบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 5 กรัม/1 กิโลกรัม มีความแน่นเนื้อน้อยกว่าชุดควบคุม มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P\leq 0.01$) (Figure 4B) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในส้มพันธุ์ Star Ruby ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ก่อนการเก็บรักษา พบว่าเมื่อเวลาผ่านไประหว่างการเก็บรักษา มีการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในผลที่

ผ่านการให้ความร้อนส่งผลให้ความแน่นเนื้อของเนื้อผลลดลง ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลให้สารจำพวก wax ที่เคลือบผิวอยู่ภายนอกเกิดการเสื่อมสภาพ จึงกระตุ้นการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น [8]

3.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

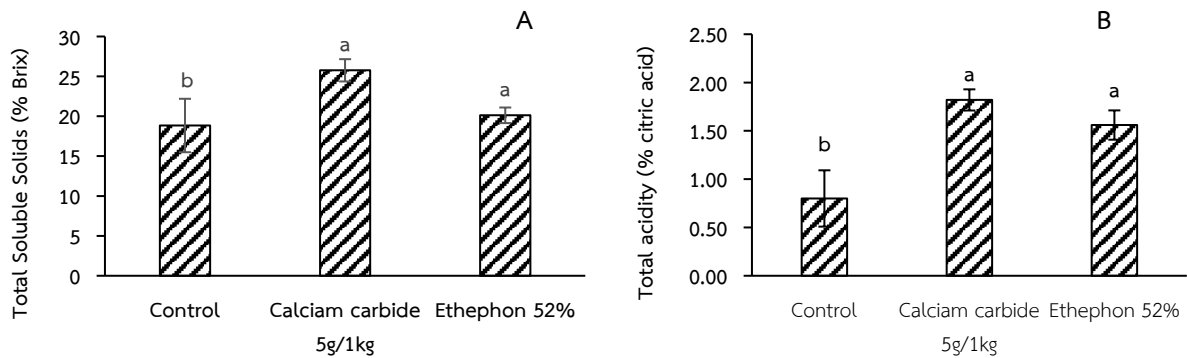


Figure 6 Total soluble solids (A) and Total acidity (B) of 'Kluai Leb Mu Nang' bananas fruit treated with ethephon and calcium carbide.

Figure 6 แสดงค่าปริมาณ TSS และ TA ของกล้วยเล็บมือนางที่ขั้วด้วยเอทิฟอนและบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ ซึ่งพบว่าค่า TSS ของกล้วยเล็บมือนางที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ปริมาณ 5 กรัม/1 กิโลกรัม มีปริมาณสูงกว่ากล้วยเล็บมือนางที่ขั้วด้วยเอทิฟอนความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์และชุดควบคุม มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (Figure 6A) โดยพบว่าผลของกล้วยเล็บมือนางที่สุกจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูง [9] และการอ่อนตัวของผลกล้วยเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของสารประกอบผนังเซลล์ การลดลงของแป้ง และเพิ่มปริมาณน้ำตาล [10] ส่วนปริมาณ TA ของกล้วยเล็บมือนาง พบว่ากล้วยเล็บมือนางที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ปริมาณ 5 กรัม/1 กิโลกรัม มีค่าสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (Figure 6B) แสดงให้เห็นว่าการบ่มแคลเซียมคาร์ไบด์ปริมาณ 5 กรัม/1 กิโลกรัม มีผลต่อค่า TSS และ TA ของกล้วยเล็บมือนาง

3.6 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (DPPH)

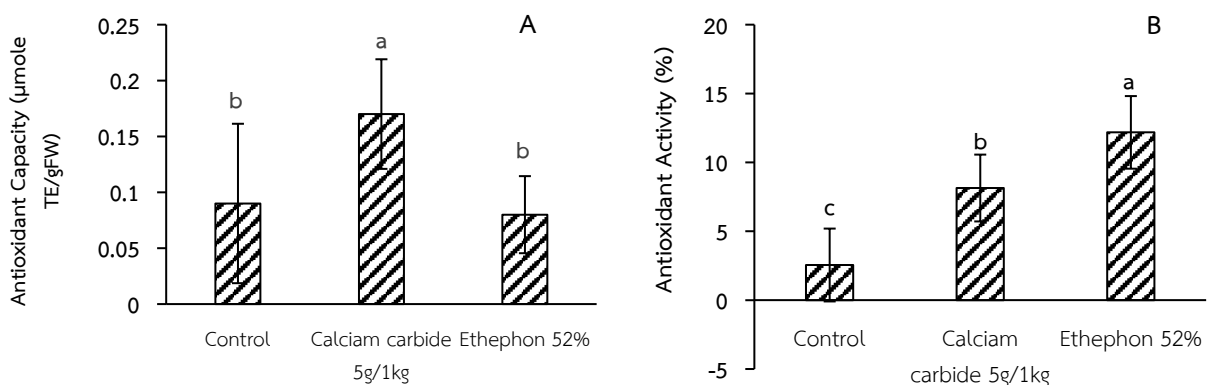


Figure 7 Antioxidant capacity (FRAP) (A) and Antioxidant Activity (DPPH) (B) of 'Kluai Leb Mu Nang' bananas fruit treated with ethephon and calcium carbide.

Figure 7 แสดงค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของกล้วยเล็บมือนาง ซึ่งพบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยเล็บมือนางที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 5 กรัม/1 กิโลกรัม มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (Figure 7A) ซึ่งความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีความสามารถสูง

ในระยะกล้วยสุก [11] สำหรับค่าการกำจัดอนุมูลอิสระของผลกล้วยเล็บมือนาง พบว่ากล้วยเล็บมือนางที่ทำซ้ำด้วยเอทิพอนที่ความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (Figure 7B)

3.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (TPC) และปริมาณฟลาโวนอยด์ (TFC)

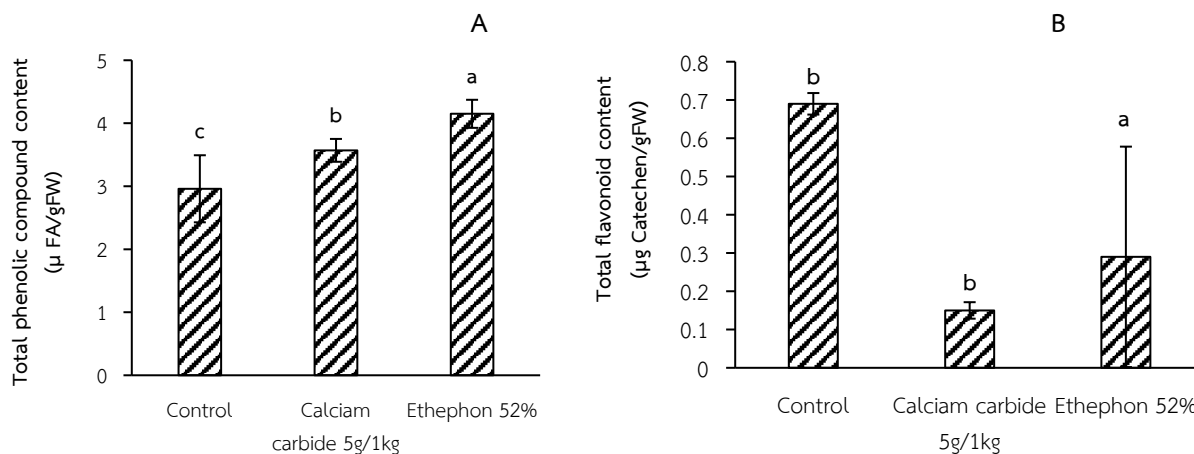


Figure 8 Total phenolic compound content (A) and Total flavonoid content (B) of 'Kluai Leb Mu Nang' bananas fruit treated with ethephon and calcium carbide.

Figure 8 ปริมาณสารประกอบฟีนอลและสารประกอบฟลาโวนอยด์ของกล้วยเล็บมือนาง พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลของผลกล้วยเล็บมือนางที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ ปริมาณ 5 กรัม/1 กิโลกรัม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (Figure 8A) สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [12] มีรายงานการศึกษากล้วยพันธุ์ Berangan, Mar และ Raja (AA Group) พบว่ามีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกัน กล้วยพันธุ์ Berangan มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด รองลงมาคือพันธุ์ Mar และ Raja มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ทั้งวิธี DPPH และวิธี FRAP และสำหรับสารประกอบฟลาโวนอยด์ของกล้วยเล็บมือนาง พบว่ามีปริมาณสูงขึ้นและพบว่าผลของกล้วยเล็บมือนางในชุดควบคุมมีสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (Figure 8B) ซึ่งจากรายงานว่าสารต้านอนุมูลอิสระในส่วนของเนื้อกล้วยอาจมีผลส่งต่อมาจากสารประกอบฟีนอลิกและสารฟลาโวนอยด์ที่สูงขึ้น [13] โดยพบว่าสาร gallocatachin เป็นพอลิฟีนอลซึ่งอยู่ในกลุ่ม catechin และสารต้านอนุมูลอิสระของกล้วยจะประกอบด้วยปริมาณของสาร gallocatachin ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น [14]

4. สรุป

จากการศึกษาผลของเอทิพอนและแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อคุณภาพของกล้วยเล็บมือนาง พบว่าการสุกของกล้วยเล็บมือนางที่ทำซ้ำด้วยเอทิพอนความเข้มข้น 52 เปอร์เซ็นต์มีการสุกที่เร็วกว่าบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 5 กรัม/1 กิโลกรัม แสดงให้เห็นได้จากการสูญเสียน้ำหนักและเปลี่ยนสีเปลือกผลจากสีเขียวเป็นสีเหลือง และความแน่นเนื้ออ่อนตัวลงเมื่อกล้วยสุก ซึ่งกล้วยเล็บมือนางที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 5 กรัม/1 กิโลกรัม มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น แสดงให้เห็นว่าการบ่มกล้วยทั้ง 2 วิธี ช่วยเร่งระยะเวลาการสุก และช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของกล้วยสุก

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการพืชสวน ห้องปฏิบัติการกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] เบญจมาศ ศิลาชัย. 2538. กล้วย. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. บริษัทประชาชน จำกัด, กรุงเทพฯ. 290 หน้า.
- [2] Silayoi B (2002) Banana. Kasetsart University Press, Bangkok, Thailand
- [3] Lindo, D.T. and M. B. Mora. 1992. Behavior of firmness and soluble solids content during natural and artificial ripening. Musarama. (1): 7-11
- [4] สายชล เกตุษา. 2549. การบ่มผลไม้ให้สุก.วารสารราชบัณฑิตยสถาน 31(4): 1177-1186
- [5] สุมิตร คุณเจตน์ พีรพงษ์ แสงวนางค์กุล และ จริงแท้ ศิริพานิช, 2545, อิทธิพลของเอทีฟอนต่อพัฒนาการและคุณภาพของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองหลังการเก็บเกี่ยว, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 33(6): 40-44.
- [6] กฤษณา หงษ์คุ ณีภูธรา เลหากุลจิตต์ และ อรพิน เกิดชูชื่น. 2555. การเร่งการสุกของทุเรียนหมอนทองต่อคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและสารหอมระเหย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 43(2) (พิเศษ): 417-420.
- [7] กาญจนา เหลืองสุวาลัย. 2537. การศึกษาการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีดัชนีการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และการบ่มผลมะม่วง (*Mangifera indica*L.) พันธุ์แก้วจุก.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 156 หน้า.
- [8] Porat, R. , Pavencello, D. , Perez, J. , BenYohoshua, S. and Lurie,S., 2000, Effects of various heat treatments on the induction of cold tolerance and on the postharvest qualities of ‘ Star Ruby’ grapefruit, Postharvest Biol. Technol. 18: 159-165.
- [9] Youryon, P. and Supapvanich, S. 2017. Physicochemical quality and antioxidant changes in ‘Leb Mue Nang’ banana fruit during ripening. Agr. Nat. Resour. 51: 47-52.
- [10] Srivastava, M.K., Dwivedi, U.N., 2000. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. Plant Sci. 158, 87_96.
- [11] Youryon P, Supapvanich S. Quality and bioactive compounds of ripe ‘Kluai Nam Wa’ and ‘Kluai Khai’ bananas during storage. Int Food Res J 2016; 23(3): 1027-1032.
- [12] Vermerris W., Nicholson R., Nicholson R.L., 2006, “Phenolic Compound Biochemistry” Springer, U.S.A.
- [13] Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Billot, J. (1990). Fruit phenolics (pp. 1–126). Boca Raton, FL: CRC Press.
- [14] Someya, S., Y. Yoshiki, and K. Okubo. 2002. Antioxidant compounds from bananas (*Musa cavendish*). Food Chem. 79:351-354.

การศึกษาลักษณะประจำพันธุ์ของกลางสาตเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี Study of the species characteristics of Langsat Koh Samui, Surat Thani.

ไพบุรณ์ เปรียบยั้ง^{1*} หทัยกาญจน์ สิทธิธา² ณัฐพงษ์ ยังกุล¹ อนุศักดิ์ ขุนเสถียร¹ และ สุกัญญา อ่อนเขตร¹
Phaibun Priapying¹ Hathaikarn Sittha² Natthaphong Yangsakun¹ Anusak Khunsathian and Sukanya Onkhet¹

¹ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7 จังหวัดสุราษฎร์ธานี

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี

¹Office of Agricultural Research and Development region 7, Surat Thani

² Surat Thani Agricultural Research and Development Center, Surat Thani

*Corresponding author: Phaibun Priapying, e-mail address: phaibun_pp@hotmail.com

บทคัดย่อ

กลางสาตเกาะสมุย เป็นผลไม้ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น มีรสชาติอร่อย และมีศักยภาพที่สามารถพัฒนาไปสู่ไม้ผลเศรษฐกิจในพื้นที่ภาคใต้ตอนบนได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะประจำพันธุ์ของกลางสาตเกาะสมุย เพื่อนำองค์ความรู้ที่ได้ไปศึกษาต่อยอดเพื่อให้เกิดเทคโนโลยีการผลิตกลางสาตเกาะสมุยที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากการศึกษา พบว่า กลางสาตเกาะสมุย มีลักษณะเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ มีความสูงประมาณ 4-20 เมตร มีใบแบบประกอบขนนกปลายคี่ รูปหอก ปลายใบเรียวแหลม ขอบใบเป็นคลื่น ฐานใบเฉียง ผิวใบมัน มีใบย่อย 5-6 คู่ ส่วนดอกเป็นแบบสมบูรณ์เพศ โดยออกตามกิ่งและลำต้น และมีน้ำหนักช่อผลประมาณ 243.40-382.40 กรัม มีลักษณะทรงผลค่อนข้างกลม น้ำหนักประมาณ 12.43-19.61 กรัม ภายในผลประกอบด้วย กลีบเฉลี่ย 4.69 กลีบ เมื่อผลสุกจะมีลักษณะใสเหมือนแก้ว พบน้ำยางขาวขุ่นเล็กน้อย มีเนื้อผลสีชมพู และมีกลิ่นหอม มีเมล็ดขนาดใหญ่ บางเมล็ดจะลีบ และคุณภาพของกลางสาตเกาะสมุย พบว่า ผลผลิตมีความยาวช่อเฉลี่ย 16.36 เซนติเมตร มีขนาดผลสูงสุด เท่ากับ 34.13 x 36.79 มิลลิเมตร รสชาติของกลางสาตมีความหวานประมาณระหว่าง 18.45-19.96°Brix จากผลการศึกษาสามารถนำไปพัฒนาเป็นเทคโนโลยีการผลิตกลางสาตเพื่อให้เกษตรกรสามารถนำไปปรับใช้ในการผลิตกลางสาตให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

คำสำคัญ: เกาะสมุย, กลางสาต และ ลักษณะประจำพันธุ์

Abstract

Koh Samui Langsat is a distinctive fruit from the southern region of Thailand that has a delectable taste. It has a potential to be developed into an economically viable fruit in the upper southern region. The purpose of this study was to study the characteristics of the Koh Samui Langsat species in order to improve a suitable and effective technology for its Langsat production on Koh Samui Island. According to the investigation, Koh Samui Langsat is a large perennial plant. The average height is approximately 4-20 meters, with odd-ended feathery compound leaves, lance-shaped, and sharp at the end of the leaf. The edge of the leaf is wavy. While, the leaf base is oblique. The surface of the leaf is glossy, 5-6 pairs. The flowers are classified as a complete flower. The weight of branches and trunk was approximately 243.40-382.40 grams. The fruit is represented round shape. The weight of its fruit is about 12.43-19.61 grams. The average fruit consists of 4.69 arils. When the fruit ripened, the arils became transparent A little of the white latex is detected. The flesh is slightly pink and has a pleasant odor. Some arils have a big seed and some are seedless. Additionally, the fruit has an average bouquet length of 16.36 cm. with, an average bouquet weight of 310.88 grams, and a maximum fruit size of 34.13x36.79 mm. Koh Samui Langsat is sweet taste and ranges from 18.45 to 19.96°Brix. As a result, Koh Samui Langsat defines itself having an ability to be further studied in the production technology development of Langsat in Koh Samui appropriately and more efficiently in the future.

Keywords: Koh Samui, Langsat and Morphological characteristics.

1. บทนำ

กลางสาดเกาะสมุย มีการผลิตที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะพื้นที่ แม้ว่าจะมีการผลิตในหลายจังหวัดภาคใต้ แต่กลางสาดที่ผลิตในพื้นที่อำเภอเกาะสมุยจะมีรสชาติ หวานฉ่ำ และมีกลิ่นหอม มากกว่าพื้นที่อื่น ๆ [2] นอกจากนี้ กลางสาดเกาะสมุยยังมีลักษณะเด่นคือ ทรงผลค่อนข้างรียาว เมื่อผลหลุดออกจากช่อจะมีขั้วผล (calyx) หลุดติดออกมาด้วย เปลือกผลมีสีน้ำตาลอ่อน ถ้าผลมีขนาดเล็กเมล็ดมักจะลีบ ถ้าผลขนาดใหญ่ขึ้นจะมี 1-2 เมล็ด เปลือกเมื่อแกะมียางน้อย เนื้อแห้ง ผลสุกจะมีรสชาติหวานและมีกลิ่นหอม มีสีชมพูอ่อนๆ จึงทำให้สามารถจำหน่ายได้ในราคาที่สูงถึง 35-50 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าราคากลางสาดทั่วไปที่จำหน่ายได้เพียง 20-25 บาทต่อกิโลกรัมเท่านั้น ส่งผลให้กลางสาดเกาะสมุยได้รับความนิยมในกลุ่มผู้บริโภคและตลาดเป็นอย่างมาก ในขณะเดียวกันพื้นที่บ้านหินลาด ตำบลอ่างทอง อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นแหล่งปลูกกลางสาดเกาะสมุยที่มีคุณภาพและมีลักษณะเฉพาะเจาะจงเฉพาะพื้นที่บ้านหินลาด หมู่ที่ 2 ตำบลอ่างทอง อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี แต่ในระยะหลังมานี้ลองกองและทุเรียนได้รับความนิยมในพื้นที่มากขึ้น ส่งผลให้กลางสาดเกาะสมุย ถูกลดความสำคัญลง เกษตรกรขาดกำลังใจในการบำรุงรักษาสวน จึงส่งผลให้ผลผลิตที่ได้ไม่มีคุณภาพ ผลมีการหลุดร่วงและไม่สม่ำเสมอในแต่ละช่อจึงขายไม่ได้ราคา ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้พื้นที่ปลูกกลางสาดเกาะสมุยลดลงอย่างมาก เนื่องจากเกษตรกรดูแลรักษาแปลงผลิตไม่ดีเท่าที่ควร ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้ไม่สม่ำเสมอมียางขาวมาก มีรสชาติไม่หวาน เมื่อเก็บเกี่ยวมาตั้งไว้เพียง 2-3 ผลผลิตหลุดร่วงจากพวง เปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีดำ ส่งผลให้ไม่น่ารับประทาน ผู้บริโภคไม่นิยมซื้อ และส่งผลให้ผลผลิตกลางสาดจำหน่ายได้ในราคาถูก เกษตรกรเกิดความท้อในการผลิต ส่งผลให้พื้นที่การผลิตลดลงอย่างต่อเนื่อง [4] และนอกจากกลางสาดจะเป็นผลไม้รสชาติดี ผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศนิยมรับประทานแล้ว ยังมีสรรพคุณเป็นสมุนไพรที่มีศักยภาพในการรักษาโรคต่าง ๆ หรือ ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกายได้ รวมไปถึงมีฤทธิ์ในการต่อต้านสารอนุมูลอิสระ โดยสารสกัดจากกลางสาดสามารถนำไปพัฒนาเป็นเครื่องสำอางชนิดต่าง ๆ ได้อีกด้วย [3]

ทั้งนี้ จึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาลักษณะประจำพันธุ์ของกลางสาดเกาะสมุย เพื่อให้ได้องค์ความรู้และข้อมูลลักษณะประจำพันธุ์ของกลางสาด สำหรับเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาต่อยอดในการพัฒนาระบบการผลิตกลางสาดเกาะสมุยให้ประสิทธิภาพมากขึ้น ตลอดจนให้ได้องค์ความรู้เพื่อประชาสัมพันธ์และส่งเสริมให้กลางสาดเกาะสมุยเป็นที่นิยมและเป็นที่ยอมรับในกลุ่มผู้บริโภค เพื่อสร้างรายได้เพิ่มให้แก่เกษตรกรในพื้นที่ เพื่อประโยชน์ในการยกระดับคุณภาพชีวิตของเกษตรกรชาวสวนกลางสาดให้มีความมั่นคงในอาชีพและเกิดรายได้ที่ยั่งยืนต่อไป

2. วิธีการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 กิจกรรม ได้แก่ 1) การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะประจำพันธุ์ของกลางสาดเกาะสมุย และ 2) การศึกษาลักษณะของผลผลิตและคุณภาพของกลางสาดเกาะสมุย โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการศึกษา ดังต่อไปนี้

2.1 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะประจำพันธุ์ของกลางสาดเกาะสมุย

ดำเนินการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมพัฒนาที่ดิน กรมชลประทาน และกรมส่งเสริมการเกษตร เพื่อจัดทำบัญชีรายชื่อ (Listing Frame) ของเกษตรกรผู้ปลูกกลางสาดเกาะสมุย จากนั้นดำเนินการเก็บข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) จากเกษตรกรผู้ปลูกกลางสาดเกาะสมุย จำนวนทั้งสิ้น 54 ราย โดยใช้การสัมภาษณ์เพื่อสำรวจรวบรวมข้อมูลด้านระบบการผลิตกลางสาดเกาะสมุย โดยระหว่างการลงพื้นที่ได้พิจารณาคัดเลือกต้นกลางสาดที่สมบูรณ์จากแปลงของเกษตรกร แปลงละ 3 ต้น ซึ่งคัดเลือกต้นกลางสาดที่ให้ผลผลิตดี และมีรสชาติอร่อย จากนั้นทำสัญลักษณ์บริเวณต้นกลางสาดที่คัดเลือก และดำเนินการบันทึกข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ ได้แก่ ลักษณะลำต้น ใบ ดอก ผล เมล็ด และอื่น ๆ

2.2 การศึกษาลักษณะของผลผลิตและคุณภาพผลผลิตของกลางสาดเกาะสมุย

รับสมัครเกษตรกรที่สนใจเข้าร่วมโครงการโดยต้องยินยอมที่จะให้ข้อมูลระบบการผลิตกลางสาด เพื่อ บันทึกข้อมูลลักษณะของผลผลิตและคุณภาพผลผลิตของกลางสาดเกาะสมุย จากต้นที่คัดเลือกในแปลงเกษตรกรจำนวนทั้งสิ้น 10 ราย และดำเนินการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูลลักษณะต้น ข้อมูลการเจริญเติบโต ข้อมูลการออกดอกและติดผล ข้อมูลอายุการเก็บเกี่ยว ข้อมูลรสชาติของผลผลิต และข้อมูลการเข้าทำลายของโรคและแมลง



Figure 3 flower characteristics of Koh Samui Langsat

ข้อผล มีความยาวข้อยู่ในช่วงระหว่าง 12.82 –18.42 เซนติเมตร มีความยาวเฉลี่ย 16.44 เซนติเมตร โดย น้ำหนักข้อย มีน้ำหนักข้อยู่ในช่วงระหว่าง 243.40 –382.40 กรัม และมีน้ำหนักเฉลี่ย 311.71 กรัม

ผล มีลักษณะทรงผลรีค่อนข้างกลมเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะทรงผลของกลางสาตของทางจังหวัดอุดรดิตถ์ และกลางสาตภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีลักษณะทรงผลค่อนข้างกลมยาว **ขนาดผล** อยู่ในช่วง 27.35 –30.48 มิลลิเมตร มีขนาดเฉลี่ย 28.72 มิลลิเมตร **น้ำหนักผล** อยู่ในช่วง 12.43 –19.61 กรัม เปลือกผลบางสีเปลือก มีค่าสีอยู่ในช่วง Y11B-Y11C (สีเหลืองอ่อน) ผลหลุดร่วงจากข้อยค่อนข้างเร็ว **จำนวนกลีบ** มีจำนวนกลีบเฉลี่ย 4-5 กลีบ เมื่อสุกเนื้อผลจะมีลักษณะใสเหมือนแก้ว ไม่พบน้ำยางขาวขุ่น (milky sap) ซึ่งแตกต่างจากกลางสาตจากพื้นที่อื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากผลกลางสาตในพื้นที่อื่นมักพบน้ำยางขาวขุ่น เช่น กลางสาตอุดรดิตถ์พบว่า ผลเมื่อแกะจะมีน้ำยางขาวขุ่น กลางสาตเกาะสมุยมีกลิ่นหอม เนื้อผลมีสีชมพูอ่อน และ **ความหวาน (ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้)** อยู่ในช่วง 18.45–19.96 °Brix โดยมีค่าเฉลี่ย 19.25 °Brix รสชาติโดยรวมมีลักษณะรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย โดยใช้เครื่องมือวัดแบบพกพา เพื่อดำเนินการตรวจวัดในแปลง (Figure 4)



เมล็ด เมล็ดส่วนใหญ่ที่พบมีขนาดเล็กและลีบ ซึ่งพบเมล็ดที่มีขนาดใหญ่จำนวนน้อย คัพภะ (Embryo) เจริญได้เองโดยไม่ต้องมีการผสมเกสร เมล็ดมีรสขมจัด **ขนาดเมล็ด** มีขนาดเฉลี่ย 12.56 มิลลิเมตร และ**จำนวนเมล็ด** มีจำนวนเฉลี่ย 1.36 เมล็ด โดยพบว่าส่วนใหญ่มีเมล็ดอยู่ประมาณ 1 เมล็ดเท่านั้น (Figure 5)

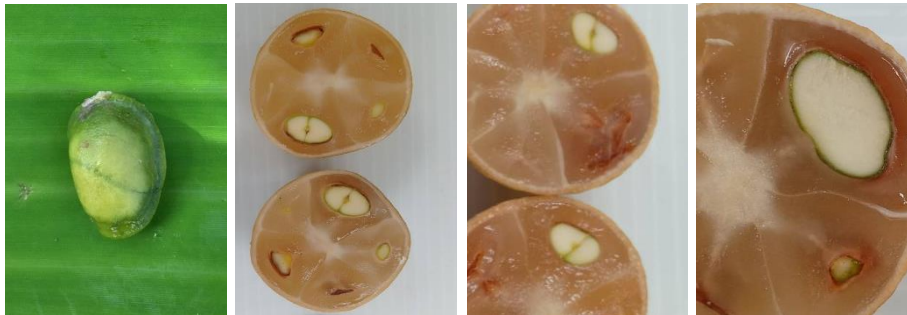


Figure 5 Seed characteristics of Koh Samui Langsat.

จากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและลักษณะประจำพันธุ์ของกลางสาต พบว่า ลักษณะสัณฐานวิทยาและลักษณะประจำพันธุ์ของกลางสาต อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่า ลำต้นเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ ความสูงระหว่าง 4-25 เมตร ชนิดของใบเป็นแบบประกอบขนนกปลายคี่ รูปร่างใบเป็นรูปหอก ปลายใบเรียวแหลม ขอบใบเป็นคลื่น ฐานใบเฉียง ผิวใบเรียบเป็นมัน มีใบย่อย 5-6 คู่ ขนาดใบ (กว้าง x ยาว) 9.55 x 22.50 เซนติเมตร เป็นดอกสมบูรณ์เพศ ดอกเป็นช่อ ช่อดอกเกิดเป็นกลุ่ม และเกิดตามกิ่งและลำต้น มีจำนวนช่อดอกระหว่าง 3-15 ช่อ สีกลีบเป็นสีขาวเหลือง จำนวน 5 กลีบ มีเกสรเพศผู้จำนวน 10 อัน รังไข่มีรูปร่างกลมจำนวน 5 พู ลักษณะช่อผล มีความยาวช่อระหว่าง 16.23-18.42 เซนติเมตร และมีน้ำหนักช่อผลระหว่าง 239.20-377.30 กรัม ส่วนลักษณะผล มีผลรีค่อนข้างกลม ขนาดผล (กว้าง x ยาว) ระหว่าง 30.86 x 35.00 – 34.13 x 36.97 มิลลิเมตร น้ำหนักผลระหว่าง 12.43-19.61กรัม สีเปลือก เป็นสีเหลืองอ่อน (Y11B-Y11C) จำนวนกลีบเฉลี่ย 4.69 กลีบ ความหวาน ระหว่าง 18.45 – 19.96 ° Brix ลักษณะผลสุก พบว่า มีลักษณะใสเหมือนแก้ว พบน้ำยางขาวขุ่นเล็กน้อย มีกลิ่นหอม และเนื้อผลเป็นสีชมพู สำหรับลักษณะเมล็ด พบว่า เมล็ดในผลค่อนข้างใหญ่ เมล็ดลีบ การผสมเกสรสามารถเจริญเติบโตได้เองโดยไม่ต้องมีการผสมเกสร รสชาติของเมล็ดขมจัด เมล็ดมีขนาดระหว่าง 12.56x16.24 มิลลิเมตร และมีจำนวนเมล็ด 1-2 เมล็ด (Table 1)

Table 1 The characteristics of the stems, leaves, flowers, fruit bouquets and plants of the islanders of Koh Samui.

Characteristics	Detail
Trunk	
Stem style	Large perennial.
Trunk height	4 - 25 meters
Leaf	
Leaf type	Odd-end feather compound leaves
Leaf shape	Spear
Leaf tip	Slender.
Leaf edge	Wavy leaf edges
Leaf surface	The surface of the leaves is smooth.
Number of leaves	5 - 6 pairs of small leaves
Leaf size (Width x Length)	9.55 x 22.50 cm.
Flower	
Type of flowers	Perfect flower
Type of flowers	Bouquet of flowers
Inflorescence characteristics	Born in a group
Inflorescences follow	Branches and trunk
Number of inflorescences	3-15 Bouquets
Petal color	Yellow white
Number of petals	5 Petals
Number of stamens	10 Stamens
Ovary shape	Round shape number 5 lobe
Bouquet	
Bouquet length	16.23-18.42 cm.
Bouquet weight	239.20-377.30 g.
Fruits	
Fruit shape	The oval is rather round.30.86 x 35.00 – 34.13 x
Fruit size (width x length)	36.97 mm.
Fruit weight	12.43 – 19.61 g.
Shell color	Primrose (Y11B – Y11C)
Number of petals	4.69 Petals
Sweetness	18.45 – 19.96 ° Brix
Ripe fruit	Looks clear like glass
Milky white latex	Found a little opaque white latex.
Smell	Fragrant
Flesh	Pink.

Characteristics	Detail
Seed	
Seed	Relatively large seeds often withered seeds
Pollination	It doesn't require pollination to grow on its own.
Taste	Bitter taste
Seed size (Width x Length)	11.75x15.06-14.89x18.26 mm.
Number of seeds	1-2 seed

3.2 การศึกษาลักษณะของผลผลิตและคุณภาพผลผลิตกลางสาตเกาะสมุย

จากการศึกษาลักษณะของผลผลิตและคุณภาพผลผลิตกลางสาตเกาะสมุย โดยเก็บข้อมูลจากเกษตรกรผู้ปลูกกลางสาตเกาะสมุย จำนวนทั้งสิ้น 10 ราย เพื่อบันทึกลักษณะของผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตกลางสาต พบว่า มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (Table 2)

จากการบันทึกลักษณะความยาวข้อ พบว่า มีความยาวข้อเฉลี่ย 16.36 เซนติเมตร โดยมีความยาวอยู่ในช่วงระหว่าง 16.23-18.42 เซนติเมตร โดยกลางสาตที่เก็บเกี่ยวจากแปลงที่ 10 มีความยาวข้อมากที่สุดเท่ากับ 18.42 เซนติเมตร รองลงมา คือ กลางสาตจากแปลงที่ 7 แปลงที่ 5 และ แปลงที่ 2 มีค่าเท่ากับ 17.72 17.64 และ 17.23 ตามลำดับ ส่วนความยาวข้อกลางสาตจากแปลงของ นายสำราญ เกตุแก้ว มีความยาวข้อต่ำสุดเท่ากับ 16.23 เซนติเมตร

จากการบันทึกลักษณะน้ำหนักข้อ พบว่า มีน้ำหนักข้อเฉลี่ย 310.88 กรัม โดยมีน้ำหนักอยู่ในช่วงระหว่าง 239.20-382.40 กรัม โดยกลางสาตที่เก็บเกี่ยวจากแปลงที่ 5 มีน้ำหนักข้อมากที่สุดเท่ากับ 382.40 กรัม รองลงมา ได้แก่ กลางสาตแปลงที่ 2 แปลงที่ 10 และแปลงที่ 7 มีค่าเท่ากับ 362.30, 330.80 และ 324.20 และกลางสาตจากแปลงที่ 4 มีน้ำหนักข้อต่ำที่สุด เท่ากับ 274.10 กรัม

จากการบันทึกลักษณะน้ำหนักผล พบว่า มีน้ำหนักผลเฉลี่ย 306.20 กรัม โดยมีน้ำหนักอยู่ในช่วงระหว่าง 239.20-377.30 กรัม โดยกลางสาตที่เก็บเกี่ยวจากแปลงที่ 5 มีน้ำหนักข้อมากที่สุดเท่ากับ 377.30 กรัม รองลงมา ได้แก่ กลางสาตแปลงที่ 2 แปลงที่ 10 และแปลงที่ 7 มีค่าเท่ากับ 358.30, 326.20 และ 319.10 และกลางสาตแปลงที่ 3 มีน้ำหนักข้อต่ำที่สุด เท่ากับ 239.20 กรัม

จากการบันทึกลักษณะจำนวนผลต่อข้อ พบว่า มีจำนวนผลต่อข้อเฉลี่ย 20 ผล โดยมีจำนวนผลต่อข้ออยู่ในช่วงระหว่าง 15-24 ผล โดยกลางสาตที่เก็บเกี่ยวจากแปลงที่ 8 มีจำนวนผลต่อข้อน้อยที่สุดเท่ากับ 15 ผล และกลางสาตจากแปลงที่ 2 มีจำนวนผลต่อข้อมากที่สุด เท่ากับ 24 ผล

จากการบันทึกลักษณะขนาดผล พบว่า มีขนาดผลอยู่ระหว่าง 30.86x35.00- 34.13x36.97 มิลลิเมตร โดยกลางสาตที่เก็บเกี่ยวจากแปลงที่ 7 มีขนาดผลใหญ่ที่สุดเท่ากับ 34.13x36.97 มิลลิเมตร และกลางสาตจากแปลงที่ 5 มีขนาดผลเล็กที่สุดเท่ากับ 30.86x35.00 มิลลิเมตร

และจากการบันทึกลักษณะสีเปลือก พบว่า มีค่า Y11C และ Y11B ส่วนลักษณะรสชาติ พบว่า มีความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 19.20 องศาบริกซ์ โดยมีค่าใกล้เคียงกันมีค่าอยู่ระหว่าง 18.45 - 19.96 องศาบริกซ์ มีขนาดเมล็ดอยู่ระหว่าง 11.75x15.06 - 14.89x18.26 มิลลิเมตร มีจำนวนกลีบเฉลี่ย 4.69 กลีบ และมีจำนวนเมล็ดเฉลี่ย 1.40 เมล็ด โดยมีเมล็ดอยู่ระหว่าง 1-2 เมล็ด

จากข้อมูลผลการศึกษา พบว่า กลางสาตเกาะสมุย มีศักยภาพที่จะสามารถพัฒนาไปสู่ไม้ผลที่สามารถสร้างรายได้ในระยะยาวให้แก่เกษตรกร แต่ต้องอาศัยการศึกษาในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อต่อยอดและพัฒนาเป็นเทคโนโลยีการผลิตกลางสาตที่เหมาะสม ตลอดจนการพัฒนากระบวนการผลิตโดยการนำมาตรฐานมาปรับใช้เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ซึ่งจะนำไปสู่การผลิตที่เพิ่มขึ้นทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของเกษตรกรให้มีความมั่นคงเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ ทองมา และคณะ ที่พัฒนาเทคโนโลยีการผลิตแบบผสมผสานร่วมกับภูมิปัญญาท้องถิ่นและเทคโนโลยีแผนใหม่ เช่น การพัฒนาระบบการให้น้ำ และการจัดการศัตรูกลางสาตแบบผสมผสาน สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกลางสาตเกิดความมั่นคงและยั่งยืนจนถึงปัจจุบัน

Table 2 Product characteristics and product quality Langsat Koh Samui.

Farm number	Characteristics of produce and quality of Lagsard produce										
	Bouquet length (cm.)	bouquet weight (g.)	bouquet fruit (g.)	number of results / bouquet (Fruit)	fruit size (mm.) (width x length)	Shell color	Flesh color	Fruit flavor	Seed size (mm.) (width x length)	Number of petals	Seed
1	16.95	324.10	319.10	16.00	32.43x34.86	Y11C	156B	18.45	12.18x16.33	4.70	1.0
2	17.23	362.30	358.30	24.00	32.61x35.22	Y11C	196C	19.02	14.89x18.26	4.80	2.0
3	15.46	243.40	239.20	16.00	31.12x35.68	Y11B	196C	18.56	12.68x16.23	4.50	1.0
4	12.82	274.10	269.50	16.00	32.81x36.73	Y11C	196D	18.64	12.56x16.32	4.84	2.0
5	17.64	382.40	377.30	22.00	30.86x35.00	Y11B	196C	18.95	13.61x17.04	4.58	2.0
6	16.84	291.00	287.00	22.00	31.63x34.29	Y11B	156B	19.85	11.75x15.06	4.70	1.0
7	17.72	324.20	319.00	20.00	34.13x36.97	Y11C	196C	19.67	12.60x16.03	4.52	1.0
8	14.29	280.90	275.90	15.00	31.59x36.08	Y11C	156B	19.85	12.24x16.02	4.82	1.0
9	16.23	295.60	290.50	24.00	32.72x37.15	Y11B	196C	18.96	12.36x16.52	4.64	2.0
10	18.42	330.80	326.20	19.00	33.82x37.24	Y11C	196C	19.96	11.84x15.43	4.80	1.0
Average	16.36	310.88	306.20	19.40				19.20		4.69	1.4

4. สรุป

ระบบการปลูกกลางสาดในพื้นที่ อำเภอกะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี ส่วนใหญ่ปลูกในสภาพพื้นที่ราบตอน มีลักษณะดินเป็นดินร่วนทราย การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง และมีความอุดมสมบูรณ์สูง เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่เคยมีการวิเคราะห์ดิน ส่วนใหญ่ใช้กลางสาดพันธุ์พื้นเมืองกะสมุย โดยบางรายมีขยายพันธุ์ได้เอง ส่วนใหญ่ขยายพันธุ์โดยวิธีการเพาะเมล็ด โดยเกษตรกรได้ปลูกในรูปแบบผสมผสานกับไม้ผลชนิดอื่นหลายชนิด เช่น ทุเรียนพื้นเมือง มังคุด เงาะ และมะพร้าว เป็นต้น โดยอาศัยแหล่งน้ำฝนและลำธารในการเพาะปลูก ในด้านการจัดการสวนกลางสาดนั้นจะมีการใส่ปุ๋ยปีละครั้งโดยการหว่านรอบโคนต้นภายใต้ทรงพุ่ม ไม่มีการตัดแต่งทรงพุ่ม การตัดแต่งช่อดอก การตัดแต่งผลและไม่มีการทำผล รวมทั้งไม่มีการใช้สารกระตุ้นการออกดอก ส่วนในด้านโรคและแมลงที่เข้าทำลายมักพบ โรคราคำ โรคราขาว โรคราสีชมพู แมลงวันทอง ผีเสื้อมวนหวาน และหนอนชอนเปลือกลำต้น โดยเกษตรกรส่วนใหญ่มักจะไม่มีการป้องกันกำจัดโรคและแมลงดังกล่าว

สามารถสรุปได้ว่า กลางสาดกะสมุย มีคุณภาพสามารถจำหน่ายในตลาดทั่วไปได้ มีรสชาติที่อร่อย เหมาะสำหรับเป็นไม้ผลทางเลือกที่เกษตรกรสามารถปลูกเพื่อเพิ่มรายได้ได้ โดยมีข้อเสนอแนะให้มีการทดสอบและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มศักยภาพระบบการผลิตกลางสาดกะสมุยให้มีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มทางเลือกและโอกาสให้เกษตรกรชาวสวนในพื้นที่ ในขณะที่เดียวกันควรมีการประชาสัมพันธ์ให้แก่เกษตรกรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอำเภอกะสมุยมีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและต่างชาติเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะช่วยผลักดันให้กลางสาดกะสมุยเป็นที่รู้จักและที่นิยมในกลุ่มผู้บริโภค รวมทั้งอาจเกิดช่องทางการแปรรูปและช่องทางการจัดจำหน่ายที่เพิ่มมากขึ้น ตลอดจนการเพิ่มมูลค่าให้แก่กลางสาดกะสมุยโดยการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ จะช่วยให้เกษตรกรผู้ปลูกกลางสาดกะสมุยมีรายได้เพิ่มมากขึ้น เกิดการหมุนเวียนเศรษฐกิจในชุมชนฐานราก และนำไปสู่การเพิ่มศักยภาพการผลิตเพื่อให้คุณภาพตามมาตรฐานเพื่อการส่งออก อันจะเป็นการยกระดับคุณภาพชีวิตให้เกษตรกรมีชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นได้อย่างยั่งยืน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ ๗ ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการผลิตพืชภาคใต้ตอนบน คณะผู้บริหาร และข้าราชการที่ให้การปรึกษา ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งความร่วมมือของพนักงานราชการ และพนักงานจ้างเหมาบริการ ตลอดจนหน่วยงานทางการเกษตร เกษตรกร กลุ่มเกษตรกร และบุคคลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งได้ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงาน และให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่งที่ให้การอนุเคราะห์ให้การช่วยเหลือด้วยความปรารถนาดีตลอดมา และหวังอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อเกษตรกร ประชาชน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปขยายผลและใช้ประโยชน์ต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทองมา มานะกุล, สุวรรณ หาญวิริยะพันธุ์, ขวนชื่น เตี้ยวิไล และ จุฬจิรา หุณฑนามระ. 2545. บทเรียนจากระบบไม้ผลต่างระดับที่มีกลางสาดเป็นพืชหลัก บ้านสวนเขื่อน อำเภอมือง จังหวัดแพร่ : จากภูมิปัญญาท้องถิ่นสู่เทคโนโลยีเกษตรยั่งยืน: การสัมมนาวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 2 เรื่อง ระบบเกษตรเพื่อการจัดการทรัพยากรและพัฒนาชนบทเชิงบูรณาการ ระหว่างวันที่ 26-27 สิงหาคม 2545 ณ โรงแรมโฆษะ อำเภอมือง จังหวัดขอนแก่น. หน้า 68-73
- [2] นพรัตน์ บำรุงรักษ์. 2529. กลางสาด ทุก และลองกอง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://kaekae.oas.psu.ac.th/rlej/viewarticle.php?id=890> (เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 มีนาคม 2566)
- [3] สาโรจน์ จินประชา. 2562. องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของพืชสกุลกลางสาด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. 4. 42-52.
- [4] อุดุลย์ศักดิ์ ไชยราช. 2558. กลางสาดหวานอุดรดิตถ์. เทคโนโลยีชาวบ้าน วันที่ 11 กันยายน 2558. (ออนไลน์): เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ http://www.technologychaoban.com/news_detail.php?nid=2065 (เข้าถึงเมื่อวันที่ 18 มีนาคม 2566)

ผลของสารละลายแคลเซียมต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักกูดตัดแต่ง Effect of calcium on postharvest quality of fresh-cut edible ferns

วรินทร์ คงลา^{1*} สุริยพันธ์ สุภาพวานิช² อัญญา จันทร์ปะทิว อาฮูจา¹ พรรณีญา ย้วยล¹ และ วชิรินทร์ รัตนพันธ์¹

Warinthon Khongla^{1*}, Suriyan Supapvanich², Anjana Junpatiw Ahuja¹, Pannipa Youryon¹ and Watcharin Rattanapan

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

² ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

¹ Department of Agricultural Technology, Prince of Chumphon campus, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chumphon

² Department of Agricultural Education School of Industrial Education and Technology King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Thailand

*Corresponding author: วรินทร์ คงลา , e-mail address: 65206022@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

อายุการเก็บรักษาสั้นเป็นปัญหาสำคัญของผักกูดหลังการเก็บเกี่ยว การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเกลือแคลเซียมต่อคุณภาพของผักกูดตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยนำผักกูดตัดแต่งสดแช่ในสารละลาย calcium chloride, calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและตรวจสอบในวันที่ 0, 2, 4, 6 และ 8 วันของการเก็บรักษา ผลการศึกษาพบว่าสารละลายแคลเซียม calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักกูดได้นานที่สุด 8 วัน เมื่อเทียบกับการรักษาอื่นๆ การรักษานี้ช่วยชะลอการสูญเสียความแน่นเนื้อและปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่ามีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น การแช่ calcium chloride ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ชะลอการลดลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิก และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดได้ โดยรวมผักกูดตัดแต่งสดแช่ calcium gluconate สามารถรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและยืดอายุการเก็บรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการแช่ calcium chloride และ calcium lactate

คำสำคัญ: ผักกูด, อายุการเก็บรักษา, แคลเซียม

Abstract

Short shelf life is the main problem of edible fern after harvested. This study aimed to investigate the effect of calcium salts on quality of fresh-cut edible fern. Fresh-cut edible ferns were immersed in either 0.5% or 1.0% (w/v) solutions of calcium chloride, calcium lactate or calcium gluconate. Samples were stored at 4 °C examined on days 0, 2, 4, 6 and 8 days of storage. Results revealed that a 0.5% (w/v) of calcium gluconate solution extended the shelf-life of the fresh-cut edible ferns the longest (8 days) compared to other treatments. This treatment delayed the loss of firmness and total chlorophylls content while Increasing antioxidant content and free radical scavenging ability. Immersion in 0.5% (w/v) calcium chloride minimized loss of ascorbic acid content and total phenolic content. Overall, immersing fresh-cut fern in 0.5% calcium gluconate: preserved postharvest quality and extended shelf life more effectively than calcium chloride and calcium lactate treatments.

Keywords: Edible fern, Shelf life, Calcium

1. บทนำ

ผักกูด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Diplazium esculentum* อยู่ในวงศ์ Athyriaceae มักพบผักกูดพบกระจายพันธุ์ทั่วไปในทวีปเอเชีย บริเวณริมน้ำหรือพื้นที่ชุ่มน้ำ เจริญเติบโตอยู่ในฤดูฝน ในตลาดผักของประเทศไทยผักกูดมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว [1] ในการประกอบอาหารนิยมนำใบอ่อน ช่ออ่อนหรือส่วนของฟรอนด์ (Fronde) ที่โผล่ขึ้นมาจากลำต้น มีส่วนปลายม้วนงอนิยมนำรับประทานสุก ไม่รับประทานสด เป็นแหล่งของเส้นใยอาหารและแคลเซียมสูง มีธาตุฟอสฟอรัสซึ่งเป็นสารอาหารสำคัญต่อร่างกาย แต่อายุการเก็บรักษาและคุณภาพของผักกูดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสัมพันธ์อุณหภูมิ แสง ความชื้นสัมพัทธ์ การเก็บรักษาผักที่ถูกต้องจะช่วยควบคุมหรือยับยั้งการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการควบคุมการสูญเสีย น้ำของผัก ควบคุมอัตราการหายใจให้ช้าลงและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้สารเคมีที่เหมาะสม [2] สารเคมีประเภทแคลเซียมที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางว่าเป็นเทคนิคทางเลือกที่ใช้ในการควบคุมเน่าเสีย [3] เกลือแคลเซียมเป็นที่นิยมใช้ในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ให้มีความแน่นเพิ่มขึ้น [4] แคลเซียมยังมีผลต่อกระบวนการสุกภายในผลิตผลผักและผลไม้ โดยควบคุมกลไกปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล [5] จึงได้ทำการศึกษาลักษณะของแคลเซียมก่อนการเก็บรักษาของผักกูดตัดแต่ง

2. วิธีการศึกษา

นำผักกูด (Edible fern) จากตำบลบางสน อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ส่งถึงอาคารปฏิบัติการหลักสูตรพืชสวน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ภายหลังจากการล้าง ได้มีการตัดเพื่อลดขนาด รวมทั้งสะเด็ดน้ำวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) นำมาแช่ calcium chloride, calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 นาที (ชุดควบคุม) บรรจุในกล่องพลาสติก Polyethylene (PE) แบบปิดฝา นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 ทำการสุ่มในวันที่ 2, 4, 6 และ 8 ของการเก็บรักษา ทำการบันทึกผลการทดลองดังนี้ คะแนนการยอมรับโดยรวม, การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก, เนื้อสัมผัส, ปริมาณคลอโรฟิลล์ [7] และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธี Antioxidant Activity (DPPH) [7]

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ลักษณะปรากฏ

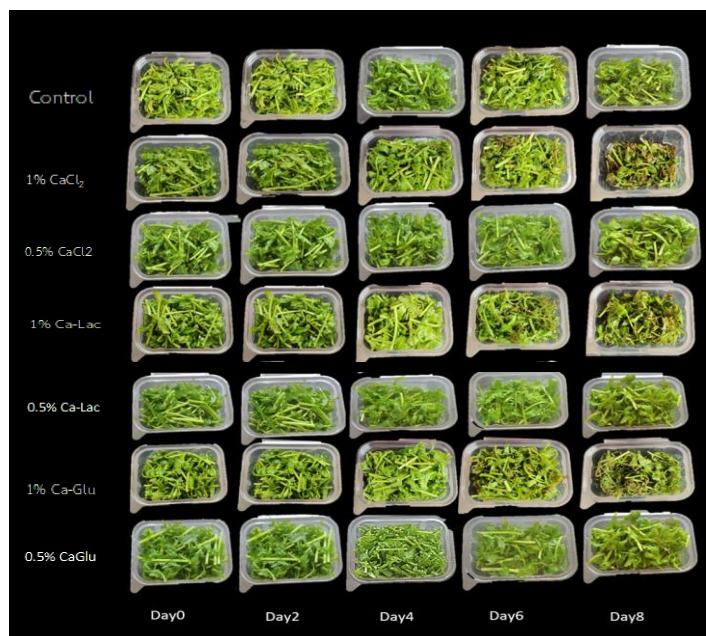


Figure 1. Visual appearance of edible fern during storage 4 °C for 8 days.

Figure 1 แสดงลักษณะปรากฏของผักกูดตัดแต่งสดพร้อมบริโภคที่ใช้แคลเซียม ที่ทำการเก็บรักษานาน 8 วัน พบว่าวันที่ 2 ของการเก็บรักษา ผักกูดชุดควบคุม (ไม่ทำการแช่) calcium chloride, calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ยังคงความสด วันที่ 4 ของการเก็บรักษามีอาการเหี่ยวโดยเริ่มเหี่ยวบริเวณก้านใบสุดท้ายของก้านผัก

ทุกวิธีการทดลอง วันที่ 6 ของการเก็บรักษามีอาการเหี่ยวมากขึ้นเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล ผักกูดที่ใช้ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบอาการเหี่ยวหรือเปลี่ยนสี ในวันที่ 8 ผักกูดมีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลสูงขึ้นไม่สามารถรับประทานได้ เห็นได้ชัดใน ผักกูดชุดควบคุม (ไม่ทำการแช่) calcium chloride และ calcium lactate ความเข้มข้น 1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับตามวันเก็บรักษา ยกเว้นผักกูดที่ใช้ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีอาการเหี่ยวและเปลี่ยนสีน้อยที่สุด ดังนั้นสรุปได้ว่า ผักกูดที่ใช้แคลเซียม calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีผลช่วยให้ผักมีอาการเหี่ยวและการเปลี่ยนสีช้าลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น

3.2 คะแนนยอมรับโดยรวม

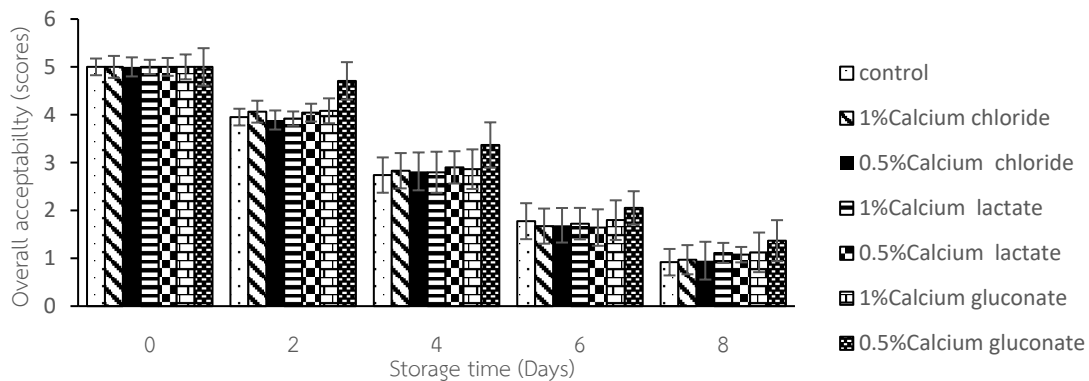


Figure 2. Effect of calcium on overall acceptability score of fresh-cut edible ferns during storage a 4 °C for 8 days.

Figure 2 แสดงคะแนนการยอมรับโดยรวมของผักกูดที่ใช้แคลเซียมที่ทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน พบว่าในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาคะแนนยอมรับผักกูด (ชุดควบคุม) ผักกูดที่ใช้ calcium chloride และ calcium lactate ความเข้มข้น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์มีคะแนนยอมรับลดลง ยกเว้นผักกูดที่ใช้ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์คะแนนการยอมรับยังคงเท่ากับวันที่ 0 ของการเก็บรักษา วันที่ 4, 6 และ 8 ของการเก็บรักษาผักกูดที่ใช้ calcium chloride และ calcium lactate ความเข้มข้น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์มีคะแนนยอมรับลดลงตามลำดับเวลาการเก็บรักษา โดยในผักกูดที่ใช้ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์คะแนนการยอมรับคงสูงที่สุด ดังนั้นสรุปได้ว่า ผักกูดที่ใช้ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ยังคงคุณภาพผักกูดได้นานที่สุดเห็นได้จากการให้คะแนนของผู้บริโภคที่มีคะแนนสูงที่สุดทุกวันในการเก็บรักษา

3.3 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

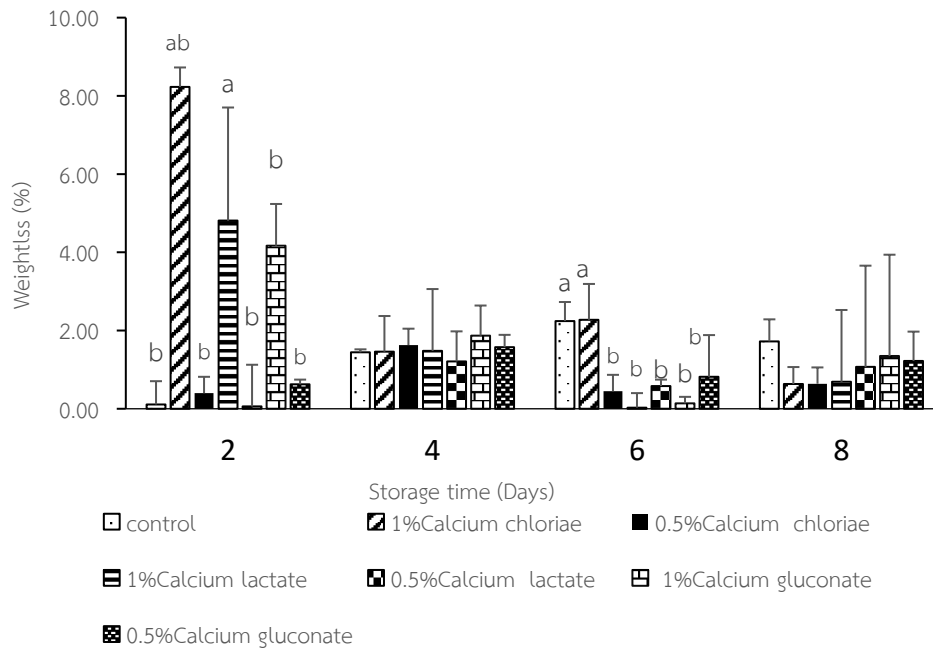


Figure 3. Effect of calcium on weight loss fresh-cut edible ferns during storage at 4°C for 8 days.

Figure 3 แสดงผลของการใช้แคลเซียมต่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผักกูดตัดแต่งสด พบว่าผักกูดที่ตัดแต่งพร้อมบริโภคนอกทุกวิธีการทดลองมีอัตราการของน้ำหนักเพิ่มขึ้น พบว่าในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาผักกูดที่ใช้ calcium chloride, calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์มีการเพิ่มของน้ำหนักมากกว่า ผักกูดที่ใช้แคลเซียม 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 3 ชนิด ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาผักกูดที่ใช้ calcium chloride ความเข้มข้น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ มีการเพิ่มน้ำหนักมากที่สุดของการเก็บรักษาผักกูด ส่วนวันที่ 8 ของการเก็บรักษามีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักลดลงและไม่มีความแตกต่างทางสถิติ การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักผักกูดจะลดลงในวันที่ 4, 6 และ 8 ของการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการให้คะแนนโดยรวมของผู้บริโภคที่มีคะแนนลดลงตามลำดับวันเก็บรักษา [9] ผลผลิตผักสดบางชนิดเมื่อเก็บเกี่ยวแล้วยังมีการพัฒนาเจริญเติบโต เช่น ส่วนของยอดอ่อนซึ่งส่งผลให้สามารถตอบสนองต่อแสง ทำให้ผักมีอายุมากขึ้นจึงทำให้มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนัก การสูญเสียน้ำและการใช้อาหารสะสมในผลผลิต นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบหลักของผลผลิตทุกชนิดซึ่งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของน้ำหนักผลผลิต [10] ชุดควบคุม มีการเพิ่มขึ้นของน้ำมากที่สุดภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน ของผักกูดที่ตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ใช้ calcium chloride ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีการเพิ่มของน้ำน้อยที่สุดระหว่างการเก็บรักษาซึ่งขัดแย้งกับ [11] ระยะเวลาของการเก็บรักษามีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นตามอายุการเก็บรักษา ดังนั้นสรุปได้ว่าผักกูดที่ใช้ calcium chloride, calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ช่วยให้การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักผักกูดน้อยลง

3.4 เนื้อสัมผัส

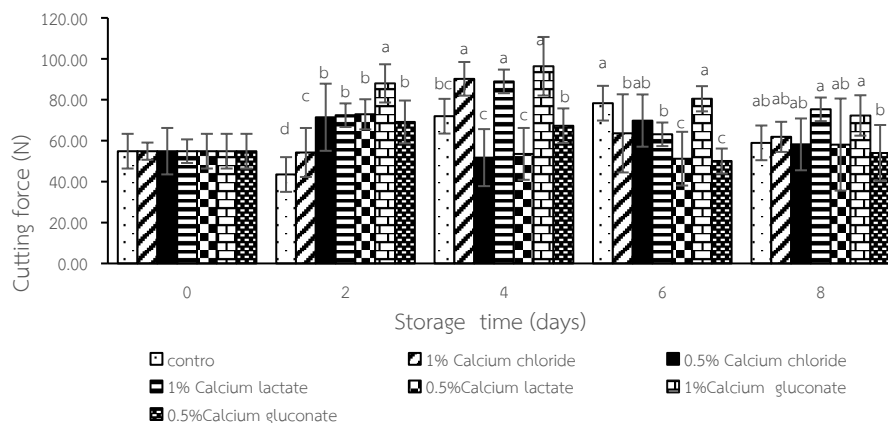


Figure 4. Cutting force of fresh-cut edible fern treated with various calcium chloride, calcium lactate and calcium gluconate concentration during storage at 4°C for 8 days.

Figure 4 แสดงแรงตัดต่อผักกูดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำที่ใช้แคลเซียม พบว่าผักกูดที่ใช้ calcium chloride , calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษามีการใช้แรงตัดเพิ่มขึ้นโดยผักกูดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำที่ใช้ calcium gluconate ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแรงตัดสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาพบว่าชุดควบคุมและผักกูดที่ใช้แคลเซียม ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแรงตัดสูงที่สุด ผักกูดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำที่ใช้ calcium chloride และ calcium lactate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแรงตัดน้อยที่สุด ในวันที่ 6 การเก็บรักษาพบว่าค่าแรงตัดมีแนวโน้มลดลง โดยชุดควบคุมและผักกูดที่ใช้ calcium gluconate ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแรงตัดสูงที่สุด ผักกูดที่ใช้แคลเซียม calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีความค่าแรงตัดน้อยที่สุด และวันที่ 8 ของการเก็บรักษาพบว่าผักกูดที่ใช้ calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผักกูดที่มีค่าแรงตัดน้อยที่สุดคือผักกูดที่ใช้ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อนำค่าแรงตัดผักกูดที่ใช้ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับค่าแรงตัดในวัน 0 ของการเก็บรักษา พบว่ามีค่าแรงตัดใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับการให้คะแนนโดยรวม และการลดของน้ำหนักผักกูดแสดงให้เห็นว่าผักกูดยังคงสามารถเจริญเติบโตมีการชะลอเพิ่มขึ้นและแสดงให้เห็นว่าการใช้แคลเซียมสามารถชะลอการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ [12] แคลเซียมมีผลต่อเนื้อเยื่อ ความแข็งแรงของผนังเซลล์ ส่งเสริมให้ผลมีความแน่นเนื้อและความกรอบมากขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่าผักกูดที่ใช้แคลเซียมสามารถคงสภาพเนื้อสัมผัสได้ดีโดยเห็นได้ชัดจากแรงตัดในวันที่ 8 ค่าแรงตัดใกล้เคียงกับก่อนการเก็บรักษา

3.5 ปริมาณคลอโรฟิลล์

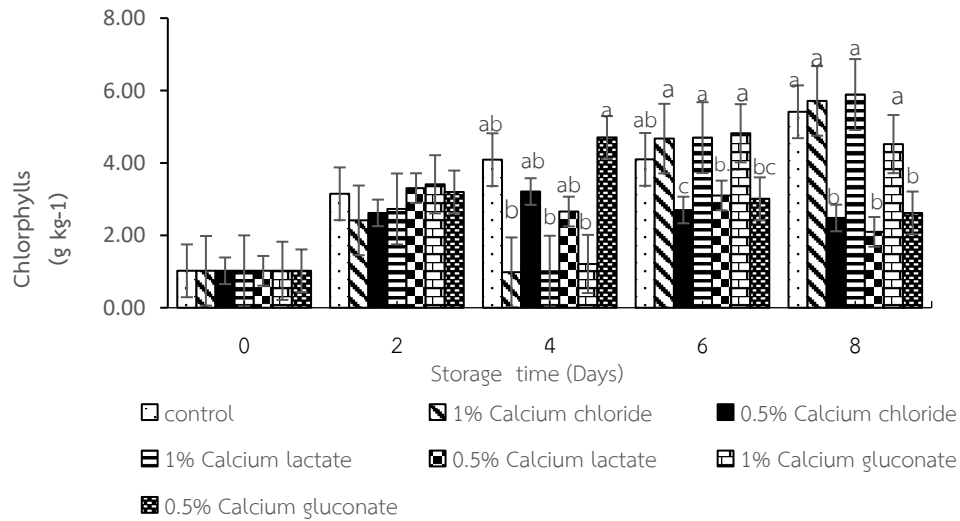


Figure 5. Chlorophyll of fresh-cut edible fern treated with various calcium chloride, calcium lactate and calcium gluconate concentration during storage at 4°C for 8 days.

Figure 5 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ผักกูดที่ทำการใช้ calcium chloride, calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ พบว่าในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ มีการเพิ่มขึ้นภายหลังการเก็บรักษาแต่ปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ภายหลังการเก็บรักษา 4, 6 วัน พบว่าการใช้ calcium gluconate มีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและการใช้ calcium chloride, calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ และ calcium chloride, calcium lactate ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน ของการเก็บรักษา พบว่าผักกูดที่ใช้ calcium chloride, calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น แสดงให้เห็นว่าการใช้แคลเซียมสามารถชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ [13] โดยสภาพดังกล่าวสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ [14] ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรูปของคลอโรฟิลล์ให้อยู่ในรูปที่ไม่มีสี (colorless) จึงทำให้ผักกูดยังคงสีเขียวได้เป็นเวลานานกว่าที่เก็บรักษาไว้ในสภาพปกติ สรุปได้ว่าผักกูดที่ใช้แคลเซียมสามารถชะลอการเสื่อมสลายของปริมาณคลอโรฟิลล์ได้

3.6 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธี Antioxidant Activity (DPPH)

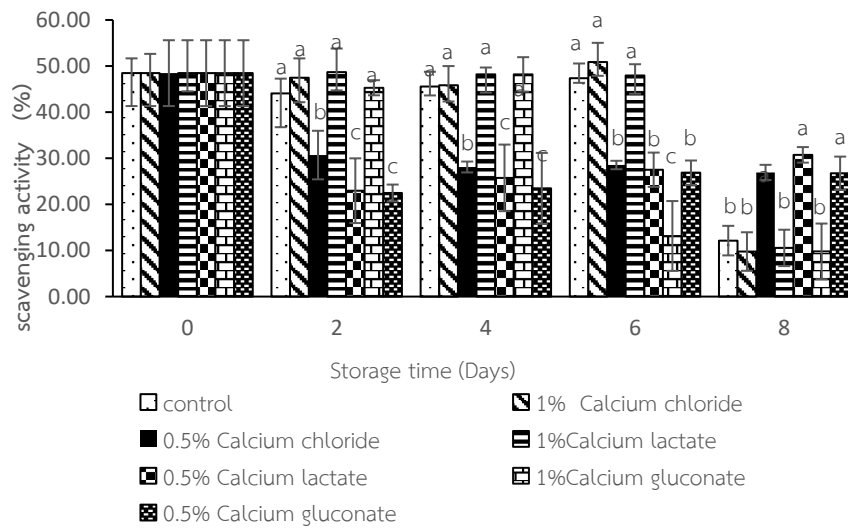


Figure 6. DPPH Scavenging activity of fresh-cut edible fern treated with various calcium chloride, calcium lactate and calcium gluconate concentration during storage at 4°C for 8 days.

Figure 6 แสดงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของผักกูดตัดแต่งสดพร้อมบริโภคน้ำจิ้ม calcium chloride, calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 8 วัน พบว่าผักกูดที่ใช้ calcium chloride, calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ และชุดควบคุม มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระสูงที่สุดใน 2, 4 และ 6 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับผักกูดที่ใช้ calcium chloride, calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน ผักกูดที่ใช้ calcium chloride, calcium lactate และ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น โดยทั้งหมดมีลดลงตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา [15] ดังนั้นสรุปได้ว่าแคลเซียมช่วยชะลอการลดลงของความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระในผัก

4. สรุป

จากการศึกษาผลของสารละลายแคลเซียมต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักกูดตัดแต่ง การใช้ calcium gluconate ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน มีผลต่อการคะแนนการยอมรับโดยรวม, ชะลอการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก, เนื้อสัมผัส, ปริมาณคลอโรฟิลล์ และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธี Antioxidant Activity (DPPH) มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ และความเข้มข้นของแคลเซียมมีผลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักกูดตัดแต่ง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการพืชสวน ห้องปฏิบัติการกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] จรินทร์ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [2] ดนัย บุญเกียรติ และ พิชญา พูลลาภ. 2562. ผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อคุณภาพของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่
- [3] นิธิยา รัตนานนท์และดนัย บุญเกียรติ. 2548. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 5. โอ. เอส. พรินติ้งเฮ้าส์. กรุงเทพฯ
- [4] ศลิษา ศรีสุขและคณะ. 2559. ผลของแคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแล็กเตตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแก้วมังกรสดตัดแต่งระหว่างเก็บรักษา.การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 18 (ประชุมออนไลน์) ระหว่างวันที่ 8-9 มิถุนายน 2564 ตีพิมพ์ลงใน วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 52 ฉบับที่ 2 (พิเศษ) 2564
- [5] พัชรี เกตุบางลายและคณะ. 2562.การใส่แคลเซียมคลอไรด์รักษาคุณภาพทางกายภาพและรงควัตถุของพริกชี้หูพันธุ์หัวเรือระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ.การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 18 (ประชุมออนไลน์) ระหว่างวันที่ 8-9 มิถุนายน 2564 ตีพิมพ์ลงใน วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 52 ฉบับที่ 2 (พิเศษ) 2564
- [6] มาโนช วามานนท์และเพ็ญญา ทรัพย์เจริญ. 2537. ผักพื้นบ้าน. พิมพ์ครั้งที่ 1. องค์การส่งเสริมการค้าผ่านศึก. กรุงเทพฯ
- [7] Suriyan Supapvanich. 2012. Faculty of Natural Resources and Agro-Industry, Chalermprakiate Sakon Nakhon Province Campus, Kasetsart University, Muang, Sakon Nakhon Province, 47000,Thailand
- [9] จรินทร์ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [10] พงศ์ศักดิ์ ชลธนะสวัสดิ์ บพิตร ตั้งวงศ์กิจ1 รัตนา ตั้งวงศ์กิจ และ ชูติ ม่วงประเสริฐ. 2551.ผลของการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อคุณภาพบางประการของยอดผักหวานบ้าน .การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 18 (ประชุมออนไลน์) ระหว่างวันที่ 8-9 มิถุนายน 2564 ตีพิมพ์ลงใน วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 52 ฉบับที่ 2 (พิเศษ) 2564
- [11] กุลยา จันทรอรุณ. 2542. การยืดอายุการเก็บผักสด.สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม.จังหวัดพิษณุโลก
- [12] IFPA. (1999). Handling guidelines for the fresh-cut produce industry. Alexandria, Virginia: International fresh-cut produce association and the produce marketing association. pp. 5.
- [13] Manganaris, G.A., Vasilakakis, M., Diamantidis, G. and Mignani, I. 2007. The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. Food Chemistry. 100(4): 1385–1392.
- [14] Saltveit, M.E. (1997). Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. pp. 205-220. In F.A.Tomás-Barberán and R.J. Robins (eds.). Phytochemistry of fruits and vegetables. Oxford University Press. London.
- [15] Wickramasinghe, W.R.K.D.W.K.V., Abayagunawardane, W.A.A.S. and Dissanayake, P.K. 2013. Effect of pressure infiltration of calcium chloride on postharvest storage life of avocado (Persia americana Mill). The Journal of Agricultural Sciences.8 (2):70-75.

ประสิทธิภาพของการใช้วัสดุห่อผลต่อคุณภาพทางกายภาพ-เคมีของกล้วยเล็บมือนาง
Efficiency of fruit-bagging materials on physiochemical quality of
'Kluai Leb Mue Nang' bananas

อภิสิทธิ์ เสือมาก^{1*}, สุริยพันธ์ สุภาพวานิช², รั่วมจิตร นกเขา¹ และพรณิภา ย้วยล¹
Aphisit Suemak^{1*}, Suriyan Supapvanich², Raumjit Nokkoul¹, and Pannipa Youryon¹

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

² ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

¹ Department of Agricultural Technology, Prince of Chumphon campus, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chumphon

² Department of Agricultural Education School of Industrial Education and Technology King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand

Corresponding author: อภิสิทธิ์ เสือมาก, e-mail address: 6362009@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การห่อเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อลดความเสียหายทางกายภาพของกล้วยที่เกิดภายในแปลงซึ่งนำไปสู่ของการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อเปรียบเทียบวัสดุห่อผลชนิดต่างชนิดต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยเล็บมือนาง โดยห่อผลด้วยถุงพลาสติกใส (LDPE) ถุงพลาสติกสีฟ้า (polypropylene) กระดาษคราฟท์ ถุงผ้าดิบ เปรียบเทียบกับกล้วยเล็บมือนางที่ไม่ห่อ (ชุดควบคุม) ทำการเก็บเกี่ยวหลังจากห่อผล 2 เดือน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 4 วัน พบว่ากล้วยที่ห่อด้วยวัสดุห่อทุกชนิดสามารถป้องกันการเกิดความเสียหายทางกายภาพกล้วยเล็บมือนางในวันเก็บเกี่ยวเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม การใช้วัสดุห่อไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยระหว่างการสุก การห่อผลสามารถลดการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลกล้วยได้ดีกว่าชุดควบคุม การห่อผลด้วยถุงพลาสติกสีฟ้ามีแนวโน้มของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่น ทางกลับกันกล้วยที่ห่อด้วยกระดาษคราฟท์ และชุดควบคุมแสดงค่าปริมาณกรดทั้งหมดสูงกว่าการห่อด้วยถุงพลาสติกสีฟ้า ถุงพลาสติกใสและผ้าดิบ และกล้วยที่ห่อด้วยกระดาษคราฟท์และถุงผ้าดิบมีกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับห่อผลด้วยวัสดุชนิดอื่น

คำสำคัญ: กล้วยเล็บมือนาง, วัสดุห่อผล, คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว

Abstract

Bunch bagging is a technique used to mitigate the physical damages to bananas in the field, which can lead to postharvest loss. This study aimed to compare the effects of various bagging materials on the postharvest quality of 'Kluai Leb Mue Nang' banana. Bagging materials, including low density polyethylene (LDPE), blue polypropylene, kraft paper bags and cotton bags were compare to non-bagged bananas (control). The bananas were harvested after two months of bagging and subsequently stored at room temperature for 4 days. Results indicated that all bagging treatments effectively prevented the physical damages of bananas compared to untreated controls. The bagging treatments did not influence the color change of bananas during ripening. All bagged bananas demonstrated better fruit softening than the control group. Bananas bagged with blue polypropylene exhibited a higher total soluble solids compared to other samples. In contrast, bananas bagged with kraft paper bags and controls displayed higher total acidity higher than those bagged with LDPE, blue polypropylene, and cotton bags. Finally, bananas bagged with kraft paper and cotton bags exhibited lower antioxidant capacity compared to others.

Keywords: 'Kluai Leb Mue Nang' Banana, Bagging material, Postharvest quality

1. บทนำ

กล้วยเล็บมือนาง *Musa* (AA group) ‘Kluai Leb Mu Nang’ เป็นกล้วยพันธุ์พื้นเมืองทางภาคใต้ของประเทศไทยนิยมปลูก เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ เป็นที่ต้องการของท้องตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ในปัจจุบันผู้บริโภคนิยมรับประทานแบบสดและแปรรูป เนื่องจากกล้วยเล็บมือนางมีผลขนาดเล็ก เนื้อแน่น รสชาติดี ผลและเนื้อมีสีเหลืองทอง กลิ่นหอมรับประทาน [1] ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกประมาณ 20,000 ไร่ ซึ่งสามารถสร้างรายได้เกษตรกรได้ปีละกว่า 280 ล้านบาท [2] กล้วยเป็นผลไม้ประเภท climacteric fruit [3] เนื่องจากเป็นไม้ผลที่มีเปลือกบางทำให้เกิดความเสียหายภายในแปลงได้ง่ายทำให้เสียคุณภาพ ปัจจุบันการห่อผลเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจใช้ปฏิบัติกันมากขึ้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากโรค แมลงศัตรูพืช ลมรอยขีดข่วนให้น้อยลง ลดค่าหีบขนฝั้วผลจากการเสียดสีและการถูกแดดเผา ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความสำคัญมากในการผลิตผลไม้หลายชนิด เนื่องจากการห่อผลสามารถช่วยให้คุณภาพของผลผลิตสูงขึ้น [4] การห่อผลไม้ด้วยวัสดุที่เหมาะสมสามารถส่งเสริมการเกิดของสีของเปลือก [5] ลดการการแตกของผลไม้ทำให้ผิวผลมีความเนียนทำให้ผลผลิตมีคุณภาพสูงขึ้น นอกจากนี้วัสดุห่อผลที่ต่างชนิดกัน ยังทำให้คุณภาพของผลผลิตมีความแตกต่างกัน [6] ซึ่งปัจจุบันได้มีการศึกษากล้วยหลากหลายชนิดแต่ไม่พบรายงานในกล้วยเล็บมือนาง ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาวัสดุที่เหมาะสมในการรักษาคุณภาพกล้วยเล็บมือนางก่อนการเก็บเกี่ยว

2. วิธีการศึกษา

กล้วยเล็บมือนาง จากตำบลสลุย อำเภอนาทม จังหวัดชุมพร คัดเลือกกล้วยเล็บมือนางทำการตัดปลีกล้วยเล็บมือนางที่ดอกบานเต็มที่มีขนาดเครือใกล้เคียงกัน วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการห่อกล้วยเล็บมือนางด้วยวัสดุ 5 วิธีการดังนี้ ชุดควบคุม (ไม่ห่อผล) ถุงพลาสติก (LDPE) ถุงพลาสติกสีฟ้า (HDPE) กระดาษคราฟท์ ฝูผ้าดิบ (cotton) นำกล้วยเล็บมือนางหลังจากการห่อ 2 เดือน ขนส่งถึงอาคารปฏิบัติการหลักสูตรเทคโนโลยีการจัดการผลิตพืช สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร โดยทำการเก็บผล 3 หวีต่อ 1 เครือ คัดเลือกผลบริเวณกลางเครือเพื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเพื่อวัดค่าหลังจากเก็บรักษา 4 วัน แล้วนำกล้วยเล็บมือนางมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีทำการบันทึกผลการทดลองดังนี้ ลักษณะปรากฏของกล้วยเล็บมือนาง ค่าสีเปลือก (L^* , a^* , b^* values) ความแน่นเนื้อ ของของแข็งที่ละลายได้ (TSS) ปริมาณความเป็นกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (DPPH) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC)

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ลักษณะปรากฏ

จากการใช้วัสดุในการห่อกล้วยเล็บมือนางการเกิดความเสียหาย พบว่า การห่อผลด้วยวัสดุทุกชนิดสามารถลดความเสียหายที่เกิดกับผลกล้วยเล็บมือนางได้ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม การห่อด้วยพลาสติกฟ้าและถุงผ้าจะมีผิวที่เรียบเนียนและมีสีของเปลือกที่เข้มมากกว่าการห่อด้วยวัสดุชนิดอื่น ซึ่งมีความสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของกล้วยเล็บมือนาง (Figure 1) การห่อผลสามารถรักษาคุณภาพของผลผลิต และป้องกันความเสียหายจากการโดนแดด การเข้าทำลายของโรคและแมลงได้ดีกว่าไม่ห่อผลผลิต [7]

3.2 ค่าสี

ค่าสีเป็นลักษณะทางกายภาพที่บ่งบอกถึงลักษณะปรากฏของกล้วยเล็บมือนาง พบว่า กล้วยเล็บมือนางมีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บ ซึ่งการห่อกล้วยเล็บมือนางด้วยผ้าดิบมีค่าความสว่าง (L^*) สูงสุดในวันเก็บเกี่ยวต่ำสุดในวันที่ 4 ต่างกับการห่อกล้วยเล็บมือนางถุงพลาสติกมีค่าความสว่าง (L^*) แสดงให้เห็นว่าการห่อไม่มีผลอย่างชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงสีกล้วยระหว่างการสุก มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (Figure 2A) วัสดุห่อที่แตกต่างกันทำให้คุณสมบัติเลือกของผลไม้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและช่วยปรับความสว่างของเปลือก [8] ค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) พบว่ากล้วยเล็บมือนางที่ห่อด้วยถุงผ้าดิบมีค่าความเป็นสีเขียวสูงที่สุดในวันเก็บเกี่ยวมีความแตกต่างต่างกับการห่อไม่มีผลอย่างชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงสีกล้วยระหว่างการสุกเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุห่อชนิดอื่น (Figure 2B) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) พบว่ากล้วยเล็บมือนางที่ห่อด้วยพลาสติกใสสูงที่สุดในวันเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บรักษา 4 วัน (Figure 2C) การใช้วัสดุที่แตกต่างกันทำให้มีผลต่ออุณหภูมิและความเข้มแสงที่กระทบกับเปลือกทำให้การดูดกลืนแสงและปริมาณแสงที่ส่องผ่านวัสดุมีผลต่อการแสดงออกของสีผลการห่อผล ด้วยวัสดุต่างชนิดทำให้ผลที่กำลังเจริญเติบโตสร้างคลอโรฟิลล์ได้แตกต่างกันทำให้สีของผลแตกต่างกัน [8]

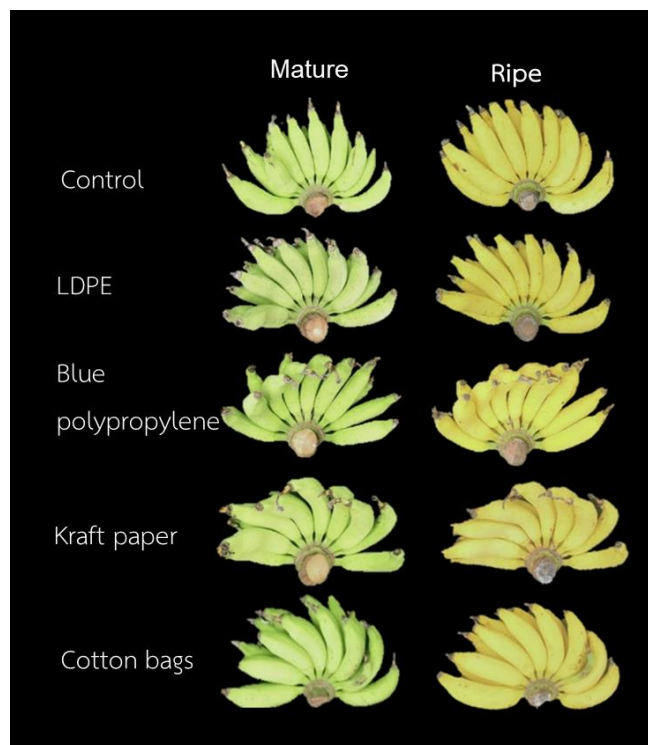


Figure 1 Visual appearance of mature and ripe 'Kluai Leb Mue Nang' bananas during storage at room temperature for 4 days.

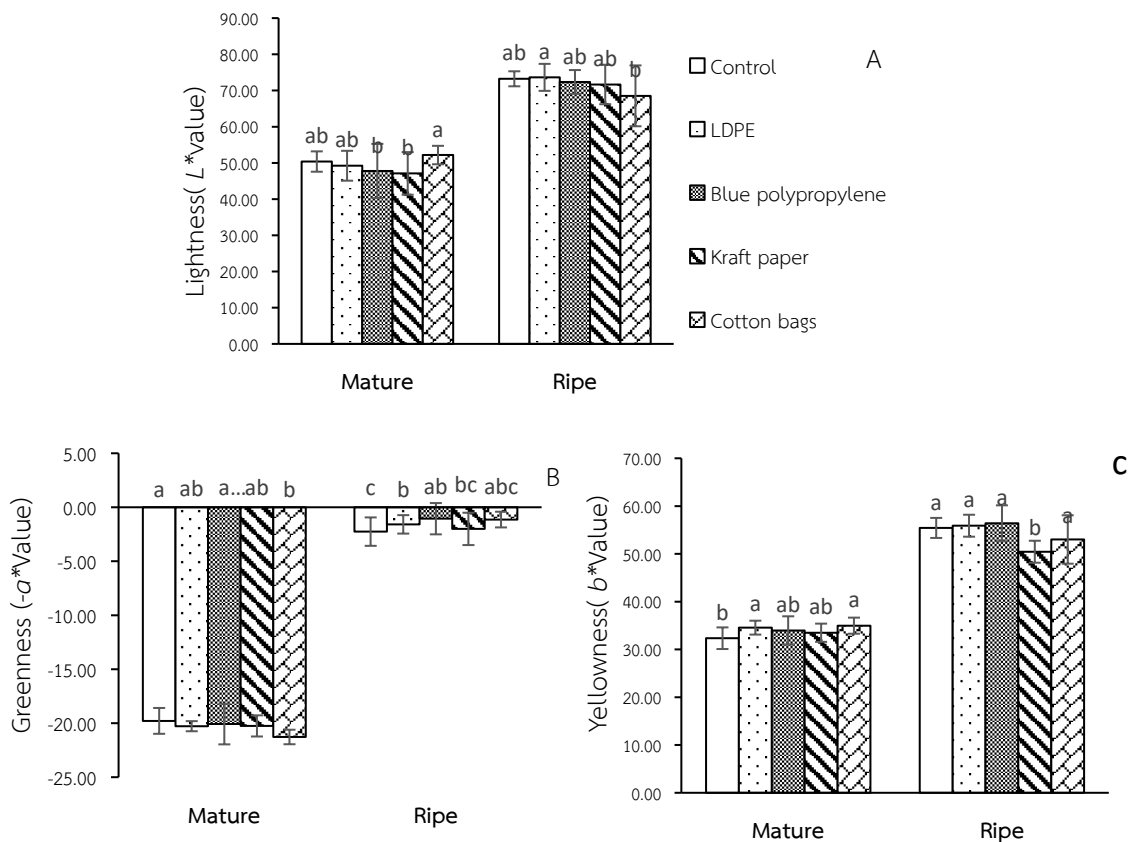


Figure 2 Color values of ‘Kluai Leb Mue Nang’ bananas with different bagging materials and stored at room temperature for 4 days. Lightness; L*) (A), (Greenness; -a*) (B), and (Yellowness; b*) (C).

3.3 ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ความแน่นเนื้อจากแรงกดของกล้วยเล็บมือนางที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้อง 4 วัน พบว่าการห่อผลช่วยชะลอการอ่อนนุ่มของเนื้อโดยที่การห่อด้วยถุงพลาสติกใสมีความแน่นเนื้อเฉลี่ยสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุห่อชนิดอื่น แตกต่างกล้วยเล็บมือนางที่ไม่ได้ห่อผล (ชุดควบคุม) มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (Figure 3) สอดคล้องกับการศึกษาวัสดุห่อชนิดถุงพลาสติก พบว่าสามารถช่วยส่งผลให้ผลชะลออัตราการหายใจและการสูญเสียน้ำทำให้กล้วยมีความแน่นเนื้อสูงขึ้น [9] ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด พบว่ากล้วยห่อด้วยพลาสติกฟ้ามีแนวโน้มค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเฉลี่ยได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุห่อชนิดอื่น มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (Figure 4A) จะเห็นได้ว่าห่อด้วยถุงพลาสติกนั้นมีผลต่อความร้อนสะสมทำปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูงขึ้น [6] ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ พบว่ากล้วยเล็บมือนางที่ห่อผลด้วยกระดาษคราฟท์ทำให้มีปริมาณกรดที่ไทเทรตเฉลี่ยได้สูงสุด กล้วยเล็บมือนางที่ไม่มีการห่อผลที่มีแนวโน้มปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูงกว่าการห่อด้วยถุงพลาสติกสีฟ้า ถุงพลาสติกใสและผ้าดิบ มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (Figure 4B) ผลของการห่อผลด้วยกระดาษมีผลต่อคุณภาพของผลผลิตมีผลทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่ำและมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูง [10]

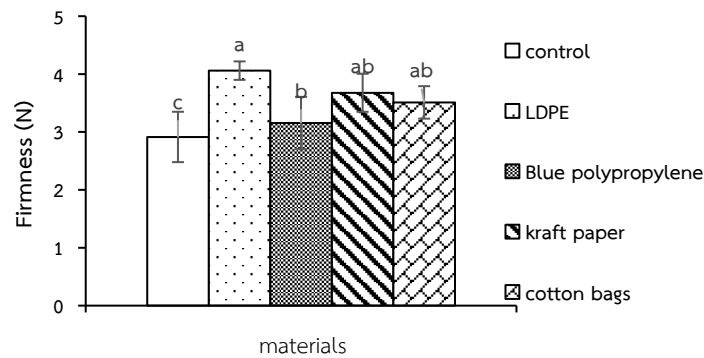


Figure 3 Firmness of ‘Kluai Leb Mue Nang’ bananas with different bagging materials and stored at room temperature for 4 days.

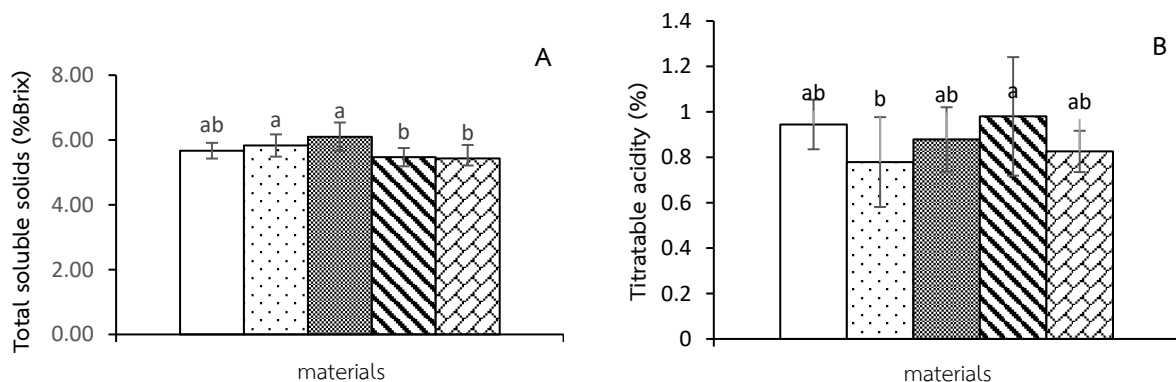


Figure 4 Total soluble solids (A) and titratable acidity (B) of ‘Kluai Leb Mue Nang’ bananas with different bagging materials and stored at room temperature for 4 days.

3.4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ยับยั้งอนุมูลอิสระโดยการจับกับอนุมูลอิสระเพื่อหยุดยั้งปฏิกิริยา ลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ [13] พบว่ากล้วยเล็บมือนางที่ห่อด้วยพลาสติกฟ้ามีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ วัสดุชนิดอื่น มีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figure 5) ปริมาณแสงที่เหมาะสมสามารถกระตุ้นการผลิตสารประกอบฟีนอลิกได้ มากขึ้น [14] ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของของกล้วยเล็บมือนางที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้อง 4 วัน พบว่าการห่อผลด้วย พลาสติกใสมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่น แตกต่างกับการห่อด้วยกระดาษกราฟท์ และการห่อด้วยถุงผ้า ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figure 6A) การใช้วัสดุห่อที่เหมาะสมจะมีผลต่อปริมาณความสามารถ ในการกำจัดอนุมูลอิสระ[11] ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ พบว่ากล้วยเล็บมือนางที่ห่อด้วยกระดาษกราฟท์ และถุงผ้าดิบ มีกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำการห่อด้วยถุงพลาสติกสีฟ้าถุงพลาสติกใส และชุดควบคุม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figure 6B) การใช้วัสดุห่อจะมีผลต่อแสงที่กระทบกับผลผลิตวัสดุห่อที่เหมาะสมจะมีผลต่อปริมาณความสามารถในการ กำจัดอนุมูลอิสระ [12]

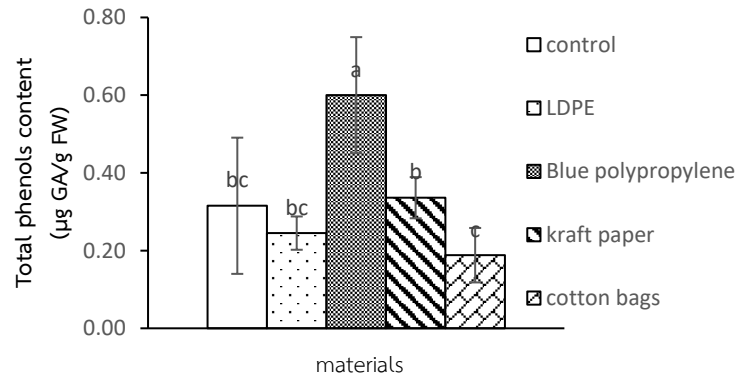


Figure 5 Total phenols content of ‘Kluai Leb Mue Nang’ bananas with different bagging materials and stored at room temperature for 4 days.

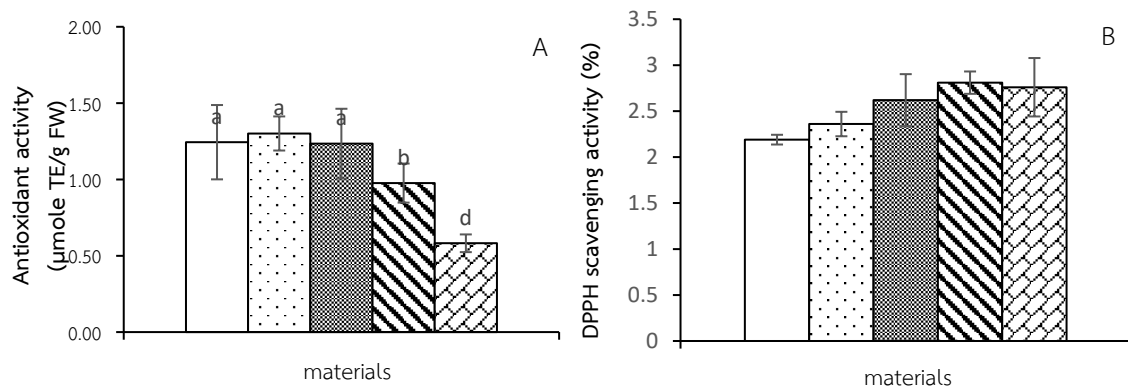


Figure 6 Antioxidant activity of ferric reducing antioxidant potential (A) and DPPH scavenging activity (B), of ‘Kluai Leb Mue Nang’ bananas with different bagging materials and stored at room temperature for 4 days.

4. สรุป

จากการศึกษาผลของวัสดุห่อต่อคุณภาพของกล้วยเล็บมือนางที่ระยะเก็บเกี่ยวและภายหลังการเก็บรักษา 4 วัน การห่อผลกล้วยเล็บมือนางสามารถป้องกันความเสียหายทางกายภาพได้ โดยการห่อผลในวัสดุห่อทุกชนิดไม่มีผลอย่างชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเปลือกกล้วยเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม การห่อด้วยถุงพลาสติกใสและถุงพลาสติกสีฟ้า มีแนวโน้มที่ดีต่อคุณภาพทางเคมี-กายภาพของกล้วยเล็บมือนางหลังการเก็บเกี่ยว เมื่อเปรียบเทียบกับการห่อด้วยกระดาษคราฟท์และถุงผ้าดิบ และไม่ใช้วัสดุห่อ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญจมาศ ศิลาชัย. 2545. กล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. บริษัท ประชาชน จำกัด, กรุงเทพมหานคร.
- [2] กรมวิชาการเกษตร, 2554. การเก็บรักษาผลไม้และผัก. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, กรุงเทพมหานคร.
- [3] จรุงแท้ ศิริพานิช, 2546. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [4] Estrada, C.G. 2004. Effect of fruit bagging on sanitation and pigmentation of six mango cultivars. Acta Horticulture 645: 195-199.
- [5] Amarante, C., Banks, N. H. and Max, S. 2002. Preharvest bagging improves packout and fruit quality of pears (*Pyrus communis*). New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 30: 93-98
- [6] Turner, D.W. and Rippon, L.E. 1973. Effect of bunch cover on fruit growth and maturity in banana. Trop. Agric. (Trinidad) 50(3): 235-240.
- [7] วีระชัย จงสุวรรณวัฒนา. 2523. การศึกษาการทอผลลื่นจี. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาพืชสวน. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม
- [8] Juliana, D.L., Eric, W.E., Danilo, E.R. and Eduardo, N.G. 2020. Effect of bunch protection material and bagging time on the yield of 'Nanica' banana and chilling control. Australian Journal of Crop Science, 574-580
- [9] Hailu, M., Workneh, T.S. and Belew, D. 2013. Review on postharvest technology of banana fruit. Afr. J. Biotechnol. 12:635-647.
- [10] Kireeti, A., Haldankar, P.M., Babu, M.R.V. and Parulekar, Y.R.2016. Effect of pre harvest bagging on mango fruit quality. Department of Horticulture, College of Agriculture, 9(11), 1366-1369
- [11] Vermerris, W., Nicholson, R. and Nicholson, R.L., 2006. Phenolic Compound Biochemistry. Springer:USA.
- [12] Yuri, J.A., Neira, A., Quilodran, A. Maldonado, F., Simeone, D., Razmilic, I. and Palomo, I. 2014. Total phenol and quercetin content and antioxidant activity in apples in response to thermal, light stress and to organic management. Journal of Applied Botany and Food Quality 87, 131 - 138
- [13] ภาวิณี อารีศรีสม, นรินทร์ ท้าวแก่นจันทร์ และกอบลาภ อารีศรีสม. 2563. ผลของการพรางแสงระหว่างปลูกต่อองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของจิงจูฉ่าย. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า : 38 (2) : 139-145
- [14] Sun, S., Xin, L., Gao, H., Wang, J. and Li, P. (2014) Response of phenolic compounds in 'Golden Delicious' and 'Red Delicious' apples peel to fruit bagging and subsequent sunlight re-exposure. Sci Hortic. 168:161-167

การออกแบบและวิเคราะห์ต้นทุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับกริดของห้องเย็น
ในโรงงานผลิตน้ำแข็ง

Design and cost analysis of a grid-connected PV system of ice storage room in ice making
factory

วิรากร มีบุญ¹, นินนาท ราชประดิษฐ์^{2*} และปาริชาติ ราชประดิษฐ์³

Wirakorn Meeboon¹, Ninnart Rachapradit^{2*} and Parichart Rachapradit³

^{1,2*} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

³ คณะบริหารธุรกิจ เศรษฐศาสตร์และการสื่อสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

^{1,2*} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok

³ Department of Business, Faculty of Business, Economics and Communications Naresuan University, Phitsanulok

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาต้นทุนและผลประโยชน์จากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับห้องเย็นที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมงเพื่อเก็บรักษาน้ำแข็งโดยจะศึกษาและออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับกริด (On-grid PV system) เพื่อใช้ใน ช่วง On-Peak ที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงตามอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use) โดยเก็บข้อมูลค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของพื้นที่ศึกษาและการใช้ไฟฟ้าของห้องเย็น เพื่อวิเคราะห์กำลังการผลิตของระบบ ผลการวิเคราะห์พบว่าห้องเย็นต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 5.0 กิโลวัตต์ ทั้งนี้ผลจากการนำค่าความเข้มรังสีของพื้นที่มาช่วยวิเคราะห์พบว่า กำลังการผลิตรวมของระบบเท่ากับ 7.15 กิโลวัตต์ โดยใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่กำลังการผลิตขนาด 325 วัตต์ จำนวน 22 แผง ขนาดพื้นที่แผงรวม 42.7 ตารางเมตร และเลือกใช้อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 10 กิโลวัตต์ ผลการวิเคราะห์กระแสเงินสดสุทธิ (NCF) ของโครงการเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเท่ากับ 11,787.60 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มีเท่ากับ 10.84% และระยะเวลาในการคืนทุน (PB) มีระยะเวลา 6.5 ปี

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ต้นทุน, การประหยัดต้นทุนพลังงาน, ห้องเย็นกักเก็บน้ำแข็ง, ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับกริด

Abstract

This study focuses on the costs and benefits of installing an on-grid PV system for a 24-hour cold storage room. The on-grid PV system is to be used during on-peak periods when the electricity rate is high according to the time of use (TOU). The data of solar radiation intensity of the study area and the electrical energy consumed by the cold storage. The results reveal that the cold storage room requires a maximum of 5.0 kW of electricity. Therefore thus 22 of 325 watts solar panels with total panel area of 42.7 square meters and 10kW inverter are installed leading to total capacity of 7.15 kW for the system. Financial analysis indicates Bt 3,698.20 net present value (NPV), 10.84% internal rate of return (IRR) and 6.5 years payback period.

Keywords: Cost analysis, Energy Cost Saving, Cold Storage Room, On-Grid Photovoltaic system

1. บทนำ

พลังงานมีความสำคัญเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของโลก รูปแบบการผลิตพลังงานเริ่มเปลี่ยนเป็นการผลิตพลังงานที่อาศัยเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าในการผลิตมากขึ้น จากการศึกษาประเทศไทยเป็นสมาชิกขององค์การสหประชาชาติ จึงร่วมมือกับบรรดาเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ไขปัญหาด้านพลังงานและตอบสนองความต้องการพลังงาน ความมั่นคงและยั่งยืนด้านพลังงานของประเทศ เกิดเป็นแผนยุทธศาสตร์แห่งชาติ 20 ปี (พ.ศ.2561 - 2580) [1] โดยมีมุ่งเน้นการจัดการใช้แหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลให้มีประสิทธิภาพและเพิ่มการใช้พลังงานหมุนเวียนเพิ่มมากขึ้น [2] อีกทั้งต้นทุนการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วโลกมีแนวโน้มลดลงทุกปี ประกอบกับพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพของประเทศไทยคือพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ภาครัฐยังสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้น จากข้อมูลรายงานสถิติการใช้พลังงานปี 2564 กล่าวว่าภาคอุตสาหกรรมถือเป็นกลุ่มที่ใช้ปริมาณไฟฟ้าสูงสุดคิดเป็น 44% ของรายเศรษฐกิจทั้งหมด เนื่องจากใช้เครื่องจักรที่มีเทคโนโลยีทันสมัยถูกใช้ในกระบวนการผลิตแทนการใช้แรงงานคน ทางภาครัฐจึงกำหนดนโยบายและมาตรการทางด้านพลังงานต่างๆ [3] เพื่อสนับสนุนผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการดำเนินการตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน นอกจากนี้ยังเปิดโอกาสให้ผู้บริโภคสามารถผลิตไฟฟ้าด้วยตนเองได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเพิ่มทางเลือกและการตัดสินใจของผู้บริโภคยุคใหม่ (Prosumers) ที่จะเป็นแรงผลักดันสำคัญให้เกิดการเปลี่ยนถ่ายเชิงโครงสร้างจากการผลิตไฟฟ้าจากส่วนกลาง (Centralized Generation) ไปสู่การกระจายตัวของแหล่งผลิตไฟฟ้า (Distributed Generation) และยังช่วยลดการจัดการจัดหาไฟฟ้าสำรองของประเทศอีกด้วย งานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use: TOU) ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำแข็งจะสามารถผลิตในช่วง Off-Peak ที่อัตราค่าไฟฟ้าถูกกว่าช่วง On-Peak ได้ แต่การเก็บรักษาน้ำแข็งจำเป็นต้องใช้ห้องเย็นที่มีการใช้ไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง โดยจะออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่องริต (On-Grid PV System) เพื่อใช้พลังงานไฟฟ้ากับห้องเย็นช่วงกลางวันที่มีอัตราค่าไฟฟ้าสูงและช่วยลดค่าความต้องการพลังงานสูงสุดหรือค่า Peak รวมถึงวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนติดตั้ง เพื่อให้ผู้ประกอบการเอกชนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมากเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจในการลงทุนติดตั้งได้ง่ายมากขึ้นอีกด้วย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ[4] คือ ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV stand-alone system) เป็นระบบที่ไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าช่วงกลางวันสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าจากรังสีแสงอาทิตย์ได้โดยตรงแต่ในช่วงเวลากลางคืนที่ไม่มีรังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบกับแผงโซลาร์เซลล์ จึงจำเป็นต้องมีแบตเตอรี่เพื่อเก็บประจุพลังงานไฟฟ้าแล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าในช่วงกลางคืนตามโหลดที่ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ โดยต้องมีอุปกรณ์หลัก คือ แผงพลังงานแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่สะสมพลังงาน อินเวอร์เตอร์ ตัวควบคุมการชาร์จและโหลดภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ ส่วนระบบต่อไปเป็นระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (PV grid-connected system) ที่มีการเชื่อมต่องริตเนื่องจากไม่มีแบตเตอรี่ หากปริมาณพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอจะสามารถใช้ไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายได้ แต่ถ้าหากสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าความต้องการก็สามารถขายไฟฟ้าให้กับกริดไฟฟ้าได้เช่นกัน เป็นมาตรการส่งเสริมการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน(Feed-in Tariff) [5] อุปกรณ์หลักประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ อินเวอร์เตอร์ ตัวควบคุมการจ่ายไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้าและโหลดภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ และระบบสุดท้ายคือระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV hybrid system) [6] เป็นระบบที่มีทั้งแบตเตอรี่และมีการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ โดยสามารถใช้ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงในช่วงกลางวันและถ้าสามารถผลิตได้มากกว่าความต้องการ สามารถกักเก็บพลังงานในแบตเตอรี่เพื่อใช้ในช่วงกลางคืนได้อีกด้วย หากปริมาณไฟฟ้าไม่เพียงพอก็จะดึงไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายเพื่อทดแทนได้ โดยอุปกรณ์หลักประกอบด้วย แผงโซลาร์เซลล์ อินเวอร์เตอร์ ตัวควบคุมการจ่ายไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้า แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าอื่นและโหลดภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ ส่วนเทคโนโลยีของแผงพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด [7] คือ แผงพลังงานแสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Solar Cells) ผลิตจากซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูง ใช้ซิลิคอนชั้นเดียวในการผลิตเซลล์แต่ละชิ้นทำให้

ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงตามไปด้วย โดยอยู่ที่ 17-20% และมีอายุการใช้งานยาวนานที่สุดสามารถใช้งานได้ยาวนานกว่า 25 ปี ชนิดที่สองคือแผงพลังงานแสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Solar Cells) คุณภาพรองลงมาจากแบบแรกจะใช้ซิลิกอนอัดรวมกันเป็นแผง ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 15-19% มีอายุการใช้งานประมาณ 20 ปี และแผงชนิดที่สามคือแผงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอมอร์ฟัส (Amorphous Solar Cells) ที่ใช้ Thin Film Technology เคลือบสารที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าได้ไวด้้านบน สามารถทำงานได้ถึงแม้จะได้รับรังสีแสงอาทิตย์น้อยรวมถึงสามารถเคลือบสารบนพลาสติกได้ ทำให้ถูกนำไปปรับใช้กับพื้นที่ที่มีความโค้งมนได้ แต่ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของแผงอมอร์ฟัสจะต่ำกว่าทั้งสองแบบแรกรวมทั้งอายุการใช้งานสั้นกว่าประมาณ 5 ปี

2.2. การวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในการตัดสินใจลงทุนในการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาการลงทุนจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) และระยะเวลาในการคืนทุน (Payback Period: PB)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ECS_t}{(1+i)^t} - I_{t_0} \quad (1)$$

เมื่อ	n	คือ อายุของโครงการ (ปี)
	ECS_t	คือ Energy Cost Savings ผลประหยัดค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้รายปี
	I_{t_0}	คือ เงินที่ลงทุนเมื่อเริ่มโครงการ (Total Investment)
	i	คือ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ
	t	คือ ระยะเวลาโครงการปีที่

อัตราผลตอบแทนภายใน หมายถึง อัตราลดค่า (Discount Rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะจ่ายในการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะรับจากการดำเนินการ การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในจะต้องทราบกระแสเงินสดที่ลงทุนสุทธิ กระแสเงินสดรับสุทธิต่อปีตลอดอายุโครงการ ระยะเวลาของโครงการโดยสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$I_T = \sum_{t=1}^n \frac{ECS_t}{(1+IRR)^t} \quad (2)$$

การตัดสินใจลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีต้นทุนการติดตั้งสูง สิ่งที่จะประกอบการพิจารณาและตัดสินใจลงทุนคือ ระยะเวลาในการคืนทุน (Payback Period: PB) หากการลงทุนมีระยะการคืนทุนที่รวดเร็ว นั้นหมายความว่าโครงการมีความน่าสนใจสูง

2.3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กำลังถูกจับตามองเป็นอย่างมาก มีงานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์การติดตั้งระบบ การสร้างแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าทั้งในที่อยู่อาศัยไปจนถึงกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม โดยงานวิจัยแรกของ Manmit and Damrongkulkamjorn [8] ทำการศึกษาพัฒนาโปรแกรมออกแบบขนาดของระบบกักเก็บพลังงานของแบตเตอรี่เพื่อใช้กับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อลดค่าไฟฟ้าผ่านโปรแกรม MATLAB และโปรแกรม System Advisor Mode (SAM) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในแต่ละงาน Bouakkaz et al. [9] ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจของระบบ PV ที่ขนาดต่างๆกัน ได้แก่ 1 กิโลวัตต์ 3 กิโลวัตต์ และ 5 กิโลวัตต์ผลการวิจัยพบว่า การผลิตไฟฟ้าแล้วใช้เองให้ผลตอบแทนดีกว่าการขายเข้ากริด ส่วนงานวิจัยของ Sehar et al. [10] ศึกษาการประยุกต์ใช้การตอบสนองด้านโหลด (Demand Response) ร่วมกับระบบแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในการกักเก็บน้ำแข็งในอาคารเพื่อลดค่า Peak และประหยัดพลังงานในอาคาร โดยทำแบบจำลองเพื่อควบคุมการใช้พลังงาน จากการสร้างแบบจำลองพบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 5.0 งานวิจัยของ Peetiphat et al.[11] ทำการศึกษาเทคโนโลยีและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Off-Grid และระบบแบบ PV-hybrid เพื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างไฟฟ้าแบบปกติและโครงสร้างค่าไฟฟ้าแบบ TOU มีขนาดกำลังการผลิต 5 กิโลวัตต์ โดยใช้โปรแกรม SAM ผลการศึกษาพบว่าหลังการติดตั้ง PV-storage hybrid ค่าไฟฟ้าหลังติดตั้งระบบที่ใช้โครงสร้างค่าไฟฟ้ามีราคา ลดลง 3,583.38 บาท หรือคิดเป็น 11 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ต่อไปงานวิจัยของ Silsirivanich and Plasai [12] ทำการศึกษาการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 4 แบบคือ ชนิดผลึกเดี่ยว 1 แผง ชนิดผลึกชั้นซ้อน 1 แผงและชนิดฟิล์มบางจำนวน 2 แผง ด้วยการตรวจสอบด้วยค่าต่างๆ พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรได้รับการรับรองมาตรฐานได้แก่ มาตรฐาน IEC61215, IEC61646 และมาตรฐาน ISO17025 งานวิจัยของ Yuhe Gao et al. [13] ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการใช้ PV ในระบบทำความเย็นโดยตรง โดยจะศึกษาการควบคุมออกเป็น 2 แบบ แบบแรกคือ Maximum Power Point Tracking (MPPT) และแบบที่สองคือ Compressor Speed Prediction (CSP) ผลการศึกษาพบว่า การควบคุมแบบ MPPT มีประสิทธิภาพมากกว่าการควบคุมแบบ CSP และสามารถปรับให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงหรือความผันผวนของอุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิของน้ำได้ดีกว่า ส่วนงานวิจัยของ ส่วนงานวิจัยของ Tantisattayakul [14] ทำการเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาระหว่างการเป็นเจ้าของระบบ (System Owner) และการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้ากับบริษัทเอกชน (Private PPA) ผลการศึกษาพบว่า System Owner มีความคุ้มค่ามากกว่าเพราะมี LCOE ต่ำกว่า และมี NPV สูงกว่ารูปแบบ Private PPA และสุดท้ายงานวิจัยของ Pichitkunchorn[15] ทำการศึกษาออกแบบและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Rooftop) โดยการใช้คอมพิวเตอร์สำหรับช่วยประมวลผลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบและข้อมูลสภาพอากาศเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาความเหมาะสมในการติดตั้งและพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการศึกษาพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 34,809 หน่วยต่อเดือน คิดเป็นมูลค่าของเงินที่ประหยัดได้ในแต่ละปีจะลดลงประมาณ 1,670,832 บาทต่อปี มีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 7 ปี ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลถึง 18% และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศได้ 225.56 ตัน CO₂ ต่อปี

3. วิธีการศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้ทำการออกแบบระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับกริดของโรงงานผลิตน้ำแข็งที่ใช้โครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use: TOU) โดยจะมีขั้นตอนดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลความเข้มรังสีแสงอาทิตย์และข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของห้องเย็นของพื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ด้วย Pyranometer ที่บริเวณหลังคาของพื้นที่ศึกษาที่พิกัด 16°43'25.5"N 100°14'16.9"E มุมเอียง 14 องศา โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 เมษายนจนถึงพฤศจิกายน 2565 ในช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ จากนั้นนำข้อมูลค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มาเฉลี่ยใน 24 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของห้องเย็นที่ใช้สำหรับกักเก็บน้ำแข็งเพื่อจำหน่ายใน

ระหว่างสัปดาห์ เนื่องจากโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ (TOU) อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงหรืออยู่ในช่วง On-Peak ตั้งแต่วันจันทร์ถึงศุกร์ช่วงเวลา 09.00-22.00 น. โดยระหว่างสัปดาห์หากการผลิตน้ำแข็งในช่วง Off-Peak หรือช่วงเวลา 22.00-0.00 น. และ 0.00-09.00 น. ของวันถัดไปผลิตไม่เพียงพอต่อขายรายสัปดาห์ จึงนำน้ำแข็งที่กักเก็บไว้ในห้องเย็นมาทดแทน โดยการนำน้ำแข็งเข้า-ออกเพื่อจำหน่ายจะอยู่ในช่วงเวลา 11.00-12.00 น. และ 15.00-16.00 น. ของแต่ละวัน ทำการศึกษาโดยเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าห้องเย็นทุกๆ 1 ชั่วโมงจากมิเตอร์ไฟฟ้าที่ติดตั้งแยกไว้เฉพาะส่วนของห้องเย็น ซึ่งเก็บข้อมูลช่วงเดือน เมษายนจนถึงพฤศจิกายน 2565 เป็นเวลาทั้งหมด 7 เดือน จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์การใช้พลังงานของห้องเย็นในหน่วย กิโลวัตต์รายชั่วโมงใน 1 วัน เพื่อวิเคราะห์และออกแบบกำลังการผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกกริด (Fig.1)



Figure 1 Cold storage room and PV rooftop area

3.2 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกกริด (On-Grid PV System)

การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกกริด กำลังการผลิตสูงสุดของระบบและปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจะแตกต่างกันขึ้นกับค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของพื้นที่ศึกษา เนื่องจากการทดสอบแผง จะทดสอบที่สภาวะ STC (Standard Testing Conditions) คือการทดสอบแผงที่ความเข้ม 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สำหรับพื้นที่ศึกษาค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาและฤดูกาลในแต่ละวัน หลังจากกำหนดกำลังการผลิต ขนาดจำนวน และยี่ห้อของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ จะทำการศึกษขนาดของอินเวอร์เตอร์ที่สามารถเชื่อมต่อกับกริดและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องใช้ในการติดตั้งระบบ

3.3 การศึกษาต้นทุนและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การศึกษาต้นทุนของระบบจากราคาตลาดจากบริษัทต่างๆ เพื่อหาราคากลางหรือราคาโดยเฉลี่ยของอุปกรณ์แต่ละชนิด ซึ่งส่วนประกอบหลักของระบบคือแผงพลังงานแสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ก่อสรรมสายและตู้ควบคุม ส่วนอุปกรณ์อื่นๆจะรวมเป็นค่าการติดตั้งระบบซึ่งจะขึ้นกับขนาดและกำลังการผลิตของระบบ จากนั้นจัดทำกระแสเงินสด (Net Cash Flow: NCF) ค่าบำรุงรักษา (Maintenance) การเปลี่ยนอุปกรณ์ตามอายุการใช้งาน และคำนวณผลประหยัดค่าไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้น จากนั้นนำมาวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) และระยะเวลาในการคืนทุน (Payback Period: PB)

4. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

ผลการศึกษาและเก็บข้อมูลค่าความรังสีแสงอาทิตย์ของพื้นที่ศึกษาในช่วงเดือนเมษายนจนถึงพฤศจิกายนปี 2565 พบว่าค่าความเข้มรังสีสูงสุดอยู่ที่เวลา 13.00 น. เท่ากับ 763.8 วัตต์ต่อตารางเมตร นำค่าความเข้มรังสีแต่ละช่วงเวลาไปคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา เนื่องจากกำลังการผลิตของแผงนั้น จะผลิตไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพเมื่ออยู่ที่สภาวะ STC โดยการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาผลจากความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว และนำมาเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าของห้องเย็น (Fig. 2 and 3)

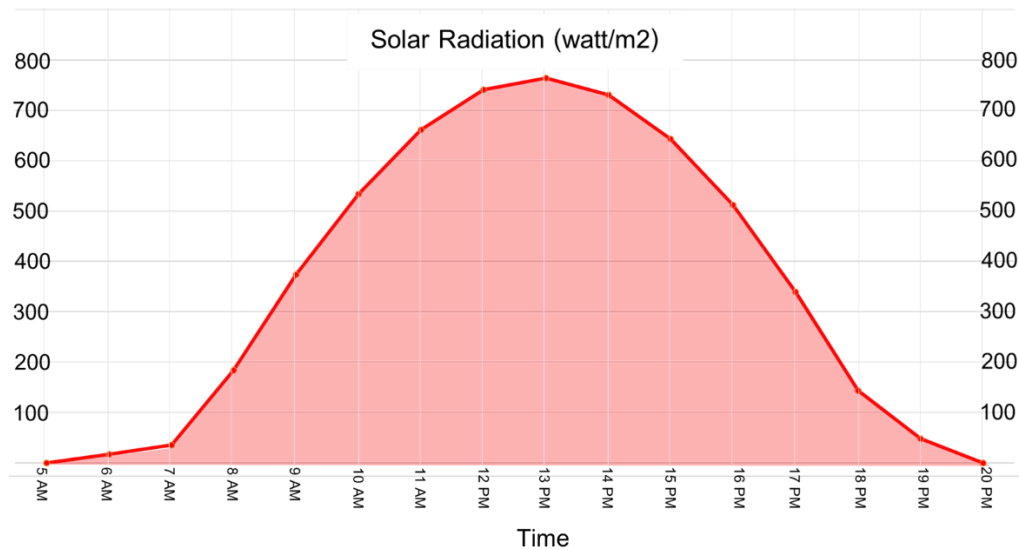


Figure 2 Solar radiation (Watt/m²) in 05.00AM-08.00PM of study area

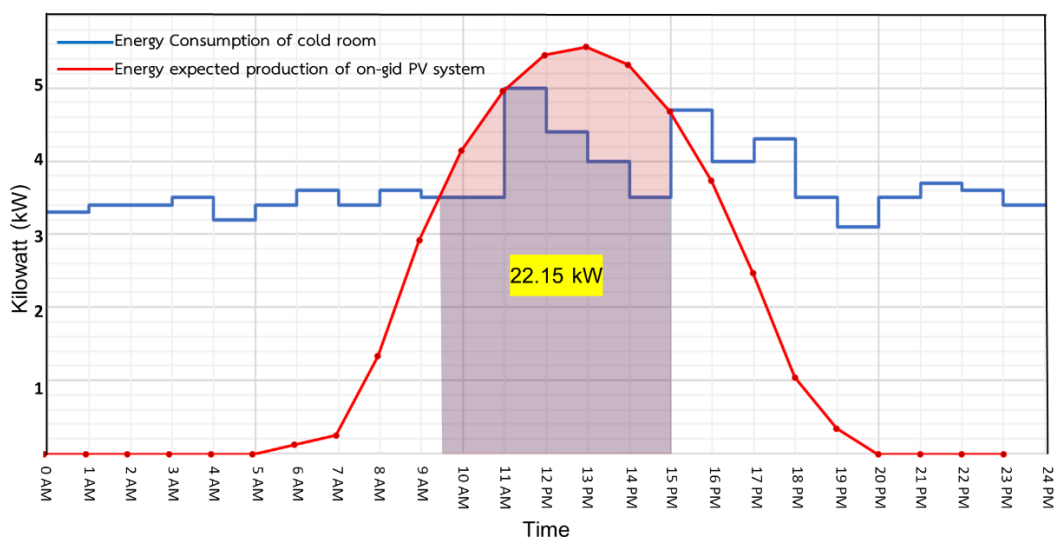


Figure 3 The comparison between expected production of electric power and cold room consumption

ผลการศึกษาการเก็บข้อมูลอัตราการใช้ไฟฟ้าของห้องเย็นของพื้นที่ศึกษา ทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 1 ปี (ตุลาคม 2564-กันยายน 2565) (Fig.3) แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าใน 24 ชั่วโมงพบว่าความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3-4

กิโวลต์แต่จะมีเพียงช่วงเวลา 11.00-12.00 น. ช่วงเวลา 15.00-16.00 น. และช่วงเวลา 17.00-18.00 น. ที่มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าปกติเนื่องจากการเปิด-ปิดประตูเพื่อนำน้ำแข็งเข้า-ออกห้องเย็นเพื่อใช้ในการขนส่งจำหน่ายระหว่างวัน ทำให้มีความร้อนจากภายนอกเข้ามา ระบบทำความเย็นจึงทำงานต่อเนื่องเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิ โดยอัตราการใช้พลังงานสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 5.0 กิโลวัตต์ จึงกำหนดขนาดระบบที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 5 กิโลวัตต์ที่สามารถผลิตไฟฟ้าเพียงพอกับห้องเย็นในช่วงเวลา 10.00-15.00 น.เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากการคำนวณพื้นที่ได้กราฟบริเวณที่มีการใช้ไฟฟ้าของห้องเย็นจากพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยคิดเป็น 21.57 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน โดยใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่เลือกใช้งานมีกำลังการผลิต 325 กิโลวัตต์ ใช้จำนวน 22 แผง ทำให้มีกำลังการผลิตสูงสุดรวม 7.15 กิโลวัตต์ แต่สามารถผลิตได้จริงสูงสุด 5.0 กิโลวัตต์ เนื่องจากนำค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของพื้นที่ศึกษามาพิจารณาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้จริง เพราะการทดสอบกำลังการผลิตของแผงจะทดสอบที่ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตรแต่ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดของพื้นที่ศึกษาเท่ากับ 763.8 วัตต์ต่อตารางเมตรส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าต่อแผงลดลง (Fig.2 and 3) จากนั้นเลือกชนิดของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (PV Modules) คือแผงชนิดโพลีคริสตัลไลน์ยี่ห้อ Jinkosolar JKM-325PP-72-V ขนาดแผง 325 วัตต์ จำนวน 22 แผง มีขนาดพื้นที่แผงรวม 42.7 ตารางเมตร และเลือกอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (Grid-Connected Inverter) ที่ได้รับการรับรองจากการไฟฟ้าประเทศไทย มีขนาด 10 กิโลวัตต์ ของยี่ห้อ Huawei Technologies SUN2000-10KTL-M1 จำนวน 1 เครื่อง โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังแสดงในตารางที่ และแผนผังการออกแบบติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับกริด (Fig.4)

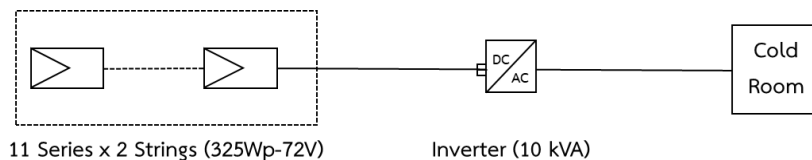


Figure 4 The diagram of on-grid PV system with a capacity of 7.15 kW of a cold storage

ผลการศึกษาด้านต้นทุนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า โดยจะศึกษาด้านต้นทุนจากราคาตลาดหรือราคากลางของอุปกรณ์จากหลายๆ บริษัทที่รับผลิตติดตั้งและจำหน่ายอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าแยก จากนั้นนำต้นทุนมาเฉลี่ยและคิดเป็นต้นทุนของการติดตั้งระบบพร้อมอุปกรณ์ ผลการศึกษาพบว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้ากำลังการผลิตขนาด 7.15 กิโลวัตต์ทั้งระบบเท่ากับ 220,000 บาท โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ ค่าแผงพลังงานแสงอาทิตย์ 110,000 บาท ค่าอินเวอร์เตอร์สำหรับไฟฟ้า 3 เฟสเท่ากับ 50,000 บาท อุปกรณ์อื่นๆเท่ากับ 30,000 บาทและค่าติดตั้ง 30,000 บาท (Table 1 and 2)

Table 1 Details of on-grid PV system equipment with a capacity of 7.15 kW

PV Array Characteristics					
PV Module			Inverter		
Model	JKM 325PP-72-V		Model	SUN2000-10KTL-M1	
Unit Normal Power	325	Wp	Unit Normal Power	10	kWac
Number of PV Modules	22	unit	Number of Inverters	1	unit
Nominal (STC)	7.15	kWp	Total Power	10	kWac
Modlues	2	strings	Operating Voltage	140-980 V	
	11	In series	Max. Power (=>45C)	11	kWac
			Pnom Ratio (DC:AC)	0.72	
Total PV Power			Total inverter power		
Nominal (STC)	7.15	kWp	Total power	10	kWac
Total Modules	22	modules	Number of Inverters	1	unit
Modlue Area	42.7	sqm	Pnom Ratio (DC:AC)	0.72	
Cell Area	38.5	sqm			

Table 2 Total cost of on-grid PV system

Cost of installing on-grid PV system			
	Amount	Cost per unit	Total cost
PV Cells	22	5,000.00	110,000.00
Grid-connected inverter	1	50,000.00	50,000.00
Other devices		30,000.00	30,000.00
Installation cost		30,000.00	30,000.00
		Total	220,000.00

การคำนวณกระแสเงินสดสุทธิ (Net Cash Flow : NCF) ของโครงการจะประกอบไปด้วย ผลประหยัดค่าไฟฟ้ารายปีหักด้วยค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์และระบบรายปี (Maintenance and Service fees) และต้นทุนเปลี่ยนอินเวอร์เตอร์ (Fig.5)

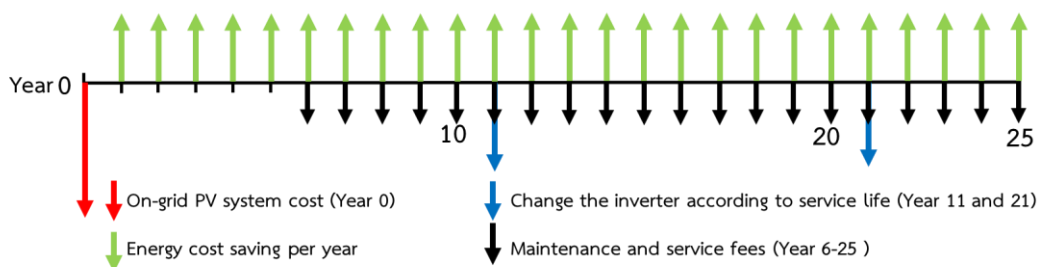


Figure 5 CFD of on-grid PV system cost analysis in 25 years

Table 3 Energy expected production and energy cost saving

Energy expected production and energy cost saving		
Amount of electricity produced per day	22.15	kwh/day
Amount of electricity produced per year	8,084.75	kwh/year
Electricity rate in On-Peak period	4.21	THB/unit
Energy cost saving per year	34,034.37	THB

การวิเคราะห์ผลประหยัดค่าไฟฟ้าจะพิจารณาจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 10.00-15.00 น. เป็นเวลา 5 ชั่วโมง คิดเป็น 27.05 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีเท่ากับ 9,150.55 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ส่วนอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของการไฟฟ้าในช่วง On-Peak เท่ากับ 4.2097 บาท/หน่วย จากนั้นนำมาคิดเป็นผลประหยัดรายปีเท่ากับ 34,034.37 บาทต่อปี (Table 3)

การศึกษาวเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์โดยทำงบกระแสเงินสดและงบกระแสเงินสดสะสมเพื่อนำไปวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ โดยจะกำหนดค่าอัตราคิดลด (Discount Rate) ไว้ที่ 10.00% หากผู้ที่สนใจอยากลงทุนจำเป็นต้องกู้เงินจากระบบธนาคารพาณิชย์ซึ่งมีอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ผลการวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV: Net Present Value) มีค่าเท่ากับ 11,787.60 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR: Internal Return Rate) มีค่าเท่ากับ 10.84 % และระยะเวลาคืนทุน (PB: Payback Period) เป็นเวลา 6.5 ปี (Table 4)

Table 4 show CFD and Cumulative CFD of on-grid PV system

Year	Cost	Maintenance	Energy cost saving	NCF	Cumulative NCF
0	220,000.00		-	220,000.00	220,000.00
1			34,034.37	34,034.37	185,965.63
2			34,034.37	34,034.37	151,931.26
3			34,034.37	34,034.37	117,896.88
4			34,034.37	34,034.37	83,862.51
5			34,034.37	34,034.37	49,828.14
6		10,000.00	34,034.37	24,034.37	25,793.77
7		10,000.00	34,034.37	24,034.37	1,759.40
8		10,000.00	34,034.37	24,034.37	22,274.98
9		10,000.00	34,034.37	24,034.37	46,309.35
10		10,000.00	34,034.37	24,034.37	70,343.72
11	50,000.00	10,000.00	34,034.37	25,965.63	44,378.09
12		10,000.00	34,034.37	24,034.37	68,412.46
13		10,000.00	34,034.37	24,034.37	92,446.84
14		10,000.00	34,034.37	24,034.37	116,481.21
15		10,000.00	34,034.37	24,034.37	140,515.58
16		10,000.00	34,034.37	24,034.37	164,549.95
17		10,000.00	34,034.37	24,034.37	188,584.33
18		10,000.00	34,034.37	24,034.37	212,618.70
19		10,000.00	34,034.37	24,034.37	236,653.07
20		10,000.00	34,034.37	24,034.37	260,687.44
21	50,000.00	10,000.00	34,034.37	25,965.63	234,721.81
22		10,000.00	34,034.37	24,034.37	258,756.19
23		10,000.00	34,034.37	24,034.37	282,790.56
24		10,000.00	34,034.37	24,034.37	306,824.93
25		10,000.00	34,034.37	24,034.37	330,859.30
		WACC	10.00%	IRR	10.84%
		NPV	11,787.60	PB	6.5

4. สรุป

การวิเคราะห์ต้นทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับกริด (On-Grid PV System) สำหรับห้องเรียนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อใช้ใน ช่วง On-Peak ที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูง โดยศึกษาค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของพื้นที่ศึกษา และนำผลจากค่าความเข้มรังสีมาวิเคราะห์ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบจะผลิตได้ เปรียบเทียบกับความต้องการใช้ไฟฟ้าของห้องเรียนพบว่า กำลังการผลิตของระบบเท่ากับ 7.15 กิโลวัตต์ โดยใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ของ Jinkosolar JKM-325PP-72-V กำลังการผลิตขนาด 325 วัตต์ จำนวน 22 แผง ขนาดพื้นที่แผงรวม 42.7 ตารางเมตร และใช้อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 10 กิโลวัตต์ ของ Huawei Technologies SUN2000-10KTL-M1 จำนวน 1 เครื่อง แล้วนำไปศึกษาต้นทุนจากราคาตลาด โดยต้นทุนของระบบที่รวมทั้งอุปกรณ์และค่าติดตั้งเท่ากับ 220,000 บาทเป็นเงินลงทุน โดยโครงการมีอายุ 25 ปี โดยในปีที่ 11 และ 21 เป็นการลงทุนเปลี่ยนอินเวอร์เตอร์ และค่าซ่อมบำรุงรักษาในปีที่ 6-25 จากนั้นมาทำกระแสเงินสดสุทธิ (NCF) และงบกระแสเงินสดสะสม (Cumulative NCF) ที่กำหนดค่าอัตราผลตอบแทนเท่ากับอัตราเงินกู้ที่ 10.00 % สำหรับผู้ประกอบการที่ต้องการลงทุนติดตั้งโดยผู้เงินลงทุนจากธนาคาร ผลการวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเท่ากับ 11,787.60 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มีเท่ากับ 10.84% และระยะเวลาในการคืนทุน (PB) มีระยะเวลา 6.5 ปี ในการศึกษาครั้งนี้เลือกระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแบบเชื่อมต่อกับกริด เนื่องจากแบบเตอร์ี่สะสมพลังงานยังมีต้นทุนที่สูงมาก แต่ถ้าหากในอนาคตเทคโนโลยีแบตเตอรี่ถูกพัฒนาประกอบกับต้นทุนแบตเตอรี่ก็เก็บพลังงานลดลง

และมีการซื้อ-ขายไฟฟ้าของผู้ประกอบการเอกชนและผู้อยู่อาศัยแล้ว ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระและระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน จะเป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่น่าสนใจลงทุนมากยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้ สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นินนาท ราชประดิษฐ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปาริชาติ ราชประดิษฐ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิด ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนกระทั่งงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบคุณ นางรุจิรา มีบุญและนายณรงค์ศักดิ์ มีบุญ ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ศึกษาและให้ข้อมูลเพิ่มเติมในการศึกษาและทำงานวิจัยครั้งนี้ สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเลขานุการของคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2560). ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561-2580 (ฉบับย่อ).
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2562). แผนปฏิบัติราชการรายปี (พ.ศ.2563).
- [3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2564). รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2564.
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2554). โครงการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์.
- [5] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). นโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบ Feed-in Tariff.
- [6] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). คู่มือรู้จักโซลาร์เซลล์ระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์.
- [7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2562). การติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา.
- [8] Manmit and Damrongkulkamjorn. (2015). Optimal Battery Energy Storage System for PV-Grid Connector for Customer with Time-Of- Use Tariff. Thesis, M.E, Kasetsart University, Thailand.
- [9] Bouakkaz et al. (2021). Efficient energy scheduling considering cost reduction and energy saving in hybrid energy system with energy storage. University of Genoa, Genoa, Italy.
- [10] Sehar et al. (2016). An energy management model to study energy and peak power savings from PV and storage in demand responsive buildings. Virginia Tech-Advanced Research Institute, Arlington, USA.
- [11] Peetiphat et al. (2017). A study of electricity tariff structure for solar PV systems with energy storage. Energy Technology and Management Chulalongkorn University.
- [12] Silsirivanich and Plasai. (2020). The Degradation Results of Photovoltaic Modules under Outdoor Testing Conditions. Princess of Naradhiwas University Journal.
- [13] Yuhe Gao et al. (2020). Comparative analysis on performance of PV direct-driven refrigeration system under two control methods. University of Science and Technology of China, Hefei Anhui, China.
- [14] Tantisattayakul. (2019). Comparative Economic Assessment of Solar Rooftop System between Being System Owner and Private Power Purchase Agreement: A Case Study of Thammasat University, Rangsit Centre. Thammasat University, Thailand
- [15] Pichitkunchorn. (2018). Design and economic analysis of solar rooftop electric system on the building of post engineer department. The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage, Thailand.

การผลิตสารเคลือบผิวธรรมชาติจากขาน้อย Production of natural coating material from bagasse

ปรัชญา วาทะสิทธิ์* ทวีทรัพย์ เจือพานิช และ วงเดือน ไม้สนธิ
Prachya Watasit*, Taweesub Juepanit and Wongduan Maison

สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ จังหวัดฉะเชิงเทรา

Department of Chemistry, Rajabhat Rajanagarindra University, Chachoengsao
*Corresponding author: Prachya Watasit, e-mail address: prachya.wa@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมสารเคลือบผิวคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสจากขาน้อยเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะม่วง ขาน้อยจากพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทราถูกเลือกใช้ในการทดลอง ในขั้นตอนแรกนำขาน้อยมาสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส โดยได้ผลิตภัณฑ์เป็นเซลลูโลส คิดเป็นผลผลิตร้อยละ 34.47 หลังจากนั้นนำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับกรดโมโนคลอโรอะซิติกเพื่อสังเคราะห์เป็นสารเคลือบผิวคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส ได้ผลิตภัณฑ์ร้อยละ 75.60 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้รับในแต่ละขั้นตอนถูกนำมาพิสูจน์เอกลักษณ์โดยการทดสอบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) พบว่า พิล์มคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้มีการดูดกลืนรังสีที่เลขคลื่น 1585 cm^{-1} สอดคล้องกับการดูดกลืนรังสีของหมู่คาร์บอกซิเลต ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าสามารถสังเคราะห์คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสจากขาน้อยได้จริง จากการทดลองเคลือบผิวพบว่าคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสช่วยยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงได้

คำสำคัญ: ขาน้อย, สารเคลือบผิว, คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส, มะม่วง, การยืดอายุ

Abstract

The aim of this study was to prepare carboxymethyl cellulose coating material from bagasse for extending the shelf life of mango. Bagasse from Chachoengsao province area was chosen for the experiment. First step, bagasse was extracted by sodium hydroxide to remove lignin and hemicellulose. The obtained cellulose yield was 34.47%. Then the cellulose product was further modified with monochloroacetic acid to produce a carboxymethyl cellulose coating material. The achieved carboxymethyl cellulose yield was 75.60%. The obtained product samples in each step were characterized by infrared absorption by Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) technique. It was found that carboxymethyl cellulose sample showed an absorption peak at wavenumber 1585 cm^{-1} which related to an infrared absorption of carboxylate group. From this evidence it is confirmed that the carboxymethyl cellulose product can be synthesized from bagasse. From the coating experiment, it was found that carboxymethyl cellulose can improve shelf-life extension of mango.

Keywords: Bagasse, Coating material, Carboxymethyl cellulose, Mango, Shelf-life extension

1. บทนำ

ชานอ้อย (Bagasse) เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล โดยมีลักษณะเป็นเส้นใย ในแต่ละปีจะมีชานอ้อยเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่ชานอ้อยจะถูกนำมาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้เป็นอาหารสัตว์ ทำถ่านชีวภาพ ใช้ทำปุ๋ยหมัก และใช้เป็นวัสดุคลุมดิน [1] องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) 26-47% เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) 19-33% ลิกนิน (Lignin) 14-23% และเถ้า 1-5% [2] โดยจากข้อมูลพบว่าชานอ้อยเป็นพืชที่มีเซลลูโลสในปริมาณสูงจึงมีความเหมาะสมที่จะนำชานอ้อยมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการพัฒนาวัสดุในกลุ่มเซลลูโลส

การสกัดเซลลูโลสจากชานอ้อยทำได้โดยการนำชานอ้อยที่บดละเอียดมาต้มในสารละลายเบสอัลคาไลน์ เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ในขั้นตอนนี้เฮมิเซลลูโลสและลิกนินจะสามารถละลายได้ดีในสารละลายเบส โดยที่เซลลูโลสไม่เกิดการละลาย ดังนั้นจึงสามารถแยกเซลลูโลสออกมาได้ [3] เซลลูโลสเป็นสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส (Glucose) เรียงต่อกันเป็นสายโซ่ยาว โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสแสดงดัง Figure 1a เซลลูโลสถูกนำไปเป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตวัสดุพอลิเมอร์ชีวภาพหลายๆ ชนิด เช่น เซลลูโลสอะซิเตท (Cellulose acetate) และคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (Carboxyl methyl cellulose) โดยที่คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสเป็นสารอนุพันธ์ของเซลลูโลสชนิดหนึ่งซึ่งสังเคราะห์ได้โดยการเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสให้กลายเป็นหมู่ฟังก์ชันอะซิเตท (COO⁻) [4] โครงสร้างแสดงดัง Figure 1b ซึ่งการมีหมู่ฟังก์ชันอะซิเตทในโครงสร้างจะทำให้โมเลกุลมีขั้วเพิ่มมากขึ้นและสามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น จึงมีความเหมาะสมในการนำมาเป็นวัสดุสำหรับเคลือบผิวผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

มะม่วงเป็นผลไม้เศรษฐกิจโดยจัดเป็นพืชสวน ประเทศไทยส่งออกมะม่วงเป็นอันดับ 3 รองจากฟิลิปปินส์และเม็กซิโก โดยพื้นที่ปลูกมะม่วงที่สำคัญของประเทศไทยนั้นอยู่ในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปัญหาที่พบมากที่สุดในการขนส่งเพื่อไปขายต่างประเทศ คือ การเน่าเสียของมะม่วงระหว่างการขนส่ง ซึ่งทำให้เกษตรกรสูญเสียรายได้บางส่วนไป ดังนั้นหากสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงได้ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการส่งออกมะม่วง ซึ่งการเคลือบผิวมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยยืดอายุของมะม่วงได้ โดยการเคลือบผิวจะช่วยลดอัตราการคายน้ำและลดอัตราการหายใจของผลไม้ส่งผลให้ผลไม้สุกช้าลง [5,6] ในปัจจุบันมีการใช้สารเคลือบผิวหลายๆ ชนิด เช่น คาร์นูบาร์แว็กซ์ (Carnauba wax) ขี้ผึ้ง เซลแล็ค นอกจากนี้ยังมีสารเคลือบผิวที่ได้จากปิโตรเลียม ได้แก่ พาราฟินแว็กซ์ (Paraffin wax) พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Polyethylene wax) และพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol) [7] อย่างไรก็ตามการใช้สารเคลือบผิวที่มาจากอุตสาหกรรมอาจมีอันตรายต่อผู้บริโภคจากการปนเปื้อนสารเคมี ดังนั้นการใช้สารเคลือบผิวที่ได้จากธรรมชาติจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ

ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้สารจากธรรมชาติและพอลิเมอร์ชีวภาพในการเคลือบผิวผลไม้ เช่น การใช้ไคโตซานในการเคลือบมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยพบว่าการใช้สารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้น 0.5-1.0 wt% สามารถยืดอายุมะม่วงน้ำดอกไม้ได้นานถึง 11 วัน [8] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสในการเคลือบผิวผลไม้ เช่น การเคลือบผิวฝรั่งกิมจู พบว่าการใช้สารละลายคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่มีความเข้มข้น 0.2 wt% ร่วมกับสารสกัดชาสามารถชะลอการเกิดเชื้อราและช่วยยืดอายุของฝรั่งได้ [6] และมีงานวิจัยที่ศึกษาการเคลือบผิวโดยใช้คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่ได้จากเปลือกข้าวโพดในการเคลือบผิวมะม่วง พบว่าสารเคลือบผิวมีประสิทธิภาพสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงได้นานถึง 15 วัน [9] จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นสามารถอนุมานได้ว่าสารเคลือบผิวจากพอลิเมอร์ชีวภาพมีประสิทธิภาพในการช่วยยืดอายุผลไม้ได้ ประกอบกับชานอ้อยเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูง และยังไม่มียางงานศึกษาการนำชานอ้อยมาพัฒนาเป็นวัสดุสำหรับเคลือบผิวผลไม้ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำชานอ้อยมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการพัฒนาวัสดุเคลือบผิวคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายที่จะศึกษาการสังเคราะห์สารคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสจากชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นวัสดุสำหรับเคลือบผิวมะม่วงเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยขั้นแรกจะศึกษาการสกัดเซลลูโลสจากชานอ้อย จากนั้นทำการสังเคราะห์เซลลูโลสให้กลายเป็นสารคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสเพื่อใช้เคลือบผิวมะม่วง และศึกษาการเคลือบผิวมะม่วงด้วยสารละลายคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

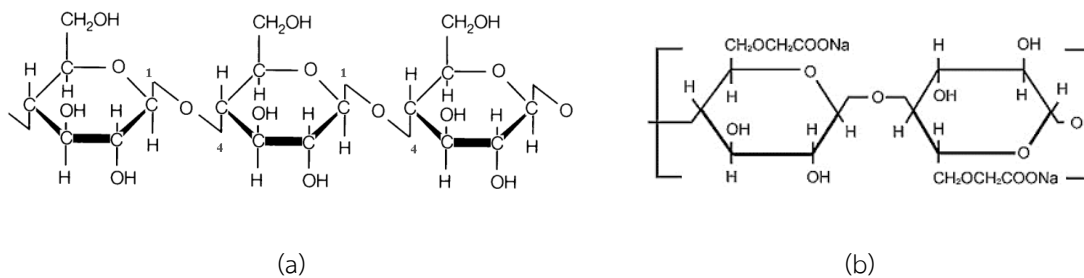


Figure 1 Chemical structure of cellulose (a) and carboxyl methylcellulose (b).

2. วิธีการศึกษา

2.1 สารเคมีและวัสดุ

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความบริสุทธิ์ 97.0% (Ajax Finechem), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ความบริสุทธิ์ 35.0% (Ajax Finechem), ไอโซโพรพานอล ($(CH_3)_2CHOH$) ความบริสุทธิ์ 99.5% (Ajax Finechem), เอทานอล (CH_3CH_2OH) ความบริสุทธิ์ 95% (Ajax Finechem) และกรดโมโนคลอโรอะซิติก ($ClCH_2CO_2H$) ความบริสุทธิ์ 99% (Sigma-Aldrich)

2.2 การเตรียมวัตถุดิบ

นำขานอ้อยที่ได้มาจากพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรามาอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ $50^{\circ}C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปั่นขานอ้อยโดยใช้เครื่องปั่นจนเป็นผงละเอียด

2.3 การสกัดเซลลูโลสจากขานอ้อย

ชั่งผงขานอ้อย 70 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 10 wt% ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $55^{\circ}C$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นนำของผสมมากรองด้วยผ่านตะแกรงร่อน ล้างเยื่อเซลลูโลสที่กรองได้ด้วยน้ำกลั่นจนค่า pH ของน้ำล้างเป็นกลาง ฟอกเยื่อขานอ้อยด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5 wt% ปริมาตร 500 มิลลิลิตร โดยแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 3 วัน จนเยื่อกลายเป็นสีขาว ล้างเยื่อขานอ้อยด้วยน้ำกลั่นจนมีค่า pH ของน้ำล้างเป็นกลาง อบเยื่อเซลลูโลสในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ $60^{\circ}C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำออกจากตู้อบลมร้อน ทิ้งไว้จนเยื่อที่ได้นั้นแห้งถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นปั่นเยื่อเซลลูโลสด้วยเครื่องปั่นอีกครั้งจนเป็นผงละเอียด เก็บในโถดูดความชื้นเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสต่อไป

2.4 การสังเคราะห์คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

ชั่งเซลลูโลสที่ได้จากขานอ้อย 10 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 30 wt% ปริมาตร 32 มิลลิลิตรและไอโซโพรพานอล ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แช่ทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นเติมกรดโมโนคลอโรอะซิติก 12 กรัม นำไปปั่นจนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์และนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ $60^{\circ}C$ เป็นเวลา 15 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาให้นำสารออกจากตู้อบ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้จะมีลักษณะเป็นก้อนเจลรวมตัวกันแยกออกจากของเหลวตัวทำละลาย ล้างคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสด้วยน้ำกลั่น จากนั้นตกตะกอนด้วยเอทานอล กรองแยกตะกอนด้วยกระดาษกรอง ในขั้นตอนนี้ทำการล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นและตกตะกอนซ้ำหลายๆ ครั้ง จนได้สารละลายที่มีค่า pH เป็นกลาง ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำสารเคลือบผิว

2.5 การเคลือบผิวมะม่วงด้วยสารละลายคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

ในการทดสอบใช้มะม่วงตัวอย่างที่ได้มาจากพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 4 ผล ล้างมะม่วงและผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน เตรียมสารละลายเคลือบผิวคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่มีความเข้มข้น 2, 4 และ 6 wt% โดยการชั่งคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสตามน้ำหนักที่ต้องการ จากนั้นละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเท่ากับ 50 มิลลิลิตร ปั่นจนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 30 นาที จนคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสละลายหมด จากนั้นเคลือบผิวมะม่วงโดยการจุ่มผลมะม่วงในสารละลายคาร์บอกซิเมทิล

เซลลูโลสที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยสภาวะที่ใช้ในการทดสอบเคลือบผิว คือ ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (ระหว่างเดือน มกราคม - กุมภาพันธ์) จากนั้นตากผลมะม่วงไว้บนถาด ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน สังเกตการเน่าเสียทางกายภาพที่ผิวมะม่วง และบันทึกเป็นภาพถ่ายตามระยะเวลาที่กำหนด (3, 7, 14 และ 21 วัน)

2.6 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสจากชานอ้อย

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) โดยในการวิเคราะห์ตัวอย่างจะทำการวัดการดูดกลืนแสงที่เลขคลื่นตั้งแต่ 4000-650 cm^{-1} ทำการวัดซ้ำ 40 รอบแล้วประมวลผล

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 การสังเคราะห์คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสจากชานอ้อย

ชานอ้อยที่ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นได้มาจากตลาดสดในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา ในขั้นตอนแรกนำชานอ้อยที่ผ่านการอบแห้งมาปั่นจนเป็นผงละเอียด (Figure 2a) จากนั้นนำผงชานอ้อยมาเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้ความร้อนเพื่อกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส สิ่งที่ได้จากการกรองจะมีลักษณะเป็นของเหลวหนืด จากนั้นพอกสีเยื่อชานอ้อยด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยแช่ทิ้งไว้ 3 คืน จะได้เยื่อที่เป็นสีขาว นำเยื่อที่พอกไปล้างด้วยน้ำหลายๆ รอบ จนเป็นกลาง แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อน นำเยื่อที่ได้ปั่นด้วยเครื่องปั่นจะได้เซลลูโลสที่เป็นผงละเอียดสีขาว (Figure 2b) ปริมาณ 24.13 กรัม คิดเป็นผลผลิตร้อยละ 34.47 (Table 1) ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเซลลูโลสที่พบจากงานวิจัยอื่นๆ [9-12]

สังเคราะห์คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสโดยนำผงเซลลูโลส 10 กรัม ทำปฏิกิริยากับกรดโมโนคลอโรอะซิติกที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ในขั้นตอนนี้กรดโมโนคลอโรอะซิติกจะเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลส กลายเป็นหมู่คาร์บอกซิเลต (COO) ซึ่งจะทำให้โมเลกุลมีความมีขั้วเพิ่มขึ้น เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้จะมีลักษณะเป็นก้อนเจลรวมตัวกันโดยแยกตัวออกจากตัวที่ละลายอินทรีย์ จากนั้นกรองแยกส่วนเจลคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส ล้างด้วยน้ำกลั่น ตกตะกอนด้วยเอทานอล จากนั้นทำการขึ้นรูปฟิล์มคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสโดยเทคนิค Solution casting ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนแห้งสนิท (Figure 2c) จะได้ฟิล์มคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสหนัก 7.56 กรัม คิดเป็นผลผลิตร้อยละ 75.60 (Table 1) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นพบว่ามีความใกล้เคียงกับการทดลองเมื่อใช้เปลือกทุเรียนเป็นวัสดุตั้งต้นและมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เปลือกข้าวโพด ทะลายปาล์ม และใยมะพร้าวเป็นวัสดุตั้งต้น

Table 1 Percentage yield of cellulose and carboxymethyl cellulose.

Raw material	Percentage yield (%)	
	Cellulose	Carboxymethyl cellulose
Bagasse (our work)	34.47	75.60
Corn peel [9]	31.45	152.20
Palm bunch [10]	29.30	120.52
Coconut fiber [11]	28.90	122.40
Durian peel [12]	64.72	66.71



Figure 2 Bagasse powder (a), cellulose powder (b) and synthesized carboxymethyl cellulose (c).

3.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค ATR-FTIR

ผลการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่างชานอ้อย เซลลูโลส และคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส แสดงดัง Figure 3 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่างชานอ้อย พบการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 3332 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ O-H ตำแหน่ง 2914 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C-H (Asymmetric) ตำแหน่ง 2846 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C-H (Symmetric) ตำแหน่ง 1629 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C=O โดยอาจเป็นพันธะคู่ของโครงสร้างลิกนินในชานอ้อยและที่ตำแหน่ง 1031 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C-O [13] สำหรับตัวอย่างเซลลูโลสมีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของ C-H ที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับตัวอย่างชานอ้อย คือ ที่ตำแหน่ง $3330\ 2912\ 2846\text{ cm}^{-1}$ และพบการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 1641 cm^{-1} เล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับการสั่นของพันธะ C=O ของลิกนิน จากข้อมูลดังกล่าวบ่งบอกได้ว่ายังมีปริมาณลิกนินบางส่วนที่ไม่สามารถกำจัดออกได้หมด นอกจากนี้พบการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 1031 cm^{-1} เช่นเดียวกับตัวอย่างชานอ้อยโดยเป็นการสั่นของพันธะ C-O การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสพบการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับตัวอย่างชานอ้อย คือ ที่ตำแหน่ง $3321\ 2912$ และ 2846 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C-H และปรากฏพีคการดูดกลืนแสงที่สำคัญที่ตำแหน่ง 1585 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C=O ของหมู่คาร์บอกซิเลต [10] ซึ่งบ่งบอกได้ว่าในการทดลองสามารถสังเคราะห์คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสได้จริง

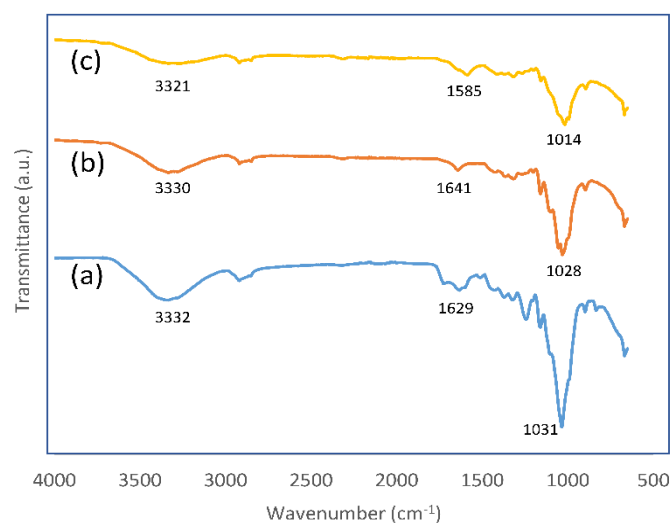
















Figure 3 Infrared spectra of bagasse (a), cellulose (b) and carboxymethyl cellulose (c).

3.3 การทดสอบยืดอายุผลมะม่วง

การศึกษาการยืดอายุผลมะม่วงทำได้โดยการเคลือบผิวมะม่วงด้วยสารละลายคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้จากชานอ้อย โดยศึกษาผลของความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2, 4 และ 6 wt% เปรียบเทียบกับมะม่วงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว โดยใช้ระยะเวลาในการศึกษา 21 วัน แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่ผิวมะม่วง (บันทึกภาพถ่ายในวันที่ 3, 7, 14 และ 21) ผลการทดลองแสดงใน Table 2 พบว่ามะม่วงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวเริ่มมีสีน้ำตาลบางส่วน และเริ่มเน่าเสียภายในวันที่ 7 ในขณะที่มะม่วงที่ผ่านการเคลือบผิวทุกความเข้มข้น (2, 4 และ 6 wt%) ยังไม่เน่าเสีย มีเพียงมะม่วงที่เคลือบผิวที่ความเข้มข้น 2 wt% มีจุดดำเกิดขึ้นเล็กน้อย ที่ระยะเวลา 14 วัน พบว่ามีเพียงมะม่วงที่เคลือบผิวที่ความเข้มข้น 6 wt% ที่ไม่เกิดการเน่าเสีย โดยมะม่วงที่เคลือบผิวที่ความเข้มข้น 4 wt% มีการเน่าเสียเล็กน้อย ส่วนมะม่วงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวมีการเน่าเสียมากที่สุด ที่ระยะเวลา 21 พบว่ามะม่วงที่เคลือบผิวที่ความเข้มข้น 6 wt% เริ่มมีลักษณะเน่าเสีย ซึ่งจากผลการทดลองข้างต้นสามารถยืนยันได้ว่า สารละลายคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่ใช้เคลือบผิวมะม่วงสามารถช่วยยืดอายุของผลมะม่วงได้ สอดคล้องกับการทดลองของทิฆัมพร และคณะ [9] ที่ศึกษาการยืดอายุผลมะม่วงโดยใช้สารเคลือบผิวคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสและกลีเซอรอล และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sajid และคณะ [14] โดยพบว่าสารเคลือบผิวคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสช่วยชะลอการสุกของผลมะม่วงได้ นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังพบว่าสารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้น 6 wt% สามารถยืดอายุของผลมะม่วงได้ดีที่สุด

Table 2 Results of the extended shelf-life test of mango fruits.

Coating concentration	Results of the extended shelf-life test of mango fruits			
	3 day	7 day	14 day	21 day
bare mango			rotten mango (not available picture)	rotten mango (not available picture)
2 wt%				
4 wt%				
6 wt%				

4. สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำขานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาดัดแปลงให้เป็นสารเคลือบผิวจากธรรมชาติเพื่อยืดอายุของผลมะม่วง ในขั้นตอนแรกสามารถสกัดเซลลูโลสจากขานอ้อยได้ผลผลิตร้อยละ 34.47 หลังจากนั้นนำเซลลูโลสมาสังเคราะห์เป็นสารเคลือบผิวคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสได้ผลผลิตร้อยละ 75.60 ผลการดัดแปลงรังสีอินฟราเรดสามารถยืนยันได้ว่าสามารถสังเคราะห์คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสได้จริง จากผลการทดสอบการยืดอายุมะม่วงพบว่าสารละลายคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่ใช้เคลือบผิวสามารถช่วยยืดอายุของผลมะม่วงได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่สาขาเคมีและคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ การช่วยเหลือและสนับสนุนในด้านต่างๆ จนสามารถทำให้งานวิจัยสำเร็จ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อัญชลี กิจจะวัฒน์, วิมลพร งามสุทธิ และพิชิตพล เจริญทรัพย์นันท์. 2554. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นกันกระแทกจากขานอ้อย. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. 1. 24-30.
- [2] Mahmud, M. A. and Anannya, F. R. 2021. Sugarcane bagasse-A source of cellulosic fiber for diverse applications. Heliyon. 7: e07771.
- [3] Abdel-Halim, E. S. 2014. Chemical modification of cellulose extracted from sugarcane bagasse: Preparation of hydroxyethyl cellulose. Arab. J. Chem. 7: 362-371.
- [4] Golbaghi, L., Khamforoush, M. and Hatami, T. 2017. Carboxymethyl cellulose production from sugarcane bagasse with steam explosion pulping: Experimental, modeling, and optimization. Carbohydr. Polym. 174: 780-788.
- [5] อนันต์ พิริยะภัทรกิจ, จิตตา สাত্রเพ็ชร, มยุรา ล้านไชย, อนวัช สุวรรณกุล และคณินิจ บุศราคา. 2560. ประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวจากบุกเพื่อรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและยืดอายุการเก็บรักษาผลส้มเขียวหวาน. Thai Journal of Science and Technology. 4. 301-308.
- [6] รวีวรรณ พรเจริญ และอัจฉรา ใจดี. 2564. การพัฒนาสารเคลือบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร่วมกับสารสกัดชาในการเก็บรักษาฝรั่งกิมจูหลังการเก็บเกี่ยว. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติ สำหรับนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 1. 22 กุมภาพันธ์ 2564. มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, กำแพงเพชร. หน้า 874-881.
- [7] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2562. สารเคลือบผิวสำหรับผลไม้สด. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ https://stri.cmu.ac.th/article_detail.php?id=38 (เข้าถึงเมื่อ 8 กุมภาพันธ์ 2566).
- [8] เลิศชัย จิตรอารี, มงคล ธิรบุญยานนท์, ยุวดี อ้นพาพรม และ Rameshprabu Ramaraj. 2564. ผลของไคโตซานที่มีต่อการยืดอายุการเก็บรักษาและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 1. 23 สิงหาคม 2564. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม. หน้า 942-950.
- [9] ทิฆัมพร จันทร์สุข, เบญจวรรณ บุญยะสิงห์ และพิเชษฐ อนุรักษอุดม. 2562. คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 16. 3-4 ธันวาคม 2562. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม. หน้า 3022-3027.
- [10] Suriyatem. R., Noikang. N., Kankam. T., Jantasakulwong. K., Leksawasdi. N., Phimolsiripol. Y., Insomphun. C., Seesuriyachan. P., Chaiyaso. T., Jantrawut. P., Sommano. Ngo. T. M. P. and Rachtanapun. P. 2020. Physical properties of carboxymethyl cellulose from palm bunch and bagasse agricultural wastes: Effect of delignification with hydrogen peroxide. Polymers. 12: 1505.
- [11] Caroline, M. Y. H., Huang, P. X. C., Carine, S. S. L., Jun, Q. N., Desiree, Y. D., Pei, B. S., Chen, W. W. and Eric, W. C. C. 2017. Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose from various agricultural wastes. Cellulose Chem. Technol. 51: 665-672.
- [12] Dewi, A. P. and Zenny, K. 2016. Effect of Sodium Chloroacetate towards the Synthesis of CMC (Carboxymethyl Cellulose) from Durian (*Durio zibethinus*) peel Cellulose. Int. j. innov. res. adv. eng. 3: 28-32.
- [13] Viera, R. G. P., Filho. G. R., Assuncao. R. M. N., Meireles. C. S., Vieira. J. G. and Oliveira. G. S. 2007. Synthesis and characterization of methylcellulose from sugar cane bagasse cellulose. Carbohydr. Polym. 67: 182-189.
- [14] Sajid, A., Muhammad, A. A., Ahmad, S. K., Aamir, N., Shaghef, E., Ghulam, K., Shahid, I., Sami, U., Rana, N. R., Muhammad, M. A., and Muhammad, S. S. 2022. Carboxymethyl cellulose coating delays ripening of harvested mango fruits by regulating softening enzymes activities. Food Chem. 380: 131804.

การทำนายอัตราส่วนหนี้ที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ต่อสินเชื่อบริการด้วยโครงข่ายประสาทเทียม LSTM
และการวิเคราะห์ถดถอยพหุนาม
Non-performing loan ratio prediction using LSTM and polynomial regression

ศราววุฒิ โคตรชา* และ ปราโมทย์ กัวเจริญ**
Sarawut Kotrcha*, and Pramote Kuacharoen**

คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ 148 ถนนเสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240

Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration, 148 Serithai Road, Klong-Chan, Bangkok, 10240,
Thailand.

*Corresponding author: Sarawut Kotrcha, e-mail address: sarawut.kot@stu.nida.ac.th

**Contributing authors: Pramote Kuacharoen, e-mail address: pramote@as.nida.ac.th

บทคัดย่อ

สินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ (NPL) เป็นหนึ่งในปัญหาของสถาบันการเงินไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งตั้งแต่เกิดโควิด-19 โควิด-19 ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ เศรษฐกิจ รวมถึงด้านการเงิน และอัตราส่วนสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ต่อสินเชื่อบริการ (NPL ratio) ที่เพิ่มขึ้นมากเกินไป หนึ่งในตัวชี้วัดประสิทธิภาพการบริหารสถาบันการเงินคือการจัดการหนี้ที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ (NPL) เรามุ่งเน้นไปที่การนำโครงข่ายประสาทเทียม LSTM (ซึ่งเป็นหนึ่งในโครงข่ายประสาทแบบวนกลับ หรือ RNN) และการวิเคราะห์ถดถอยพหุนาม (Polynomial regression) มาใช้เพื่อทำนายอัตราส่วนสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ต่อสินเชื่อบริการ (NPL ratio) สำหรับอนาคต จากชุดข้อมูลที่เราใช้มีการแกว่งมากเนื่องจากสถานการณ์ปัจจุบัน เราแบ่งผลการทดสอบออกเป็น 3 แบบ คือ 1. ประสิทธิภาพโมเดล ในช่วง Train LSTM ดีกว่า โดย RMSE=0.963 MAE=0.722 การวิเคราะห์ถดถอยพหุนาม ได้ผลลัพธ์ RMSE=1.521 MAE=1.067 และขณะที่ช่วงทดสอบ (Test) พบว่าการวิเคราะห์ถดถอยพหุนามดีกว่า โดย RMSE=2.528 MAE=1.3 และ LSTM ได้ผล RMSE=12.095 MAE=9.737 2. การพยากรณ์อนาคต อัตราส่วนสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ต่อสินเชื่อบริการ (NPL ratio) LSTM แม่นยำมากกว่า 3. วิเคราะห์จากกราฟ กรณีข้อมูลแกว่งสูงพอดีในช่วงต้นของข้อมูลทดสอบ (Test data) ส่งผลให้ การวิเคราะห์ถดถอยพหุนามเหมาะสมกว่าในการดูแลแนวโน้ม

คำสำคัญ: สินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้, อัตราส่วนสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ต่อสินเชื่อบริการ, โครงข่ายประสาทเทียม LSTM, การวิเคราะห์ถดถอย, พหุนาม, การเรียนรู้เชิงลึก, โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ, Machine Learning

Abstract

The Thai financial sector faces the Non-Performing Loan (NPL) issue, exacerbated by the COVID-19 pandemic and its economic impact. The effective management of NPL is crucial in determining the efficiency of financial institutions. To predict NPL ratios in the future, we employed LSTM and polynomial regression techniques. Due to the existing circumstances, our data set exhibits significant oscillation. We categorize the test findings into 3 categories: 1. Model performance in the Train period the LSTM is better, with RMSE=0.963 MAE=0.722, while polynomial is RMSE=1.521 MAE=1.067 and for the test period discovered that polynomial regression analysis is superior, with RMSE=2.528 MAE=1.3 and LSTM has the result RMSE=12.095 MAE=9.737. 2. Predicting the future The LSTM for the NPL ratio is more accurate. 3. Evaluation of the graph. Polynomial regression trend analysis is better with our data which is swing a lot.

Keywords: Non-Performing Loan, NPL ratio, LSTM, Polynomial Regression, DL, RNN, ML

1. บทนำ

Non-Performing Loan (NPL) [1] สินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ หรือสินเชื่อที่มีแนวโน้มที่จะชำระคืนล่าช้าหรือผู้กู้ไม่น่าจะชำระคืนเต็มจำนวน สินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้เป็นความท้าทายที่สำคัญต่ออุตสาหกรรมธนาคาร เนื่องจากทำให้ความสามารถในการทำกำไรของธนาคารลดลง และบางครั้งเป็นหนึ่งในตัวชี้วัดไม่ให้อุตสาหกรรมปล่อยสินเชื่อให้กับบุคคลและธุรกิจมากขึ้น ซึ่งจะขัดขวางการเติบโตทางเศรษฐกิจ โดยสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ (NPL) ถือเป็นหนึ่งในตัวชี้วัดมาตรฐานการจัดการและการให้สินเชื่อ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ปัจจัยต่อไปนี้เพื่อระบุสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้:

- ดอกเบี้ยและเงินต้นเกินกำหนดชำระ 90 วันขึ้นไป
- ดอกเบี้ยที่เกินกำหนดชำระเป็นเวลาอย่างน้อย 90 วันและภายหลังได้ถูกแปลงเป็นทุน รีไฟแนนซ์ หรือการปรับปรุงโครงสร้างหนี้ที่ได้ตกลงกันระหว่างผู้กู้และผู้ให้กู้

NPL ratio หรือ NPL/Loan หรือ อัตราส่วนสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ต่อสินเชื่อบริการ คือ อัตราส่วนของ “ยอดเงินหรือสินเชื่อที่ถูกผู้กู้และไม่ก่อให้เกิดรายได้” ต่อ ยอดเงินหรือสินเชื่อที่ผู้กู้รวม (ไม่ก่อให้เกิดรายได้ และก่อให้เกิดรายได้) โดย NPL ratio สามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$\left(NPL\ ratio = \frac{NPL}{LOAN} \right) \quad (1)$$

หมายเหตุ: NPL คือ ยอดสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้, LOAN คือ สินเชื่อรวม

โดยทั่วไปแล้ว มีหลายปัจจัยที่ทำให้การจัดการสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ (NPL) มีความท้าทาย ไม่มีคำจำกัดความของ NPL ที่ตกลงกันและไม่มีโครงสร้างการรายงานที่มีประสิทธิภาพ ขาดเทคนิคการประเมินมูลค่าร่วมกันที่สถาบันการเงินสามารถใช้เพื่อบันทึกผลขาดทุนที่เกิดจากการแก้ไขปัญหาหนี้เสีย ธนาคารและสถาบันการเงินอื่น ๆ ได้รับการสนับสนุนให้ปกปิดสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ (NPL) ของตน เพื่อปกป้องชื่อเสียงและหลีกเลี่ยงการจ่ายเงินเพิ่มสำหรับการระดมทุนในตลาดการเงิน การที่ธนาคารไม่เต็มใจที่จะขายสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ (NPL) นั้นเป็นผลมาจากค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอาจทำให้ขาดทุน สินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ (NPL) เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้ความเพียงพอของเงินกองทุนลดลงได้ในภายหลัง และรวมถึงระเบียบการคุ้มครองผู้บริโภค

ขณะที่สถานการณ์ สินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ (NPL) ในประเทศไทยจากการประกาศของธนาคารแห่งประเทศไทย [2] ระบุด้านคุณภาพสินเชื่อ ธนาคารพาณิชย์บริหารจัดการคุณภาพหนี้และให้ความช่วยเหลือลูกหนี้อย่างต่อเนื่องโดยการปรับโครงสร้างหนี้ ส่งผลให้อัตราส่วนสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ต่อสินเชื่อบริการ (NPL ratio) ลดลงซึ่งเป็นผลดี แต่มีข้อบ่งชี้และระมัดระวังคือ ยังคงต้องติดตามความสามารถในการชำระหนี้ของลูกหนี้ เนื่องจากการฟื้นตัวยังไม่ทั่วถึงโดยเฉพาะ SMEs และรายย่อยกลุ่มเปราะบางที่ได้รับผลกระทบ จากภาวะเงินเฟ้อและต้นทุนทางการเงินที่มีแนวโน้มปรับสูงขึ้น

สถาบันการเงินเฉพาะกิจ (Specialized Financial Institutions: SFIs) [3] แห่งหนึ่งซึ่งตั้งอยู่ในประเทศไทยที่เราได้ศึกษา มีแนวโน้มของสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ (NPL) ที่สูงขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ เฉกเช่น สถานการณ์ NPL ของธนาคารสากลอื่นๆ ของโลก เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจชะลอตัวจากผลกระทบของสถานการณ์แพร่ระบาดของไวรัส COVID-19 จึงเป็นที่มาในงานค้นคว้าวิจัยนี้เพื่อที่จะนำศาสตร์การเรียนรู้ด้วยเครื่องจักร (Machine Learning) มาประยุกต์ใช้ในการทดลอง วิเคราะห์และค้นหาแนวโน้มของอนาคต เพื่อใช้ในเชิงกลยุทธ์และวางแผนบริหารจัดการเชิงป้องกันได้ทันที่ รวมถึงจัดการความเสี่ยงหรือออกผลิตภัณฑ์ เพื่อลดหรือควบคุมอัตราส่วนสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ต่อสินเชื่อบริการ (NPL ratio) ให้เป็นไปตามเป้าหมาย

จากการค้นคว้าและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Serengil และคณะ [4] ได้ศึกษาวิจัย NPL โดยนำเอา LSTM ซึ่งเป็น Recurrence Neuron Network มาทำการวิเคราะห์เชิงจัดหมวดหมู่ (Classification) เปรียบเทียบกับ LightGBM, SVM, Random forest, bagging classifier และ XGBoost พบว่า LightGBM ได้ผลดีที่สุด ซึ่งถึงแม้ว่าจะดีที่สุดด้านจัดกลุ่ม (Classification) แต่งานวิจัยของเราต้องการผลการพยากรณ์เชิงเส้น เราจึงมุ่งไปที่ LSTM เนื่องจากเป็น RNN ซึ่งเหมาะสมกับชุดข้อมูลของเราที่เป็นแบบ Time series ประกอบกับงานวิจัยอื่นๆ [5,6] ที่เกี่ยวข้องและกำลังจะกล่าวถึงมีตัวอย่างผลลัพธ์การนำ LSTM ไปใช้แล้วได้ผลดี

ในขณะที่หลายบทวิจัยได้มีการนำ LSTM ไปใช้อย่างแพร่หลายในการพยากรณ์ค่าที่จะเกิดในอนาคต เช่น Tang และคณะ [5] วิจัยในงานพยากรณ์ Power Load เพื่อพยากรณ์การใช้งานพลังงานไฟฟ้าในอนาคตโดยได้ทดลองแบ่งเป็น 2 Model คือ Single-point และ Multiple-point ได้ผลลัพธ์ MAE ของ Single-point model ที่ 1.806 และ MAE ของ Multiple-point model ของ LSTM network ที่ 2.496 รวมถึง Baek และคณะ [6] ได้มีการสร้าง Framework ชื่อ ModAugNet ซึ่งมีการนำ LSTM module มาใช้ในการทำนายแบบ Single-network โดยเปรียบเทียบ Loss function ระหว่างค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MSE), คลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ได้ Loss function ลดลงเป็น 54.1%, 35.5% และ 32.7% ตามลำดับ สามารถต่อยอดด้านการวิเคราะห์ข้อมูลทางการแพทย์และการสร้างแบบจำลองอนุกรมเวลาทางการเงินได้ด้วย

ในงานวิจัยอื่น เช่น ของ Akhlaghi และคณะ [7] ได้นำ Polynomial Regression มาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบหล่อเย็น โดยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองที่มีดีกรีพหุนามต่างกัน ผลคือโมเดลสามารถที่จะทำนายประสิทธิภาพการหยดน้ำของระบบหล่อเย็นในสภาวะจัดการแบบสุ่มและอากาศแห้งได้ และช่วยให้สามารถคาดการณ์ระบบหล่อเย็นได้อย่างรวดเร็วขึ้น

ปัจจุบัน ผู้วิจัยได้ทำงานในองค์กรสถาบันการเงินเฉพาะกิจแห่งหนึ่ง ซึ่งได้รับผลกระทบจากสถานการณ์โลกและมีผลให้ NPL ratio สูงขึ้นมาก และมีความสนใจด้านศาสตร์ด้านการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) จึงได้เลือก LSTM ซึ่งเป็นการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) แบบ RNN เปรียบเทียบกับ Polynomial Regression ซึ่งทั้ง 2 เหมาะสำหรับข้อมูลที่เป็น Time series ทั้งคู่ มาค้นคว้าเพื่อค้นหาและเปรียบเทียบแนวโน้ม โดยผลลัพธ์ที่ต้องการคือ การคาดการณ์อัตราส่วนสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ต่อสินเชื่รวม (NPL ratio) ในเดือนอนาคต เช่น เดือนถัดไป ซึ่งจะได้ประโยชน์จากการนำไปใช้ในการคาดคะเนเฉพาะของลูกค้าแต่ละประเภท และหวังว่าจะนำไปใช้กับการวางแผนกลยุทธ์และการจัดการสำหรับสถาบันการเงินเฉพาะกิจของเราได้ ดังที่กล่าวถึงในย่อหน้าข้างต้น

2. วิธีการศึกษา นิยาม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 Non-performing Loan

Non-performing loan หรือ NPL คำอธิบายดังกล่าวตามที่ปรากฏในบทนำเบื้องต้น

2.2 Machine Learning

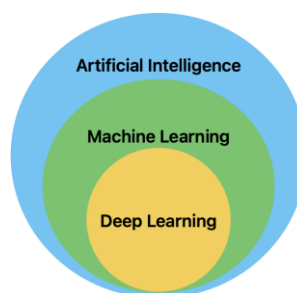


Figure 1 AI HIERARCHY

การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) [8] เป็นการศึกษาอัลกอริทึมของคอมพิวเตอร์ที่มีการพัฒนาการเรียนรู้ของเครื่องถูกมองว่าเป็นส่วนหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) โดยอัลกอริทึมสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลตัวอย่าง (เรียกว่า ข้อมูลสอน หรือ Training data) เพื่อที่จะคาดการณ์หรือตัดสินใจได้อย่างชัดเจน การเรียนรู้ของเครื่องพัฒนามาจากการศึกษาการรู้จำแบบ เกี่ยวข้องกับการศึกษาและการสร้างอัลกอริทึมที่สามารถเรียนรู้ข้อมูลและทำนายข้อมูลได้ อัลกอริทึมนั้นจะทำงานโดยอาศัยโมเดลที่สร้างมาจากชุดข้อมูลตัวอย่างขาเข้าเพื่อการทำนายหรือตัดสินใจในภายหลัง แทนที่จะทำงานตามลำดับของคำสั่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ประเภทของการเรียนรู้ แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1. การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning) [8]

ข้อมูลตัวอย่างและผลลัพธ์ที่ "ผู้สอน" ต้องการถูกป้อนเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เป้าหมายคือการสร้างกฎทั่วไปที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลขาเข้ากับขาออกได้ นอกจากนี้ยังมีการเรียนรู้ความคล้าย (Similarity and metric learning) โดยเครื่องจะมีตัวอย่างของคู่ที่ถูกมองว่าคล้ายมากและคู่ที่ถูกมองว่าคล้ายน้อย เครื่องจะต้องหาฟังก์ชันความคล้ายออกมาที่สามารถทำนายได้ว่าวัตถุใหม่นั้นมีความคล้ายมากน้อยเพียงใด มักใช้ในระบบแนะนำ (Recommendation system)

2. การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) [8]

ไม่มีการทำฉลากใดๆ และให้คอมพิวเตอร์หาโครงสร้างของข้อมูลขาเข้าเอง วิธีการหลักที่นิยมใช้ได้แก่ การแบ่งกลุ่มข้อมูล อันเป็นการจัดกลุ่มของข้อมูลสำรวจให้ตกอยู่ในเซตย่อย (เรียกว่า กลุ่ม หรือ Cluster) โดยที่ข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีความคล้ายคลึงกันตามเกณฑ์ที่ตั้งเอาไว้ ในข้อมูลที่อยู่คนละกลุ่มจะมีความแตกต่างกัน เทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูลแต่ละเทคนิคก็มีสมมติฐานของโครงสร้างข้อมูลไม่เหมือนกัน โดยปกติแล้วมักจะมีการนิยาม การวัดค่าความเหมือน การเกาะกลุ่มภายใน และการแยกกันระหว่างกลุ่ม ที่แตกต่างกัน การแบ่งกลุ่มข้อมูลจัดเป็นวิธี การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน และเป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไปในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3. การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement learning) [8]

คอมพิวเตอร์มีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยคอมพิวเตอร์จะต้องทำงานบางอย่าง (เช่น ขับรถ) โดยที่ไม่มี "ผู้สอน" คอยบอกอย่างจริงจังว่าวิธีการที่ทำอยู่นั้นเข้าใกล้เป้าหมายแล้วหรือไม่ ตัวอย่างเช่น การเรียนรู้เพื่อเล่นเกม การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง พิจารณาว่า เอเจนต์ควรจะมีการกระทำใดในสิ่งแวดล้อมรอบข้างเพื่อที่จะได้รางวัลสูงสุด อัลกอริทึมของการเรียนรู้แบบเสริมกำลังนี้พยายามจะหานโยบายที่เชื่อมโยงสถานะของโลกเข้ากับการกระทำที่เอเจนต์ควรจะทำในสถานะนั้นๆ การเรียนรู้แบบเสริมกำลังนี้มีความแตกต่างไปจาก การเรียนรู้แบบมีผู้สอน ตรงที่ว่า คอมพิวเตอร์จะไม่รู้เลยว่าอะไรถูกอะไรผิด กล่าวคือ ไม่มีการบอกอย่างชัดเจนว่าการกระทำใดยังไม่ดี

2.3 Deep Learning

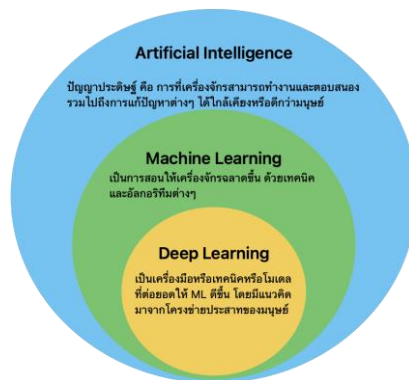


Figure 2 AI, ML, and DL concept

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) [9] เป็นส่วนหนึ่งของวิธีการการเรียนรู้ของเครื่องบนพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) และการเรียนรู้เชิงคุณลักษณะ การเรียนรู้สามารถเป็นได้ทั้งแบบการเรียนรู้แบบมีผู้สอน [8] การเรียนรู้แบบกึ่งมีผู้สอน [8] และการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน [8] คำว่า "ลึก" ในความหมายมาจากการที่มีชั้นของโครงข่ายหลายชั้น ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น การเรียนที่สะดวกขึ้น และการเข้าใจในโครงสร้างที่ชัดเจนขึ้น การแบ่งประเภทของ Neural Network มี 3 ประเภท [10]

1. Perceptron (P) เป็น Neural Network อย่างง่ายที่จำลองการทำงานของเซลล์ประสาทมนุษย์ซึ่งมี Input Node สำหรับรับข้อมูลจาก Dataset และคำนวณผลลัพธ์ออกจาก Output Node
2. Convolutional Neural Network (CNN) เป็น Neural Network ที่มอง Dataset ที่รับผ่าน Input Layer เป็นเหมือนภาพๆ หนึ่ง เช่นเดียวกับที่จอประสาทตาของมนุษย์การรับแสงที่ตกกระทบมาจากวัตถุต่างๆ

3. Recurrent Neural Network (RNN) เป็น Neural Network ที่รับ Dataset ผ่าน Input Node แบบ Time Series หรือข้อมูลที่มีลักษณะเป็นลำดับ (Sequence)

2.4 Long Short-Term Memory (LSTM)

LSTM [11] เป็น Neural Network มีโครงสร้างและหลักการคล้าย RNN แต่มีส่วนที่ปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อแก้ปัญหการเรียนรู้ข้อมูลที่มีลำดับยาวๆ โดยถ้ามีข้อมูลลำดับก่อนหน้า (Sequence) จำนวนมาก จะทำให้ Gradient ลดลงเรื่อยๆ จนมีค่าน้อยเกือบเป็นศูนย์ ทำให้เกิดปัญหาการไม่อัปเดต Weight อีกต่อไป ทางเทคนิคเรียกปัญหานี้ว่า Vanishing Gradient ทำให้ไม่สามารถเรียนรู้ข้อมูลที่มีลำดับยาวๆ ได้

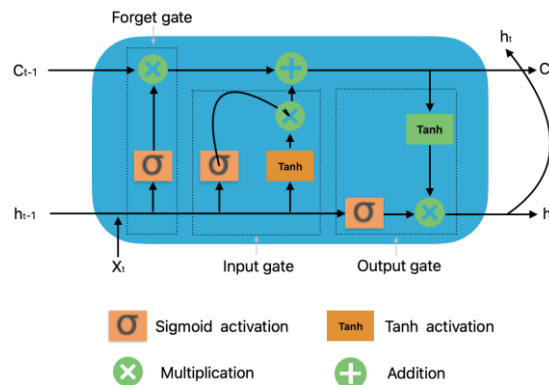


Figure 3 LSTM cell state.

การทำงานภายใน LSTM [11] จุดเด่นของ LSTM อยู่ที่ Cell state หรือ สถานะของเซลล์ที่สามารถเก็บ (Keep) หรือลืม (Forget) ข้อมูลสถานะก่อนหน้าได้ นั้นเปรียบเสมือนว่า Cell state เป็นท่อส่งข้อมูล โดยในตัว LSTM จะทำการส่งสถานะ Information ที่สำคัญออกไปประมวลผลต่อ หรือลดค่าความสำคัญลงหรือจะทำการยกเลิกก็ได้ (ไม่ประมวลผลต่อ) ภายในเซลล์ LSTM มี Sigmoid และ Tanh ซึ่งเป็น Neural Network ทำงาน และมี Activation Function ดัง Figure 4

2.5 Polynomial Regression

การวิเคราะห์ถดถอยพหุนาม (Polynomial Regression) [12] จัดเป็นการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) อย่างหนึ่ง แต่ตัวแปรต้นอยู่ในรูปของพหุนามเช่นเดียวกับสมการพหุนามทั่ว ๆ ไป ยกตัวอย่างเช่น

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 \quad (2)$$

การใส่พจน์ที่ยกกำลังเช่นนี้ ไม่เกิดปัญหา Multicollinearity เท่าใดนักเนื่องจากเป็น Non-linear transformation

2.6 Activation function

Activation function [11] (หรือ Transfer function) เป็นตัวประมวลผลต่อจากการรวมผล (Sum) แล้วตัดสินใจว่าจะให้ค่าผลลัพธ์อะไรที่เอาต์พุต เช่น กรณีสัมพัทธ์ของร้อนมาก Activation function ก็จะส่งสัญญาณหรือค่าที่สูงพอสมควร เพื่อกระตุ้นส่งให้ประสาทตัวรับสัญญาณต่อไป ส่งให้กล้ามเนื้อตึงมือกลับ แต่ถ้าสัมพัทธ์ของอุ่น ไม่อันตราย Activation function ก็จะส่งสัญญาณหรือค่าที่ไม่แรง กล้ามเนื้อไม่ต้องตึงมือกลับ ฯลฯ โดย Activation function ที่ใช้ใน Artificial Neuron มีหลายแบบ แต่ละแบบมีคุณลักษณะแตกต่างกันออกไป แต่โดยรวมแล้วมีหน้าที่ลักษณะเดียวกัน คือตัดสินใจให้ค่าผลลัพธ์ที่เอาต์พุต Activation function มีหลายแบบ อาทิ Sigmoid function, Tanh function, Relu function และอื่นๆ

2.6.1 Sigmoid function เรียกอีกอย่างว่า Logistic function เป็นฟังก์ชันที่ถูกใช้มากที่สุดตัวหนึ่ง ทำหน้าที่แปลงค่า Input ที่รับเข้ามา ให้ Output มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดย Sigmoid function จะพบเจอปัญหา Vanishing gradient คือเมื่อค่า input สูงมากๆ หรือต่ำมากๆ ค่า Output จะแทบไม่เปลี่ยนแปลงแล้ว อนุพันธ์จะกลายเป็นค่าน้อยลงมากๆ ส่งผลให้การปรับ Weight เข้าสู่จุดที่ดีที่สุดได้ช้า ในการแก้ปัญหา Vanishing gradient มักจะใช้ Function อื่น เช่น Relu

2.6.2 Tanh (Hyperbolic Tangent Activation Function) เป็นฟังก์ชันที่ให้ค่า Output อยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 คุณลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้าย Sigmoid แต่มีช่วงที่กว้างกว่า

2.6.3 Relu (Rectified Linear Unit) [11] ในบทวิจัยนี้จะใช้ Relu function ซึ่ง เป็น Activation function ที่ให้ผลลัพธ์เท่ากับค่า X (input) ถ้าค่าอินพุตเข้ามากกว่า 0 แต่ถ้าอินพุตเข้ามาเป็นค่าลบ เอาต์พุตจะได้ค่าเป็น 0 ดังสมการ $f(x)=0, \text{ if } x>0; f(x)=x, \text{ otherwise.}$ โดย Relu เหมาะกับการนำไปใช้กับ Neural Network ที่มีชั้น Hidden layer เช่น CNN และ RNN

2.7 Loss function

ค่าคลาดเคลื่อน (Loss function) [11] คือค่าเปรียบเทียบระหว่างเป้าหมาย (Target) และ คำทำนาย (Predicted) ซึ่งสามารถเรียกได้หลายอย่าง เช่น Error, Loss หรือ Cost ในบทวิจัยนี้อ้างอิง MAE และ MSE (หรือ RMSE)

2.7.1 Mean Absolute Error (MAE) [11] มีหลักการคล้ายการหา MAE ของ Simple Linear Regression ที่ความสัมพันธ์ของสองตัวแปรเป็นเชิงเส้นตรง ซึ่งเทียบสมการ Neuron จะคล้ายกับสมการเส้นตรง $y = mx + b$ โดย MAE สามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} \quad (3)$$

เมื่อกำหนดให้ y_i = prediction, x_i = true value, n = total number of data points

2.7.2 Mean Squared Error (MSE) [11] หลักการคือหาผลรวมระยะคลาดเคลื่อนทั้งหมดของ Y และ Y' โดยคิดค่ายกกำลังสองให้เครื่องหมายลบหายไป แล้วหารด้วยจำนวนข้อมูล (n) สรุปคือ ค่าเฉลี่ยของระยะคลาดเคลื่อนทั้งหมด โดย MSE สามารถแสดงในสมการที่ (4)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_i')^2 \quad (4)$$

เมื่อกำหนดให้ Y_i = observed values, Y_i' = predicted values, n = total number of data points

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

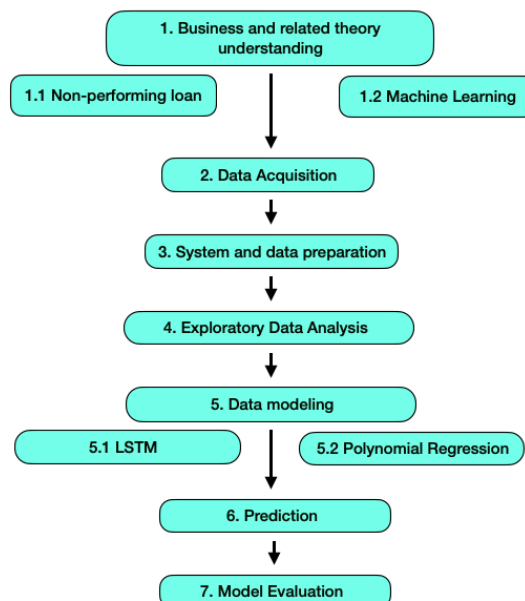


Figure 4 Business and Related theory understanding diagram.

3.1 เข้าใจธุรกิจและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Business and related theory understanding)

จากในบทที่ 1 บทนำ เราได้ทราบถึงปัญหาและที่มาอย่างชัดเจนแล้ว เราจะได้ตัวแปรต้นที่เราจะต้องใช้จากปัญหาดังกล่าว คือ ช่วงระยะเวลา และ NPL ratio ที่เกิดขึ้นในอดีต

3.2 รวบรวมข้อมูล (Data Acquisition)

การได้มาของข้อมูล บางครั้งอาจจะยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันที จะต้องมีการปรับแต่งหรือ Cleansing ข้อมูลให้สมบูรณ์ ก่อน ซึ่งใน Dataset ของเรามีข้อมูลยอดให้กู้สินเชื่อ และยอด NPL ณ สิ้นเดือนของแต่ละเดือน เริ่มจาก มกราคม 2564 ถึง ธันวาคม 2565 รวม 24 เดือน โดยข้อมูลจากสถาบันการเงินเฉพาะกิจแห่งหนึ่งในประเทศไทย

3.3 จัดเตรียมระบบและข้อมูล (System and data preparation)

3.3.1 จัดเตรียมระบบ

ระบบปฏิบัติการที่ใช้ทดสอบ macOS Ventura v13.1, ติดตั้ง Python version 3.9.13, Jupyter lab vesion 3.50, install library ที่เกี่ยวข้อง เช่น NumPy, Panda, Sklearn, TensorFlow, etc.

3.3.2 จัดเตรียมข้อมูล

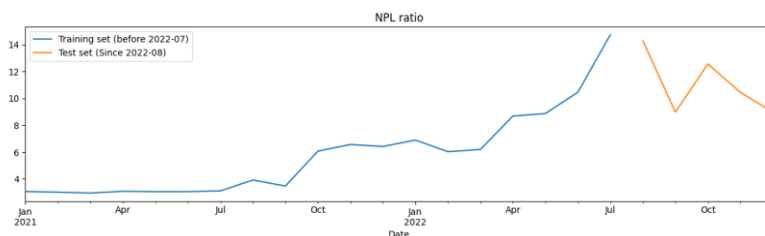
นำข้อมูลที่นำมาแปลงให้อยู่ในรูป NPL ratio และกำหนด Date เป็นตัวดัชนี และเรียงลำดับตามระยะเวลาก่อนหลัง โดยเราได้แบ่งชุดข้อมูล Train และ Test ออกเป็นอัตราส่วน 4:1 โดยชุด Train =19 เดือน และ Test=5 เดือน และ Step=1

```

: df.isnull().sum()
df.shape
: (24, 1)

: n_train = int(df.shape[0]*0.8)
n_train
: 19
    
```

Figure 5 Command line to divide Train and test data.



แสดง Timeline ของ Training และ Test data ที่จะใช้

```
train.shape, test.shape
```

```
: ((19, 1), (5, 1))
```

Figure 6 Divide the train and test data method.

```
y_train.shape, y_test.shape
```

```
Train test (after conversion): (18, 1, 1) (4, 1, 1)
((18, 1), (4, 1))
```

Figure 7 shows the amount of train and test data after divided (Using step=1).

3.4 วิเคราะห์และสำรวจความถูกต้องของข้อมูล (Exploratory Data Analysis)

สำรวจความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูลว่าพร้อมนำไปใช้หรือไม่ รวบรวมบททวนจากหัวข้อที่ผ่านมาว่าต้องการปรับเปลี่ยน แก้ไข หรือเป็นไปตามที่ต้องการไหม เหมาะกับการนำไปใช้ Train model ต่อไปหรือไม่ จากข้อมูลจะพบว่ามีแกว่งแบบมีนัยยะในช่วงท้ายเป็นเอกลักษณ์และไม่เป็นเทรนปกติ

Date	NPL ratio
2021-01-31	3.059040
2021-02-28	3.012642
2021-03-31	2.944907
2021-04-30	3.077263
2021-05-31	3.049205
2021-06-30	3.051248
2021-07-31	3.104440
2021-08-31	3.917722
2021-09-30	3.466838
2021-10-31	6.062921
2021-11-30	6.559324
2021-12-31	6.407997
2022-01-31	6.890875
2022-02-28	6.022576
2022-03-31	6.189733
2022-04-30	8.676766
2022-05-31	8.863569
2022-06-30	10.450030
2022-07-31	14.733226
2022-08-31	14.276768
2022-09-30	8.970064
2022-10-31	12.550035
2022-11-30	10.441581
2022-12-31	8.970064

Figure 8 show the NPL ratio data which is prepared.

3.5 สร้างโมเดล (Data modeling)

ในการทดลองนี้เราจะทำการเปรียบเทียบการพยากรณ์ระหว่าง LSTM 3 ชั้น, Polynomial Regression และค่าเฉลี่ย 6 เดือนย้อนหลัง

1. ทำการสร้างโมเดล LSTM 3 ชั้น ใช้ Activation function: “relu”, loss function: “mean_squared_error”, และ optimizer: “adam” ทำการ fit model ที่ 50 epochs

```
Model: "sequential_1"
```

Layer (type)	Output Shape	Param #
lstm_3 (LSTM)	(None, 1, 50)	10400
lstm_4 (LSTM)	(None, 1, 40)	14560
lstm_5 (LSTM)	(None, 32)	9344
dense_1 (Dense)	(None, 1)	33

```

Total params: 34,337
Trainable params: 34,337
Non-trainable params: 0

```

Figure 9 LSTM model layers.

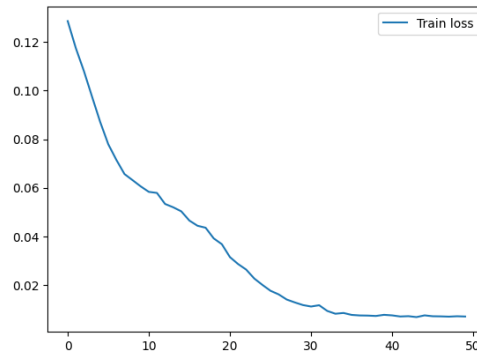


Figure 10 shows the Train loss (50 epochs) of the LSTM model.

2. สร้าง Polynomial model โดยกำหนด degree = 16 (โดยทดลอง degree = 2, 4, 8, 16 ตามลำดับ พบว่า 16 ได้ค่าใกล้เคียงมากที่สุด)

3.6 การทำนาย (Prediction)

ในการทดลองนี้เราจะทำการเปรียบเทียบการพยากรณ์ระหว่าง ค่าจริง, LSTM 3 ชั้น, Polynomial Regression และ ค่าเฉลี่ย 6 เดือนย้อนหลัง โดยค่าที่ได้ตามแนวแกนตั้ง (y) คือ NPL ratio และแกนนอน (x) คือช่วงเวลาซึ่งมีทั้งหมด 24 เดือน

ผลจาก Figure 11 และ 12 จะพบว่า Polynomial จะแกว่งน้อยกว่าตามเทรนได้ดีกว่า กรณีที่ข้อมูลมีการแกว่งมาก แต่ LSTM จะเกาะติดข้อมูลจริงได้ดีมาตลอดจนกระทั่งช่วงของ Trend data ที่แกว่งสูงแต่ก็สามารถกลับมาจับจุดใกล้เคียงในช่วงท้ายที่สุด และจากการทำนาย NPL ratio เดือนถัดระหว่าง LSTM มีความใกล้เคียงกว่า Polynomial Regression

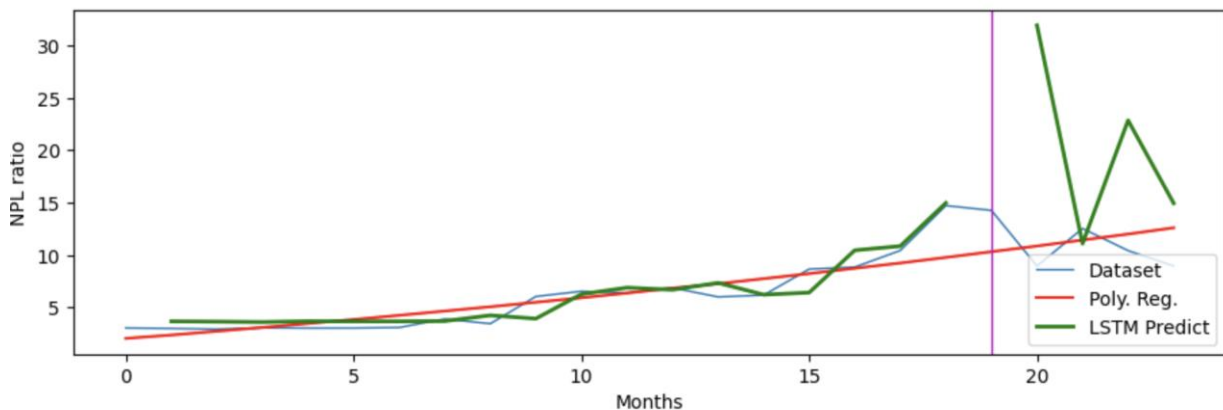


Figure 11 compares the graph of Dataset, Polynomial Regression, and LSTM (the X-axis is the number of months and the Y-axis is the NPL ratio).

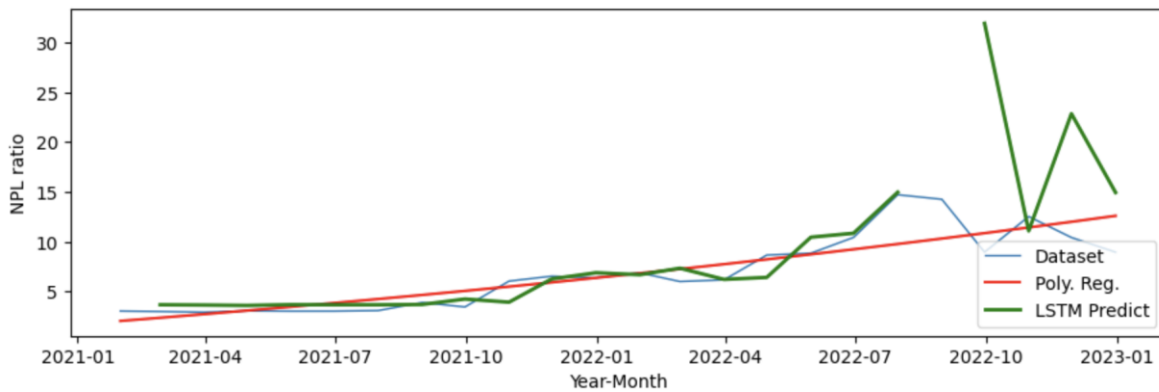


Figure 12 compares the graph of Dataset, Polynomial Regression, and LSTM (the X-axis is the month-year and the Y-axis is the NPL ratio).

Actual data: 14.73322643927597
 LSTM Prediction: 14.41
 Poly Prediction: 12.62
 Average from last 6 months: 7.85

Figure 13 The result of the NPL ratio prediction of each.

Actual data คือ NPL ratio จริงของเดือนถัดไป

LSTM Prediction คือ ค่า NPL ratio ที่ได้จากการทำนายโดยใช้ LSTM

Poly Prediction คือ ค่า NPL ratio ที่ได้จากการทำนายโดยใช้ Polynomial Regression

Average from last 6 months คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล 6 เดือนล่าสุด

3.4 การวัดประสิทธิภาพโมเดล (Model Evaluation)

ค่าวัดประสิทธิภาพโมเดลเปรียบเทียบ LSTM และ Polynomial Regression โดยใช้ RMSE และ MAE ซึ่งค่าที่ได้ เป็นค่าความคลาดเคลื่อน มีหน่วยเป็นจุด โดยยังมีค่าน้อยยิ่งหมายถึงคลาดเคลื่อนน้อย ประสิทธิภาพดีกว่าในชุดข้อมูลนั้นๆ

Data set	Training		Test	
	LSTM	Polynomial	LSTM	Polynomial
RMSE	0.963	1.521	12.095	2.528
MAE	0.722	1.067	9.737	1.3

Figure 14 Comparison of LSTM and Polynomial by RMSE และ MAE evaluation.

4. สรุป

สรุปผลการวิจัย 1. ด้านประสิทธิภาพ จากผล RMSE และ MAE ในช่วง Train LSTM มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่าหมายถึงประสิทธิภาพดีกว่า แต่ในช่วง Test Polynomial Regression มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่าหมายถึงประสิทธิภาพดีกว่า 2. ด้านการพยากรณ์ โดยเราได้ทดสอบพยากรณ์เดือนถัดไปปรากฏว่า LSTM ใกล้เคียงกว่า Polynomial Regression และ 3. วิเคราะห์จากกราฟ เส้น Polynomial เหมาะที่จะไว้ดูแนวโน้มระยะยาวมากกว่า ขณะที่ LSTM มีการเข้ากันได้กับข้อมูลจริงได้มากกว่าในช่วง Train ส่วนในช่วงแรกของ Test data มีการแกว่งสูงมากแต่สามารถกลับเข้าสู่ค่าใกล้เคียงได้ในท้ายที่สุด ทั้งนี้เมื่อดูจากข้อมูล เกิดจากการแกว่งข้อมูลที่สูงในช่วงแรกของ Test data ซึ่งสามารถเกิดได้จากสถานการณ์ภายนอก ส่งผลให้กระแสเงินสดในมือของผู้กู้ที่ชำระล่าช้าจะเป็น NPL จากผลกระทบของภาวะเศรษฐกิจและโรคระบาดโควิด 19

ผู้วิจัยให้ความเห็นว่า จากการนำชุดข้อมูลจริงที่มีการแกว่งสูงของข้อมูลมาพยากรณ์ LSTM แม่นยำกว่าในการพยากรณ์อนาคต ณ ช่วงๆ หนึ่ง เช่น คาดการณ์ NPL ratio ในเดือนถัดไป ส่วน Polynomial Regression เหมาะที่จะใช้เพื่อดูแนวโน้มระยะยาว หากนำไปใช้ร่วมกันน่าจะเกิดประโยชน์มากขึ้น รวมถึงนำไปเพื่อกำหนดกรณีที่แย่ที่สุด (Worst case), เฉลี่ย (Average case) และกรณีที่ดีที่สุด (Best case) ของผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นและนำไปใช้ในแนวทางวางกลยุทธ์และบริหารจัดการหนี้อย่างมีคุณภาพขององค์กรทางการเงินต่อไปได้อย่างทัน่วงที่

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] wikipedia.org. Non-performing_loan เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ https://en.wikipedia.org/wiki/Non-performing_loan (เข้าถึงเมื่อ 30 กันยายน 2565).
- [2] ธนาคารแห่งประเทศไทย. ข่าว ธปท. ฉบับที่ 66/2565 เรื่อง ผลการดำเนินงานของระบบธนาคารพาณิชย์ ไตรมาส 3 ปีบัญชี 2565. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.bot.or.th/Thai/PressandSpeeches/Press/2022/Pages/n6665.aspx> (เข้าถึงเมื่อ 21 มกราคม 2566).
- [3] ธนาคารแห่งประเทศไทย. สถาบันการเงินเฉพาะกิจ (Specialized Financial Institutions: SPI). เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.1213.or.th/th/aboutfcc/finservices/Pages/SFIs.aspx> (เข้าถึงเมื่อ 21 มกราคม 2566).
- [4] Serengil, Sefik & Imece, Salih & Tosun, Ugur & Büyükbaş, Ege Berk & Koroglu, Bilge. (2022). A Comparative Study of Machine Learning Approaches for Non Performing Loan Prediction with Explainability. International Journal of Machine Learning and Computing. 12. 208-214. 10.18178/ijmlc.2022.12.5.1102.
- [5] Tang, Dedong & Li, Chen & Ji, Xiaohui & Chen, Zhenyu & Di, Fangchun. (2019). Power Load Forecasting Using a Refined LSTM. ICMLC '19: Proceedings of the 2019 11th International Conference on Machine Learning and Computing. 104-108. 10.1145/3318299.3318353.
- [6] Baek, Yujin & Kim, Ha. (2018). ModAugNet: A new forecasting framework for stock market index value with an overfitting prevention LSTM module and a prediction LSTM module. Expert Systems with Applications. 113. 10.1016/j.eswa.2018.07.019.
- [7] Golizadeh Akhlaghi, Yousef & Ma, Xiaoli & Shittu, Samson & Li, Jun-Ming. (2019). A statistical model for dew point air cooler based on the multiple polynomial regression approach. Energy. 10.1016/j.energy.2019.05.213.
- [8] wikipedia.org. Machine Learning. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_learning (เข้าถึงเมื่อ 13 ตุลาคม 2565).
- [9] wikipedia.org. Deep Learning. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning (เข้าถึงเมื่อ 13 ตุลาคม 2565).
- [10] ณัฐโชติ พรหมฤทธิ์ และ ดร.สัจจาภรณ์ ไวจรรยารวรรณ. 2564. Fundamental of Deep Learning in Practice. พิมพ์ครั้งที่ 1. ไอทีซีฯ, นนทบุรี.
- [11] กอบเกียรติ สระอุบล. 2565. เรียนรู้ AI: Deep Learning ด้วย Python. พิมพ์ครั้งที่ 1. SE-ED, กรุงเทพฯ.
- [12] Business Analytics and data science NIDA. On 33 kinds of Regression Analyses. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://businessanalyticsnida.wordpress.com/2016/09/18/32-kinds-of-regression/> (เข้าถึงเมื่อ 11 พฤศจิกายน 2565).

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์แอคทีฟจากทางใบปาล์ม Development of active packaging from oil palm frond

จิราภรณ์ ปานาลาด¹ สิริฉัตรณ์ช ภัคดีพรหมมา¹ พรประพา คงตระกูล² และ อุษา สุขชา^{1*}
Jirapphon Panalad¹, Sirichatnatch Pakdeepromma¹, Pornprapa Kongtragoul² and Usa Sukkha^{1*}

¹ภาควิชาพื้นฐานทั่วไป สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ชุมพร
²ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ชุมพร

¹Department of General Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon
²Department of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon
*Corresponding author: Usa Sukkha, usa.suk@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาบรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่ทำจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol; PVA) และเซลลูโลส (CL) ที่สกัดจากทางใบปาล์มซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยทำการเตรียมฟิล์มชีวภาพผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเซลลูโลสที่สกัดได้จากทางใบปาล์ม ในอัตราส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์:เซลลูโลส เท่ากับ 95:5 และ 90:10 โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่าปริมาณของเซลลูโลสในฟิล์มชีวภาพมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม โดยฟิล์มชีวภาพ PVA ฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL และ PVA-10%CL มีความหนาเท่ากับ 0.075 ± 0.010 มิลลิเมตร 0.229 ± 0.005 มิลลิเมตร และ 0.442 ± 0.008 มิลลิเมตร ตามลำดับ ปริมาณความชื้นของฟิล์ม PVA คือ ร้อยละ 9.16 ± 0.40 ฟิล์ม PVA-5%CL คือ ร้อยละ 26.29 ± 0.83 และ ฟิล์ม PVA-10%CL มีปริมาณความชื้นที่ร้อยละ 34.36 ± 1.11 นอกจากนี้ฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL ซึ่งเป็นฟิล์มที่เหมาะสมถูกนำมาปรับปรุงสมบัติการต้านจุลชีพโดยใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการเคมีสีเขียว ผลการทดลองพบว่าฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL ที่มีการเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus ochraceus* ได้

คำสำคัญ: บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ, ทางใบปาล์ม, เซลลูโลส, อนุภาคซิลเวอร์นาโน, พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

Abstract

This work aimed to study and develop active packaging made of polyvinyl alcohol (PVA) and cellulose (CL) extracted from oil palm frond which is agricultural residues. The blended biofilms between polyvinyl alcohol and cellulose extracted from oil palm frond were prepared by combining the polyvinyl alcohol with cellulose in the weight ratio of 95:5 and 90:10. Based on the results, it was found that the amount of cellulose presenting in biofilm effected the physical properties of film. Thickness of PVA biofilm, PVA-5%CL and PVA-10%CL blended biofilms are 0.075 ± 0.010 mm, 0.229 ± 0.005 mm and 0.442 ± 0.008 mm, respectively. Percentages of moisture content are 9.16 ± 0.40 for PVA film, 26.29 ± 0.83 for PVA-5%CL film and 34.36 ± 1.11 for PVA-10%CL film. Moreover, the PVA-5%CL blended biofilm was selected to improve their antimicrobial property using green chemistry synthesized silver nanoparticles. The results indicated that the silver nanoparticles added to PVA-5%CL blended biofilm could inhibit mycelial growth of *Aspergillus ochraceus*.

Keywords: Active packaging, Oil palm frond, Cellulose, Silver nanoparticles, Polyvinyl alcohol

1. บทนำ

อาหารต่างๆ ส่วนใหญ่ที่เรานำมาบริโภคเมื่อเก็บรักษาไว้ระยะหนึ่งจะเกิดการเสื่อมเสียขึ้น ซึ่งสาเหตุเกิดได้จากปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน เช่น การเสื่อมเสียทางกายภาพ การเสื่อมเสียเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเคมี และการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเกิดการสูญเสียคุณภาพทางประสาทสัมผัส และอาจก่อให้เกิดอันตรายจากสารพิษที่ถูกผลิตจากจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารได้ [1] สำหรับการถนอมอาหารนอกเหนือจากการใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อหรือการใช้ความเย็นแล้ว การใช้สารต่อต้านจุลินทรีย์เติมลงไปในอาหารเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ใช้แล้วสามารถป้องกันหรือลดการเสื่อมเสียของอาหารจากจุลินทรีย์ได้ [2] แต่ด้วยในปัจจุบันนี้ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีบวกกับความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่ออาหารที่ได้คุณภาพและมีความปลอดภัยมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เกิดการพัฒนาบรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟ (Active packaging) เกิดขึ้น ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวมีสมบัติในการช่วยยืดอายุการเก็บของอาหารนานยิ่งขึ้น ซึ่งพิเศษกว่าบรรจุภัณฑ์โดยทั่วไปในการปกป้องผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์จากสิ่งแวดล้อมภายนอก บรรจุภัณฑ์ชนิดต่อต้านจุลินทรีย์เป็นบรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟประเภทหนึ่งที่สามารถช่วยชะลอการเสื่อมเสียของอาหารจากจุลินทรีย์ได้โดยการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ลงในบรรจุภัณฑ์เพื่อให้สารต่อต้านจุลินทรีย์เข้าไปทำปฏิกิริยากับเซลล์จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ที่บริเวณพื้นผิวของอาหาร ส่งผลให้การเจริญของเซลล์หยุดชะงักและจุลินทรีย์ถูกทำลายในที่สุด ซึ่งการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ลงในภาชนะบรรจุภัณฑ์แทนการเติมลงในอาหาร นอกจากจะเป็นการช่วยลดปริมาณสารที่ต้องใช้ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารแล้ว ยังเป็นการลดความเสี่ยงของผู้บริโภคต่ออันตรายจากการได้รับสารต่อต้านจุลินทรีย์ในอาหารได้อีกด้วย [3]

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาบรรจุภัณฑ์ที่มีวางจำหน่ายในท้องตลาดและที่นิยมส่วนใหญ่เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์ซึ่งย่อยสลายได้ยากจึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโลกตลอดจนภัยธรรมชาติต่างๆ ที่เกิดเพิ่มมากขึ้นในทุกๆ ปี แม้แต่ประเทศไทยเองได้มีการรายงานจากกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ. 2563 ว่าภายในประเทศไทยมีขยะที่ไม่ได้รับการกำจัดอย่างถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 31 จากปริมาณขยะทั้งหมดที่เกิดขึ้นในปีนั้น และขยะส่วนนี้ก็ยังก่อให้เกิดปัญหาการรั่วไหลของขยะออกสู่ทะเลทำให้เกิดการสะสมของไมโครพลาสติกในอาหารทะเลอีกด้วย [4] จากการตื่นตัวจากปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมและภัยธรรมชาติ ทำให้นักวิจัยหลายกลุ่ม ตลอดจนผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์เริ่มมองหาวัสดุในการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่มีความคงทนในการใช้งาน ไม่ส่งผลต่อคุณภาพของอาหารที่บรรจุ และลดปัญหาขยะที่เกิดจากบรรจุภัณฑ์ [5] ดังนั้นการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ใช้วัสดุชีวโพลิเมอร์ทางชีวภาพมากขึ้น เช่น คาร์โบไฮเดรต ไลปิด และโปรตีน เป็นต้น [6] เนื่องจากเป็นโพลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [7] เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองและมีอยู่มากมายตามธรรมชาติ มีสมบัติเป็นเส้นใยชนิดไม่ละลายในน้ำและมีความเป็นผลึกสูง ปัจจุบันจึงนิยมนำเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง เช่น อุตสาหกรรมอาหาร เกษษกรรม [8] ตลอดจนอุตสาหกรรมทดแทนการใช้พลาสติกสังเคราะห์ เช่น การนำมาเป็นส่วนประกอบของบรรจุภัณฑ์อาหาร บรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ เป็นต้น ซึ่งพืชที่มีปริมาณเซลลูโลสสูง โดยส่วนใหญ่จะเป็นพืชที่อยู่ในกลุ่มเส้นใย เช่น อ้อย ผักตบชวา ฟางข้าว กากกล้วย หรือใบสับปะรด ปาล์ม เป็นต้น

ทางใบปาล์มของต้นปาล์มน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากการปลูกปาล์มน้ำมัน เกษตรกรจะต้องตัดใบล่างที่รองรับทะลายปาล์มน้ำมันก่อนเก็บเกี่ยวหรือโค่นต้นทิ้งเพื่อปลูกใหม่ ในระยะเวลา 1 ปี เกษตรกรจะตัดทางใบปาล์มน้ำมันประมาณ 18 ครั้ง โดยทางปาล์มน้ำมัน 1 ทางนั้นจะมีน้ำหนักประมาณ 5 กิโลกรัม คิดเป็นน้ำหนักสดของทางปาล์มน้ำมัน 3,960 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ซึ่งถือว่ามีความเหมาะสมและมีเส้นใยเซลลูโลสมากถึง 40-50% ดังนั้นทางใบปาล์มจึงถือว่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่น่าสนใจสำหรับเป็นวัสดุที่ใช้ในการสกัดเซลลูโลสเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านของการผลิตบรรจุภัณฑ์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาบรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่ย่อยสลายได้จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเซลลูโลสที่สกัดจากทางใบปาล์มซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และทำการศึกษาปรับปรุงสมบัติการต้านจุลชีพของฟิล์มที่พัฒนาขึ้นมาโดยใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนเนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์นาโนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ดีและนิยมนำมาใช้ผสมลงไปในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ [9] และจากการรายงานผลการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า อนุภาคซิลเวอร์สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคที่เป็นต้นเหตุของโรคได้มากกว่า 650 ชนิด [10] ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำอนุภาคซิลเวอร์นาโนมาปรับปรุงสมบัติของฟิล์มและอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการเคมีสีเขียว (Green chemistry) โดยใช้สารสกัดจากใบชะมวง ซึ่งกระบวนการเคมีสีเขียวนี้เป็นกระบวนการเตรียมที่คำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้สารเคมีเป็นอันดับแรก โดยสารเคมีที่ใช้จะต้องไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมหรือก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด [11] สำหรับการทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อจุลชีพของฟิล์มที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้เชื้อรา *Aspergillus ochraceus* เนื่องจากเป็นเชื้อราที่มัก

พบได้ทั่วไปในอาหารแห้ง โดยเชื้อราชนิดนี้จะสร้างสารพิษ Ochratoxin A, B และ C รวมถึง Penicillic acid และ Mycotoxin ซึ่งเป็นสารที่มีพิษต่อมนุษย์อีกด้วย จากการรายงานการวิจัยยังว่าสาร Ochratoxin A นั้นสามารถทนความร้อนอุณหภูมิสูงต้มปอกได้ และสามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่มีความชื้นและอุณหภูมิปานกลาง และมักพบเชื้อชนิดนี้ปนเปื้อนอยู่บนเมล็ดธัญพืช โกโก้ เมล็ดกาแฟ ชีส และผลไม้อบแห้ง เช่น องุ่นอบแห้ง เป็นต้น [12]

2. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ใช้ผงเซลลูโลสที่สกัดได้จากทางใบปาล์มซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร โดยนำผงเซลลูโลสที่เตรียมได้มาทำการคัดแยกขนาดโดยใช้ผ้าสกรีนเบอร์ 100 ดังนั้นผงเซลลูโลสที่ใช้ในงานวิจัยจะมีขนาดเล็กกว่า 60 ไมโครเมตร และอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เตรียมได้จากกระบวนการเตรียมแบบเคมีสีเขียว (Green chemistry) โดยใช้สารสกัดจากใบชะมวง

2.1 การเตรียมสารละลายเซลลูโลสจากทางใบปาล์ม

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายเซลลูโลสจากทางใบปาล์มดัดแปลงกระบวนการมาจาก พชรวรรณ [13] โดยเตรียมสารละลายผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และยูเรีย ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยชั่ง NaOH ปริมาณ 6.00 กรัมผสมกับ $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ปริมาณ 4.00 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรสารละลายเป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำผงเซลลูโลสจากทางใบปาล์มที่ผ่านการคัดแยกขนาดแล้วปริมาณ 0.50 กรัม ผสมลงในสารละลายผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์และยูเรียที่เตรียมไว้ พร้อมทั้งทำการปั่นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการปรับค่า pH ของสารละลายให้เป็นกลาง ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 6 โมลาร์ จากนั้นทำการปั่นกวนต่อไปที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จนกระทั่งได้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

2.2 การเตรียมฟิล์มชีวภาพผสมระหว่าง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ เซลลูโลสจากทางใบปาล์ม

ผสมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร กับสารละลายเซลลูโลสที่เตรียมไว้ โดยให้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ PVA : CL เป็น 95:5 (PVA-5%CL) และ 90:10 (PVA-10%CL) ทำการปั่นกวนเพื่อผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำสารผสมที่ได้เทลงบนเพลตพลาสติก จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในตู้อบลมร้อน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บแผ่นฟิล์มชีวภาพผสมที่ได้ในถุงซิปล็อคแล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้นก่อนที่จะนำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มต่อไป

2.3 การทดสอบสมบัติของฟิล์ม

2.3.1 ความหนาของฟิล์ม (Thickness)

วัดความหนาของฟิล์มโดยใช้ Electronic digital caliper โดยทำการวัดความหนาของฟิล์มแบบสุ่มตำแหน่ง จำนวน 10 ตำแหน่งต่อตัวอย่างฟิล์ม 1 แผ่น และทำการวัดตัวอย่างฟิล์มชนิดละ 3 ซ้ำ จากนั้นทำการบันทึกผลและหาค่าเฉลี่ย

2.3.2 ความชื้น (Moisture content)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยใช้วิธีของ Moghadam และคณะ [14] โดยเริ่มจากการนำแคปซูลอะลูมิเนียมไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปใส่ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที เมื่อแคปซูลอะลูมิเนียมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วนำแคปซูลอะลูมิเนียมไปชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าที่ได้ จากนั้นนำตัวอย่างฟิล์มใส่ลงในแคปซูลอะลูมิเนียมและชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าน้ำหนักฟิล์มก่อนอบ จากนั้นนำแคปซูลที่มีตัวอย่างฟิล์มไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าที่ได้ จากนั้นนำตัวอย่างฟิล์มไปอบต่ออีกครั้งละ 24 ชั่วโมงแล้วนำมาชั่งน้ำหนักเช่นเดิม ทำการทดลองซ้ำไปจนกว่าค่าน้ำหนักที่ได้จะคงที่และทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างโดยใช้สมการที่ (1)

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักฟิล์มก่อนอบ} - \text{น้ำหนักฟิล์มหลังอบ}}{\text{น้ำหนักฟิล์มก่อนอบ}} \times 100 \quad (1)$$

2.4 การเตรียมฟิล์มบรรจุภัณฑ์แอกทิฟโดยเติมสารแขวนลอยอนุภาคซิลเวอร์นาโน

เลือกใช้ฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL มาปรับปรุงสมบัติการยับยั้งเชื้อจุลชีพ โดยทำการเตรียมฟิล์มเช่นเดียวกับฟิล์มชีวภาพผสม PVA และ CL ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก PVA : CL เป็น 95:5 และทำการเติมสารแขวนลอยอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้น 0 µg/ml, 10 µg/ml, 20 µg/ml, 30 µg/ml, 40 µg/ml, 50 µg/ml และ 100 µg/ml ลงในสารผสม แล้วทำการปั่นกวนผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเทของผสมที่ได้ลงบนเพลตพลาสติก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในตู้อบลมร้อน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเก็บฟิล์มที่ได้ไว้ในถุงซิปล็อคแล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้นก่อนที่จะนำไปศึกษาฤทธิ์การต้านจุลชีพต่อไป

2.5 การทดสอบการต้านจุลชีพ (Antimicrobial properties)

นำตัวอย่างฟิล์มชีวภาพผสมที่ปรับปรุงสมบัติการต้านจุลชีพโดยการเติมสารแขวนลอยอนุภาคซิลเวอร์นาโนลงในสารผสม 0 µg/ml, 10 µg/ml, 20 µg/ml, 30 µg/ml, 40 µg/ml, 50 µg/ml และ 100 µg/ml (ตัวอย่างฟิล์ม PVA-5%CL, PVA-5%CL-Ag10, PVA-5%CL-Ag20, PVA-5%CL-Ag30, PVA-5%CL-Ag40, PVA-5%CL-Ag50 และ PVA-5% CL-Ag100 ตามลำดับ) มาศึกษาสมบัติในการต้านจุลชีพของฟิล์มผ่านการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus ochraceus* โดยตัดฟิล์มชีวภาพแต่ละชนิดมาตัดเป็นรูปร่างกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร วางแผ่นฟิล์มแต่ละชนิดลงไป 4 จุด บนจานเลี้ยงเชื้อ PDA ที่มีเชื้อรา *Aspergillus ochraceus* อยู่ จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้แผ่นฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL เป็นชุดควบคุม เมื่อเชื้อโตเต็มที่ทำการบันทึกภาพถ่ายและศึกษาการเติบโตของเชื้อราภายใต้กล้องจุลทรรศน์

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ลักษณะของฟิล์มชีวภาพผสมระหว่าง PVA และเซลลูโลสจากทางใบปาล์ม

ฟิล์มชีวภาพ PVA และ ฟิล์มชีวภาพผสมระหว่าง PVA และเซลลูโลสจากทางใบปาล์มที่เตรียมได้แสดงดัง Figure 1 จากผลการเตรียมฟิล์มพบว่าลักษณะของฟิล์ม PVA มีความใส พื้นผิวเรียบตลอดทั้งแผ่นฟิล์ม ส่วนฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL ที่เตรียมได้มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบเช่นเดียวกับฟิล์มชีวภาพ PVA มีการกระจายตัวของเซลลูโลสที่ค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งแผ่นฟิล์ม แต่ฟิล์มที่ได้มีสีขาวขุ่นเนื่องจากเซลลูโลสที่ทำการเติมลงไปฟิล์ม เมื่ออัตราส่วนเซลลูโลสที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 10 พบว่า ลักษณะของฟิล์มชีวภาพผสม PVA-10%CL มีสีขาวขุ่นมากขึ้น พื้นผิวขรุขระ ไม่เรียบสม่ำเสมอเหมือนฟิล์ม PVA-5%CL และการกระจายตัวของเซลลูโลสไม่สม่ำเสมอ ทั้งนี้จะมีสาเหตุมาจากปริมาณเซลลูโลสที่เติมลงไปในช่วงขั้นตอนการเตรียมฟิล์มชีวภาพผสมนั้นมากเกินไปทำให้องค์ประกอบหลัก PVA ของฟิล์ม ไม่สามารถพองให้เซลลูโลสที่เติมลงไปกระจายตัวอยู่ได้จึงเกิดการตกตะกอนลงมาด้านล่างของแผ่นฟิล์มอย่างรวดเร็วและเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอในช่วงขั้นตอนการเทและอบเพื่อให้สารแขวนลอยเกิดการฟอร์มตัวเป็นแผ่นฟิล์ม



Figure 1 The images of (a) PVA film, (b) PVA-5%CL film and (c) PVA-10%CL film.

3.2 ความหนาของฟิล์ม (Thickness)

ผลการทดสอบวัดความหนาของฟิล์มชีวภาพ PVA และ ฟิล์มชีวภาพผสมระหว่าง PVA และ CL แสดงดัง Table 1 พบว่าฟิล์ม PVA มีค่าความหนาเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.075 ± 0.010 มิลลิเมตร รองลงคือฟิล์ม PVA-5%CL มีความหนาเฉลี่ยอยู่ที่ 0.229 ± 0.005 มิลลิเมตร และ ฟิล์ม PVA-10%CL มีค่าความหนาเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ 0.442 ± 0.008 มิลลิเมตร ซึ่งให้เห็นว่าเมื่อปริมาณ CL เพิ่มขึ้นฟิล์มชีวภาพผสมที่ได้จะมีความหนาเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาของตัวอย่างฟิล์มชีวภาพ PVA และฟิล์มชีวภาพผสมระหว่าง PVA และ CL แต่ละแผ่นฟิล์มที่วัดความหนาแบบสุ่ม 10 ตำแหน่งพบว่าเมื่อปริมาณ CL เพิ่มสูงขึ้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาของแผ่นฟิล์มจะเพิ่มมากขึ้น โดยฟิล์มชีวภาพ PVA มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด รองลงมาคือฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL และฟิล์มชีวภาพผสม PVA-10%CL มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของฟิล์มที่ว่าลักษณะของฟิล์มชีวภาพผสม PVA-10%CL มีพื้นผิวขรุขระ ไม่เรียบสม่ำเสมอ และการกระจายตัวของ CL ไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นฟิล์ม ส่งผลให้ความหนาของฟิล์มในแต่ละบริเวณมีความแตกต่างกัน

Table 1 Thickness of PVA film and PVA-CL films at different weight ratio.

Sample	Thickness (mm.)			
	Film 1	Film 2	Film 3	Average
PVA	0.066 ± 0.010	0.085 ± 0.008	0.073 ± 0.009	0.075 ± 0.010
PVA-5%CL	0.231 ± 0.031	0.223 ± 0.024	0.232 ± 0.027	0.229 ± 0.005
PVA-10%CL	0.439 ± 0.048	0.435 ± 0.069	0.451 ± 0.042	0.442 ± 0.008

3.3 ความชื้น (Moisture content)

ผลการทดสอบความชื้นของฟิล์มซึ่งให้เห็นว่าฟิล์มชีวภาพ PVA ดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 9.16 ± 0.40 เมื่อผสมเซลลูโลสลงไปในฟิล์มชีวภาพ PVA พบว่าฟิล์มชีวภาพผสมจะมีปริมาณชื้นสูงกว่าฟิล์มชีวภาพ PVA และปริมาณความชื้นจะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเซลลูโลสที่เพิ่มสูงขึ้นในฟิล์มชีวภาพผสม โดยฟิล์ม PVA-5%CL มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 26.29 ± 0.83 และ ฟิล์ม PVA-10%CL มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยสูงที่สุด ที่ร้อยละ 34.36 ± 1.11 ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Moisture content of PVA film and PVA-CL films at different weight ratio.

Sample	Moisture content (%)			
	Film 1	Film 2	Film 3	Average
PVA	9.05	8.59	9.38	9.16 ± 0.40
PVA-5%CL	26.67	26.86	25.34	26.29 ± 0.83
PVA-10%CL	33.23	34.40	35.45	34.36 ± 1.11

3.4 การทดสอบการต้านจุลชีพ (Antimicrobial properties)

การปรับปรุงสมบัติการต้านจุลชีพของฟิล์มชีวภาพผสมในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ฟิล์ม PVA-5%CL เนื่องจากมีสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าฟิล์ม PVA-10%CL ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น ฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL ที่ถูกปรับปรุงโดยการเติมสารแขวนลอยอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำมาศึกษาการต้านจุลชีพผ่านการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus ochraceus* ผลการทดสอบของฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL ที่ใช้เป็นตัวควบคุม และฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL ที่ถูกเติมสารแขวนลอยอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงไว้ใน Figure 2 จากภาพถ่ายใน Figure 2a

สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเชื้อรา *Aspergillus ochraceus* สามารถเจริญเติบโตได้บนฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL ในขณะที่ภาพถ่ายของฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL ที่ถูกเติมสารแขวนลอยอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ทุกความเข้มข้นไม่สังเกตเห็นการเติบโตของเชื้อราบนแผ่นฟิล์ม แต่อย่างไรก็ตามสีของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL มีสีคล้ายกับสีของสปอร์ของเชื้อรา จึงเป็นการยากที่จะสังเกตและสรุปผลจากภาพถ่ายว่าที่ทุกความเข้มข้นของซิลเวอร์นาโนตั้งแต่ 10-100 $\mu\text{g/ml}$ นั้นสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus ochraceus* ได้

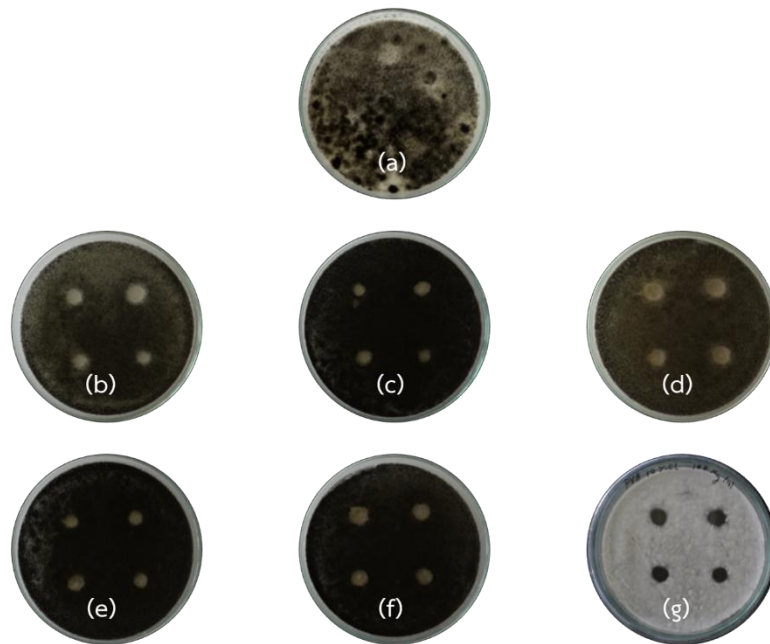


Figure 2 Inhibitory effects of (a) PVA-5%CL film (Control), (b) PVA-5%CL-Ag10 film, (c) PVA-5%CL-Ag20 film, (d) PVA-5%CL-Ag30 film, (e) PVA-5%CL-Ag40 film, (f) PVA-5%CL-Ag50 film and (g) PVA-5%CL-Ag100 film on mycelial growth of *Aspergillus ochraceus* after incubating for 24 h on PDA.

ดังนั้นการศึกษากการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus ochraceus* บนฟิล์มชีวภาพผสมภายใต้กล้องจุลทรรศน์จึงทำเพื่อเป็นการยืนยันผลการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL ที่ใช้เป็นตัวควบคุม และฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL ที่ถูกเติมสารแขวนลอยอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้น 10 20 50 และ 100 $\mu\text{g/ml}$ แสดงไว้ดัง Figure 3 จากภาพถ่ายสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่าบนแผ่นฟิล์มตัวควบคุม (Figure 3a) มีการเจริญเติบโตของสปอร์และเส้นใยของเชื้อราอย่างชัดเจน พิจารณาภาพถ่ายของฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL-Ag10 ใน Figure 3b พบว่ามีเส้นใยของเชื้อราเจริญเติบโตอยู่บนแผ่นฟิล์ม แต่เมื่อปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคซิลเวอร์นาโนเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 20 $\mu\text{g/ml}$ เป็นต้นไป จะไม่พบสปอร์หรือเส้นใยของเชื้อราเจริญเติบโตได้บนแผ่นฟิล์มชีวภาพผสม ดังแสดงใน Figure 3c-3e จากผลการทดสอบนี้สามารถกล่าวได้ว่าฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL ที่ถูกปรับปรุงด้วยการเติมสารแขวนลอยอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 20 $\mu\text{g/ml}$ ขึ้นไป สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus ochraceus* ได้

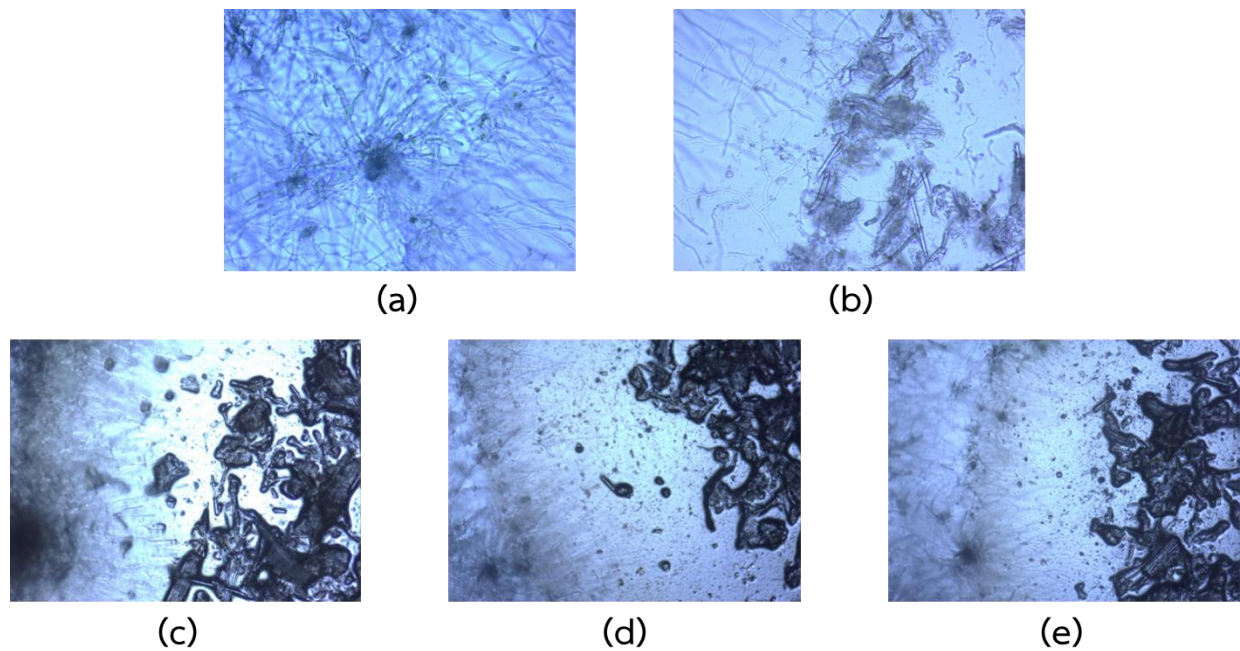


Figure 3 Light microscope images of mycelial growth of *Aspergillus ochraceus* on (a) PVA-5%CL film (Control), (b) PVA-5%CL-Ag10 film, (c) PVA-5%CL-Ag20 film, (d) PVA-5%CL-Ag50 film and (e) PVA-5%CL-Ag100 film.

4. สรุป

จากการทดลองการพัฒนาบรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่ย่อยสลายได้จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยเซลลูโลสจากทางใบปาล์มซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พบว่าปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาและความชื้นของฟิล์มเพิ่มมากขึ้น และสามารถปรับปรุงสมบัติการต้านจุลชีพของฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL ด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่เตรียมจากกระบวนการเคมีสีเขียว โดยฟิล์มชีวภาพผสม PVA-5%CL ที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโนเพียง 20 $\mu\text{g/ml}$ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus ochraceus* บนแผ่นฟิล์มได้ จากผลการศึกษาทำให้ทราบว่าฟิล์มที่พัฒนาได้จากงานวิจัยนี้มีโอกาสนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารที่มีความชื้นต่ำได้ เพื่อให้สามารถชะลอการเสื่อมเสียของอาหารและสามารถทำให้อาหารมีอายุการเก็บรักษาได้ยาวนานมากยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินการเสร็จลุล่วงได้ด้วยการสนับสนุนจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่ห้องปฏิบัติการเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ตลอดงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พร้อมลักษณ์ สมบูรณ์ปัญญากุล. 2551. องค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์การอาหาร. ใน:การประชุมวิชาการนักกำหนดอาหารประจำปี 2551. ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์. หน้า 10-46.
- [2] นวลจิตต์ เขวากีรติพงศ์. วิธีการถนอมอาหาร. 2545. การถนอมอาหาร, กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช. หน้า 22-65.
- [3] ชนากานต์ จันทร์สมบูรณ์. 2563. บรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200612091718_new. (เข้าถึงเมื่อ 1 เมษายน 2566).
- [4] สถาบันเทคโนโลยีและสารสนเทศเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (สทสย.). 2564. ปัญหาและแนวทางการจัดการขยะของประเทศไทย. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ https://www.nstda-tiis.or.th/publications_media/th-waste-management-and-recommendations/?fbclid=IwAR2unQa3r3BHxW1do456NNUU6mv10dgpXsvxO2TAOP-NvcAuhCqYuMU6Gc (เข้าถึงเมื่อ 1 เมษายน 2566).
- [5] Zhao, G., Lyu, X., Lee, J., Cui, X. and Chen, W. N. 2019. Biodegradable and transparent cellulose film prepared eco-friendly from durian rind for packaging application. Food Packaging and Shelf Life. 21: 100345.
- [6] Tapia-Blácido, D., Mauri, A. N., Menegalli, F. C., Sobral, P. J. A. and Anon, M. C. 2007. Contribution of the Starch, Protein, and Lipid Fractions to the Physical, Thermal, and Structural Properties of Amaranth (*Amaranthus caudatus*) Flour Films. Food Science. 72: E293-E300.
- [7] Phisalaphong, M. and Jatupaiboon, N. 2008. Biosynthesis and characterization of bacteria cellulose-chitosan film. Carbohydrate Polymers. 74: 482-488.
- [8] พัชรภรณ์ พิมพ์จันทร์, สุปัญญา พงอุทธา, พรนภา บุญตา และอรุณรัตน์ อุทัยคู. 2561. การสกัดเซลลูโลสจากต้นกกเพื่อใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหาร. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. 1. 20.
- [9] วายากรณ์ เพ็ชฌุไพศิษฐ์ และปาณิศา แสงนาค. 2562. บรรจุภัณฑ์ต้านจุลชีพจากเซลลูโลส โคโตซานและโคโตซานดัดแปร-ซิลเวอร์คอมเพล็กซ์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 28. 759-773.
- [10] N-Silver Spray. 2561. เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับนาโนซิลเวอร์. N-Silver. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <http://www.nsilverspray.com> (เข้าถึงเมื่อ 5 เมษายน 2566).
- [11] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). 2560. เคมีสีเขียว (Green Chemistry). กระทรวงศึกษาธิการ. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7167-green-chemistry> (เข้าถึงเมื่อ 5 เมษายน 2566).
- [12] อำนาง พัวพลเทพ. (ม.ป.ป.). สารพิษจากเชื้อรา: ภัยเงียบในอาหาร. นายกสมาคมสารพิษจากเชื้อรา, ภาควิชาเภสัชวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [13] พชรวรรณ รัตนทรงธรรม. 2565. การเตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพผสมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเซลลูโลสที่สกัดจากก้านใบบัวหลวง. วารสารวิจัยประยุกต์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 21. 29-30.
- [14] Moghadam, M., Salami, M., Mohammadian, M., Khodadadi, M. and Eman-Djomeh, Z. 2020. Development of antioxidant edible films based on mung bean protein enriched with pomegranate peel. Food Hydrocolloids. 104: 105735.

การพัฒนาฟิล์มบริโภคได้โดยใช้สารสกัดสมุนไพรไทย
Development of edible films using Thai herb extracts

ศศิกันต์ ปานประดิษฐ์¹ อุษา สุขชา¹ พรประพา คงตระกูล² และ สิริฉัตรณ์ช กักดีพรหมมา^{1*}
Sasikan Panpradit¹, Usa Sukkha¹, Pornprapa Kongtragoul² and Sirichatnach Pakdeepromma^{1*}

¹ภาควิชาพื้นฐานทั่วไป สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
²ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

¹ Department of General Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon

² Department of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon

*Corresponding author: Sirichatnach Pakdeepromma, e-mail address: Sirichat.ka@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการผลิตฟิล์มบริโภคได้เพื่อสร้างเป็นบรรจุภัณฑ์ใหม่ที่ใช้ในการห่อหุ้มอาหาร โดยทำการผลิตฟิล์มจากแป้งถั่วเขียวเสริมด้วยสารสกัดสมุนไพร 3 ชนิดได้แก่ ใบมะขาม ใบชะมวง และใบส้มป่อย ซึ่งเป็นสมุนไพรที่พบได้โดยทั่วไปในประเทศไทย ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด พบว่าสารสกัดจากใบส้มป่อยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 31.29 ± 0.16 mg GAE/g extract และร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 92.97 ± 5.74 ตามลำดับ ในการวัดสารประกอบฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากฟิล์มบริโภคได้โดยการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าสารสกัดที่ได้จากฟิล์มบริโภคได้ยังคงตรวจพบสารประกอบฟีนอลิกรวมและแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยไม่เสื่อมสภาพไปในกระบวนการเตรียมฟิล์ม ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจที่จะนำไปมะขาม ใบชะมวง และใบส้มป่อยมาพัฒนาเป็นฟิล์มบริโภคได้สำหรับเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารที่มีประโยชน์ด้านสุขภาพโดยมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าสมุนไพรไทยอีกทางหนึ่งด้วย

คำสำคัญ: สารประกอบฟีนอลิก, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, ฟิล์มบริโภคได้, ใบมะขาม, ใบชะมวง, ใบส้มป่อย

Abstract

This research presents the development of edible films. To create new food packaging, edible films from mung bean protein were produced using three types of herbs including *Tamarindus indica* L. *Garcinia cowa* Roxb. and *Acacia concinna* (Willd.) D.C., which found widely in Thailand. Total phenolic content and antioxidant activity of herb extracts and edible films were analyzed. It was found that *Acacia concinna* showed highest total phenolic content and radical scavenging activity, 31.29 ± 0.16 mg GAE/g extract and $92.97 \pm 5.74\%$, respectively. To evaluate total phenolic content and antioxidant activity of edible films, extraction using water as a solvent was carried out at room temperature for 4 h. Total phenolic content and antioxidant activity was detected in the extract solution from edible films. The results indicated that phenolic content and antioxidant properties were not deteriorated in the film during preparation process. It is promising to use these kinds of Thai herbs to develop an edible film for healthy food packaging with antioxidant property. In addition, it is also an alternative way for value-added Thai herbs.

Keywords: Phenolic, Antioxidant, Edible film, *Tamarindus indica*, *Garcinia cowa*, *Acacia concinna*

1. บทนำ

จำนวนประชากรโลกที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลต่อปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้งมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกปี ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอันมาก การลดจำนวนพลาสติกลงโดยการใช้ฟิล์มบริโภคได้ (Edible film) มาเป็นบรรจุภัณฑ์ในการห่อหุ้มอาหาร และรับประทานได้พร้อมกับอาหารนั้นๆ จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ โดยฟิล์มบริโภคได้สามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์กับอาหารโดยวิธีการต่างๆ เช่นการห่อหุ้ม การจุ่ม หรือการพ่นฝอย เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของอาหาร ป้องกันการแพร่ผ่านของแก๊สเข้าออกจากอาหาร จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้ [1] ฟิล์มบริโภคได้สามารถแบ่งออกได้ตามวัสดุที่ใช้ในการทำฟิล์มเป็น 3 ชนิด คือ ฟิล์มโปรตีน ฟิล์มลิพิด และฟิล์มโพลีแซ็กคาไรด์ [2] โดยงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีความสนใจในการพัฒนาผลิตฟิล์มบริโภคได้จากแป้งถั่วเขียวที่อุดมด้วยโปรตีนรวมไปถึงแร่ธาตุและวิตามินต่างๆ [3] นำมาเสริมฤทธิ์ด้วยสมุนไพรท้องถิ่นที่หาได้ง่าย โดยได้ทำการเลือกสมุนไพร 3 ชนิด ได้แก่ ใบมะขาม ใบชะมวง และใบส้มป่อย ที่มีรายงานว่ามียฤทธิ์ทางการแพทย์ดังนี้

ใบมะขาม (*Tamarindus indica*) มีสรรพคุณเป็นยาแก้ไอ แก้โรคบิด ฟอกโลหิต ขับลม รักษาหวัด ขับเหงื่อ เป็นยาถ่าย พบว่าใบมะขามมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยในใบมะขามพบว่ามีกรดทาร์ทาริก (Tartaric acid) และสารแทนนิน (Tannin) ซึ่งมีฤทธิ์ช่วยต้านสารอนุมูลอิสระ ช่วยต้านการอักเสบในร่างกาย ชะลอความเสื่อมของเซลล์ในร่างกาย และต่อต้านโรคมะเร็ง [4]

ใบชะมวง (*Garcinia cowa*) มีสรรพคุณช่วยลดอาการไอ เสมหะ แก้อาการร้อนใน กระจายน้ำ ในตำรายาสมุนไพรบางตำราได้มีการใช้ใบชะมวงเป็นส่วนผสมของยาขับเลือดเสีย ฟอกเลือด และขับระดู [5] สารสำคัญที่พบในใบชะมวง ได้แก่ สารกลุ่ม Flavonoids ชนิด C-Glycoside เช่น Vitexin, Orientin สารกลุ่ม Steroids เช่น Beta-Sitosterol การศึกษาทางเภสัชวิทยาพบว่าชะมวงมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย หรือเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหาร ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดหลอดเลือดอุดตัน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย และมีฤทธิ์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็ง [6]

ใบส้มป่อย (*Acacia concinna*) มีสรรพคุณช่วยชำระเมือกมันในลำไส้ แก้บิด ฟอกโลหิต องค์กรประกอบทางเคมีที่พบในใบส้มป่อย ได้แก่ แอลคาลอยด์ (Alkaloids), ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids), ซาโปนิน (Saponin), แทนนิน (Tannin) เป็นต้น นอกจากนี้ใบส้มป่อยยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียอีกด้วย [7-8]

เนื่องจากสรรพคุณทางยาดังกล่าวของสารสมุนไพรทั้งสามชนิดที่กล่าวมา งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาฟิล์มบริโภคได้โดยเสริมสารสกัดจากใบมะขาม ใบชะมวง และใบส้มป่อยลงไปเพื่อเพิ่มฤทธิ์ทางชีวภาพ ต้านอนุมูลอิสระและช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของฟิล์ม

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเตรียมสารสกัดจากสมุนไพร

นำพืชสมุนไพรอันได้แก่ ใบมะขาม ใบชะมวง และใบส้มป่อย มาล้างทำความสะอาด เด็ดเอาเฉพาะส่วนใบแล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสจนกระทั่งแห้งสนิท ทำการบดพืชสมุนไพรแต่ละชนิดให้ละเอียด จากนั้นชั่งพืชสมุนไพรที่ได้ทั้ง 3 ชนิดอย่างละ 15 กรัม เติมน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตรลงไปปั่นในบีกเกอร์ที่บรรจุพืชสมุนไพรแต่ละชนิด ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้สารสกัดเย็นลง จากนั้นทำการกรองสารสกัดโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บสารสกัดที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อทำการทดลองในขั้นต่อไป

2.2 การเตรียมฟิล์มบริโภคได้เสริมด้วยสารสกัดสมุนไพร

วิธีการเตรียมฟิล์มประยุกต์มาจากวิธีของ Triana และคณะ [9] โดยทำการผสมแป้งถั่วเขียว 2.5 กรัม กับสารสกัดจากพืชสมุนไพร 25 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเติมกลีเซอรอล 3 กรัมลงไปผสมให้เข้ากันแล้วนำไปกวนในอ่างน้ำร้อน (Water bath) ที่อุณหภูมิ 78 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 นาทีจนกระทั่งเกิดเจล เทเจลที่ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตรลงบนเพลทแก้ว พักทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแกะแผ่นฟิล์มที่แห้งแล้วออก นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปเก็บรักษาในตู้ดูดความชื้นก่อนจะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

2.3 การเตรียมสารสกัดจากฟิล์มบริโกลด์

นำฟิล์มบริโกลด์ 500 มิลลิกรัม ผสมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร กวนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เก็บสารสกัดที่ได้จากฟิล์มไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อทำการทดลองในขั้นต่อไป

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

หาปริมาณฟีนอลิกรวมโดยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric ตามวิธีการของ Liang และ Wang [10] ใช้กรดแกลลิก (Gallic acid) เป็นสารมาตรฐาน นำสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (ความเข้มข้น 25-100 µg/ml) สารสกัดจากสมุนไพรร หรือ สารสกัดจากฟิล์มบริโกลด์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลายน้ำยา Folin-Ciocalteu reagent ความเข้มข้น 10% (v/v) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและบ่มไว้ในที่มืด 30 นาที หลังจากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃) ความเข้มข้น 10 % (w/v) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer คำนวณปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักสาร 1 กรัมสารสกัด (mg GAE/g extract) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

2.5 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด

ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging โดยดัดแปลงตามวิธีของ Parveen และคณะ [11] ใช้วิตามินซี (L-Ascorbic acid) เป็นสารมาตรฐานนำสารละลายมาตรฐานวิตามินซี (ความเข้มข้น 10-50 µg/ml) สารสกัดจากสมุนไพรร หรือสารสกัดจากฟิล์มบริโกลด์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและบ่มไว้ในที่มืด 40 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ คำนวณค่าหาร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระ (% Radical scavenging activity) ดังสมการ

$$\% \text{ Radical scavenging activity} = [(AC-AS)/AC] \times 100$$

AC คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่มีสารทดสอบ

AS คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่มีสารทดสอบ

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 สารสกัดจากสมุนไพรร

ลักษณะปรากฏของสารสกัดจากใบมะขาม ใบส้มป่อย และใบชะมวง หลังจากทำการสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สารสกัดที่ได้จากใบมะขามที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลอ่อน สารสกัดที่ได้จากใบส้มป่อยมีลักษณะเป็นของเหลวสีส้มอ่อน และสารสกัดที่ได้จากใบชะมวงมีลักษณะเป็นของเหลวสีแดงอ่อน แสดงดัง Figure 1

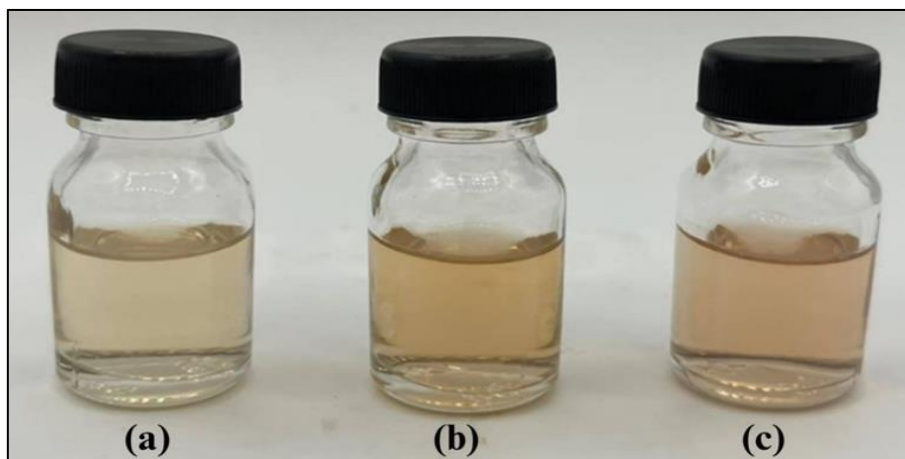


Figure 1 Herbs extract from (a) *Tamarindus indica* (b) *Acacia concinna* and (c) *Garcinia cowa* using water as a solvent at 100°C for 1 h.

3.2 फिल्मบริโศคได้เสริมด้วยสารสกัดสมุนไพร

ฟิล์มบริโศคที่ได้ผลิตจากโปรตีนถั่วเขียวเสริมด้วยสารสกัดสมุนไพรมีลักษณะปรากฏดัง Figure 2 พบว่า ลักษณะของฟิล์มบริโศคได้จากสารสกัดทั้ง 3 ชนิด มีความมันวาว ฟิล์มมีความแข็งแรง ยืดหยุ่นและมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างเหนียว โดยฟิล์มจากสารสกัดใบมะขามจะมีสีน้ำตาลอ่อน ฟิล์มจากสารสกัดใบชะมวงจะมีสีแดงอ่อน และฟิล์มจากสารสกัดใบส้มป่อยจะมีสีส้มอ่อน

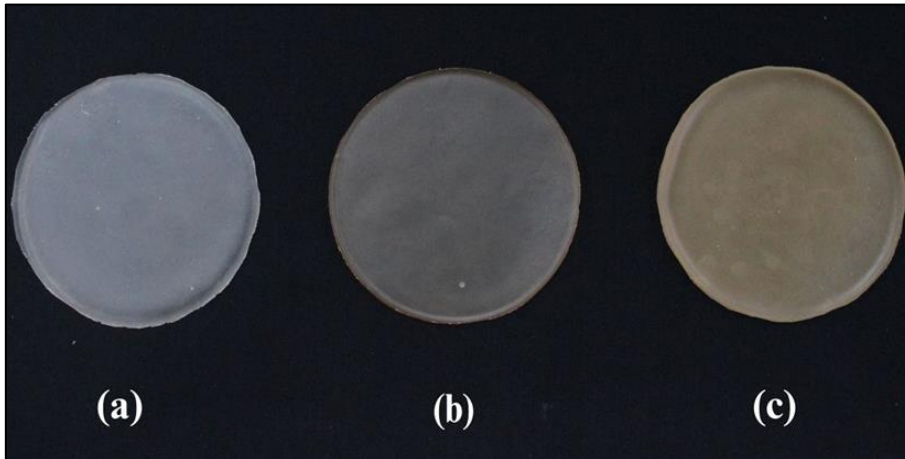


Figure 2 Edible films obtained from mung bean starch supplemented with extracts from (a) *Tamarindus indica*, (b) *Garcinia cowa* and (c) *Acacia concinna*.

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

3.3.1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

วิธี Folin-Ciocalteu เป็นวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมโดยเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการเจือจางสารละลายกรดแกลลิกให้มีความเข้มข้น 0, 25, 50, 75 และ 100 $\mu\text{g/ml}$ แล้วมาสร้างกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของกรดแกลลิก (แกน X) กับค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร (แกน Y) ได้ค่าสมการเส้นตรง $y=0.0067x+0.0056$ และค่า $R = 1$ ดังแสดงใน Figure 3 นำค่าสมการจากกราฟมาตรฐานที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดตัวอย่างต่อไป

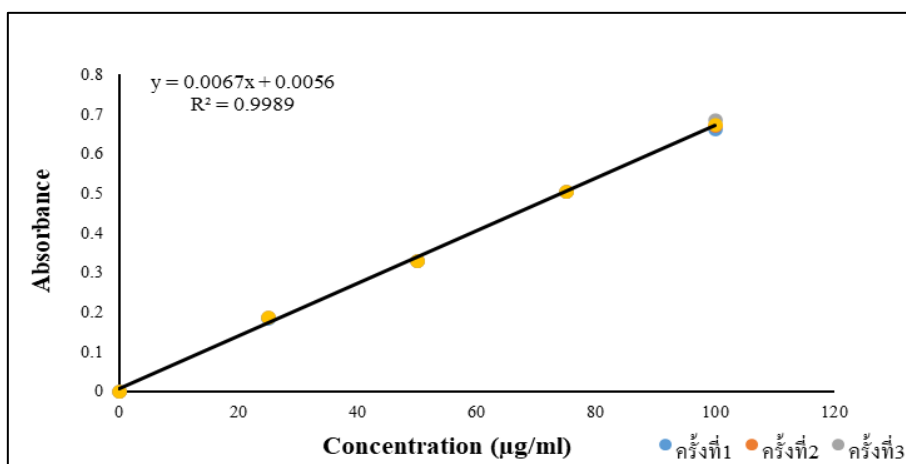


Figure 3 Standard curve obtained between 25 and 100 $\mu\text{g/mL}$ of gallic acid ($\lambda_{\text{max}} = 765 \text{ nm}$).

3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากใบมะขาม ใบชะมวง และใบส้มป่อย เทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (Figure 3) พบว่าสารสกัดจากใบส้มป่อยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุดเท่ากับ 31.29 ± 0.16 mg GAE/g extract รองลงมาคือสารสกัดจากใบชะมวงและสารสกัดจากใบมะขามโดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเท่ากับ 14.09 ± 0.15 และ 8.01 ± 0.03 mg GAE/g extract ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 4

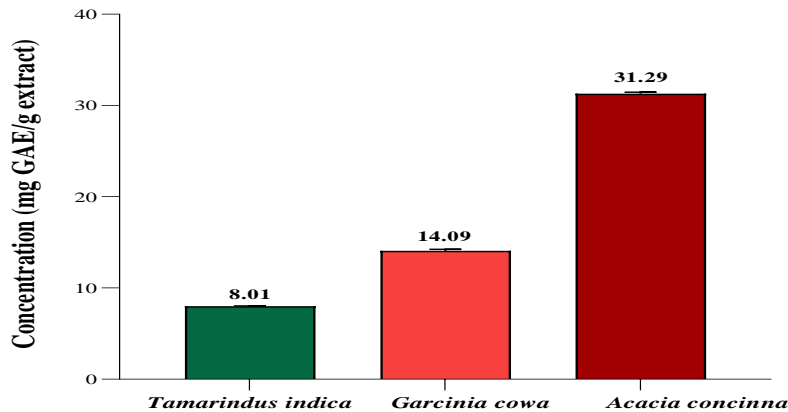


Figure 4 Total phenolic content of herbs extracts.

3.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของฟิล์มบริโกลด์

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากฟิล์มบริโกลด์ได้จากใบมะขาม ใบชะมวง และใบส้มป่อย เทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก โดยนำสารสกัดจากฟิล์มตัวอย่างที่ได้หลังจากกวนทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง มาทำการทดสอบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก พบว่า ฟิล์มบริโกลด์ที่เตรียมจากสารสกัดใบส้มป่อยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเท่ากับ 11.59 ± 1.74 mg GAE/g film รองลงมาคือฟิล์มบริโกลด์ที่เตรียมจากสารสกัดใบมะขาม และใบชะมวง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเท่ากับ 4.32 ± 0.22 mg GAE/g film และ 3.43 ± 0.24 mg GAE/g film ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 5 แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกรวมจากสารสกัดสมุนไพรที่เติมลงไปในฟิล์มบริโกลด์ไม่เสื่อมสภาพในกระบวนการเตรียมฟิล์ม

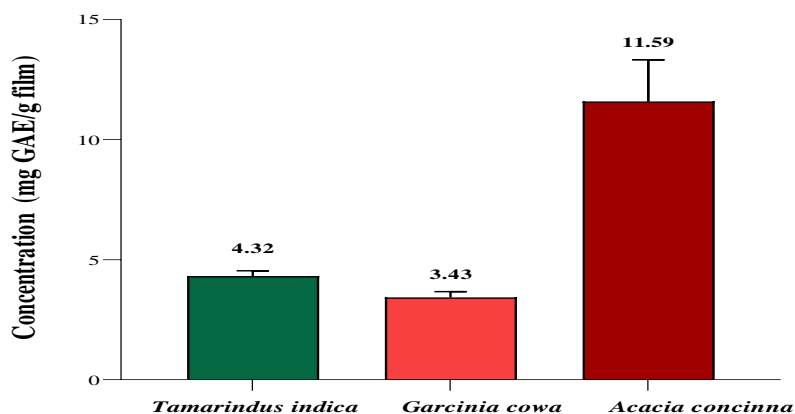


Figure 5 Total phenolic content of edible films supplemented with herbs extracts.

3.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging

3.4.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของกรดแอสคอร์บิก

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของกรดแอสคอร์บิกด้วยวิธี DPPH radical scavenging นำมาทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลาย DPPH โดยเตรียมกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 µg/ml จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำมาคำนวณหาค่าร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระ (% Radical scavenging activity) ได้ค่าดังแสดงใน Figure 6

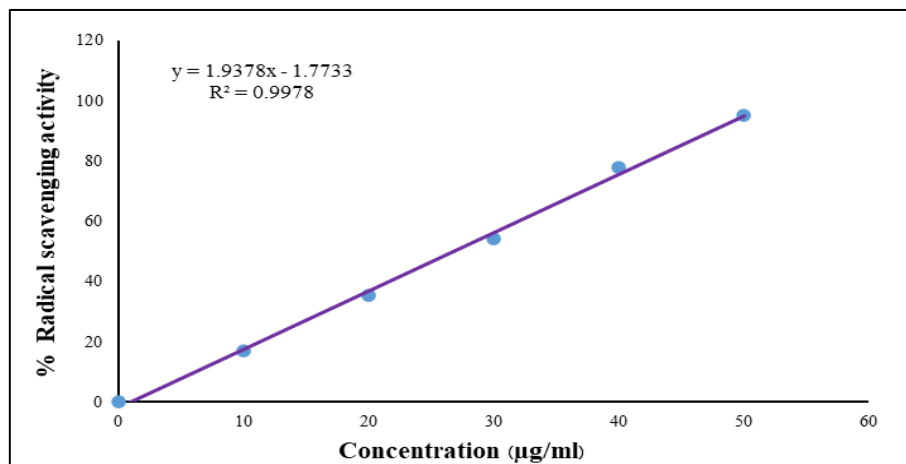


Figure 6 DPPH radical scavenging activity of ascorbic acid standard (10–50 µg/mL) and the absorbance measured at 517 nm.

3.4.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสมุนไพร

คำนวณค่าห่าร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระ (% Radical scavenging activity) ของสารสกัดสมุนไพรที่ความเข้มข้น 5 mg/ml ด้วยวิธี DPPH radical scavenging พบว่าสารสกัดจากใบส้มป่อยมีความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด โดยมีร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 92.97 ± 5.74 รองลงมาคือสารสกัดจากใบมะขาม และสารสกัดจากใบชะมวงโดยมีร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 59.11 ± 2.54 และ 58.71 ± 4.62 ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 7 พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของใบส้มป่อยสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกรวมที่วัดได้ ในขณะที่สารสกัดจากใบมะขามแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่ากับสารสกัดใบชะมวงในขณะที่ปริมาณฟีนอลิกรวมที่วัดได้มีค่าน้อยกว่า โดยสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่พบในพืชสมุนไพรที่พบในธรรมชาติอาจเป็นสารในกลุ่มอื่น เช่น แอสตาแซนทิน วิตามินเอ วิตามินซี เบต้าแคโรทีน [12] จึงคาดว่าสารที่ออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากใบมะขามอาจเป็นสารกลุ่มอื่นที่ไม่ใช่สารกลุ่มฟีนอลิก

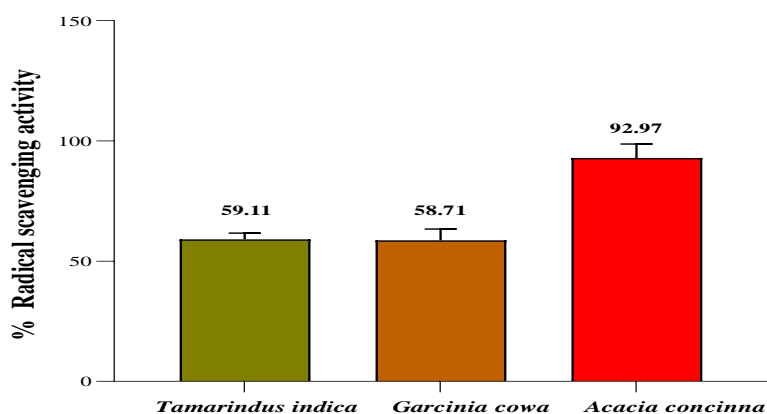


Figure 7 DPPH radical scavenging activity of herbs extracts.

3.4.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มบรีโกลด์

คำนวณร้อยละฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (% Radical scavenging activity) ของสารสกัดจากฟิล์มบรีโกลด์จากใบมะขาม ใบชะมวง และใบส้มป่อย โดยนำสารสกัดจากฟิล์มตัวอย่างความเข้มข้น 5 mg/ml มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH radical scavenging พบว่าฟิล์มบรีโกลด์ที่เตรียมจากสารสกัดใบชะมวงมีร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดเท่ากับ 79.87 ± 0.40 รองลงมาคือฟิล์มบรีโกลด์ที่เตรียมจากสารสกัดจากใบมะขาม และสารสกัดจากใบส้มป่อย ซึ่งมีร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 71.85 ± 0.04 และ 64.76 ± 0.42 ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 8 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มบรีโกลด์ที่เตรียมจากสารสกัดสมุนไพรทั้ง 3 ชนิดยังคงมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ แต่ทั้งนี้ในการสกัดสารจากฟิล์มด้วยน้ำ อาจมีสารออกฤทธิ์บางตัวที่เกิดการสร้างพันธะกับสารที่เป็นองค์ประกอบของฟิล์ม หรือไม่ละลายน้ำ ทำให้การสกัดด้วยน้ำไม่สามารถสกัดสารเหล่านั้นออกมาได้ทั้งหมด และยังคงเหลืออยู่ในฟิล์ม จึงส่งผลให้การวัดค่าต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มที่เตรียมจากสารสกัดใบส้มป่อยมีค่าน้อยที่สุด ในขณะที่ตัวของสารสกัดแสดงค่าในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการเหมาะสมในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องต่อไป

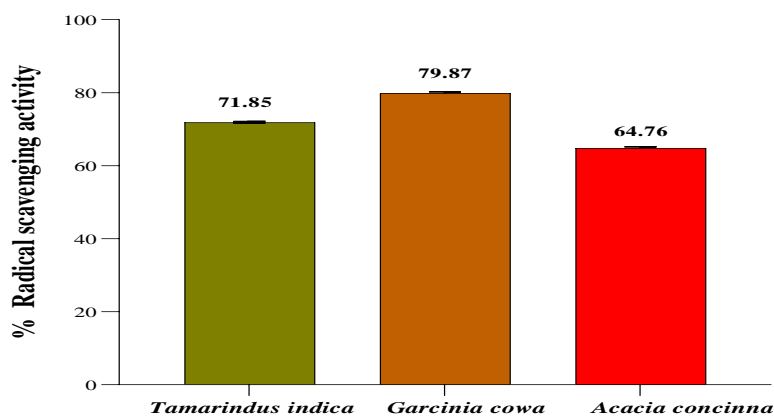


Figure 8 DPPH radical scavenging activity of edible films supplemented with herbs extracts.

4. สรุป

การพัฒนาฟิล์มบรีโกลด์โดยใช้สารสกัดสมุนไพรไทยในครั้งนี้ ได้เลือกสมุนไพร 3 ชนิด ได้แก่ ใบมะขาม ใบชะมวง และใบส้มป่อย ที่มีรายงานว่า มีสรรพคุณทางยา มาทำการเติมลงในฟิล์มบรีโกลด์ โดยได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสมุนไพรทั้ง 3 ชนิดก่อนที่จะทำการเติมลงในฟิล์ม พบว่าใบส้มป่อยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด รองลงมาคือใบชะมวง และใบมะขาม และในการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระพบว่าใบส้มป่อยยังคงแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด รองลงมาคือใบมะขามและใบชะมวงที่แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ใกล้เคียงกัน จากนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มบรีโกลด์ที่เสริมด้วยสารสกัดสมุนไพร พบว่าฟิล์มบรีโกลด์ที่เตรียมจากสารสกัดสมุนไพรทั้ง 3 ชนิดนี้ ยังคงมีสารประกอบฟีนอลิกรวมและแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องน่าสนใจที่จะนำใบมะขาม ใบชะมวงและใบส้มป่อยมาพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ถนอมอาหารอย่างฟิล์มบรีโกลด์ โดยคณะผู้วิจัยสนใจที่จะทำการศึกษาต่อไปเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางชีวภาพ และระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ภายหลังจากห่อหุ้มด้วยแผ่นฟิล์มบรีโกลด์ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าสมุนไพรไทยและประโยชน์ทางด้านสุขภาพต่อผู้บริโภค เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในระดับการค้าต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินการได้ด้วยการสนับสนุนจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุตสาหกรรม สำหรับสถานที่ห้องปฏิบัติการเคมี อุปกรณ์ และเครื่อง Spectrophotometer ตลอดงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2535. พิธีกรรมและสารเคลือบที่รับประทานได้. วารสารอาหาร. 1. 1-6.
- [2] Yi-shen, Z., Shui, S. and FitzGerld, R. 2018. Mung bean proteins and peptides nutritional, functional and bioactive properties. food & nutrition. 62: 1290.
- [3] Du, M., Xie, J., Gong, B., Xu, X., Tang, W., Li, X., Li, C. and Xie, M. 2018. Extraction, physicochemical characteristics and functional properties of Mung bean protein. Food Hydrocolloids. 76: 131-140.
- [4] โชติอนันต์ และคณะ. 2551. สมุนไพรไทย สำหรับงานสาธารณสุขมูลฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. ดวงกลมพับลิชชิ่ง, กรุงเทพมหานคร.
- [5] ก่องกานดา ชยามฤต และสิริมา ผู้พัฒนาพงศ์. 2545. สมุนไพรไทย ตอนที่ 7. พิมพ์ครั้งที่ 1. ประชาชนจำกัด, กรุงเทพมหานคร.
- [6] วชิราภรณ์ ทัพพา. 2020. สมุนไพรไทยชะมวง. สมุนไพรไทย-ภูมิปัญญาไทย มหาวิทยาลัยนเรศวร. เข้าถึงได้จาก: เว็บไซต์ student.nu.ac.th/46313433/Thaiherb.com. (เข้าถึงเมื่อ 2 พฤษภาคม 2566).
- [7] นิจศิริ เรืองรังสี และธวัชชัย มังคละคุปต์. 2547. สมุนไพรไทย สัมปออย. พิมพ์ครั้งที่ 1. บ.ฐานการพิมพ์, กรุงเทพมหานคร
- [8] Anjaneyulu, A.S.R., Ramachandra Row, L. and Sree, A. 1979. Acacidol, a new nor-triterpene from the sapogenins of Acacia concinna. Phytochemistry. 7: 1199-1201.
- [9] Triana, L. Simon, B. W. and Yunianta. 2015. Edible Film from Jack Bean Flour for Use as an Antioxidative Packaging Incorporating Extract of Green Tea. Advanced Science Engineering and Information Technology. 4: 2088-5334.
- [10] Liang, S. and Wang, L. 2018. A Natural antibacterial-antioxidant film from soy protein isolate incorporated with cortex phellodendron extract. Polymers. 1: 71
- [11] Parveen, S., Chaudhury, P., Dasmahapatra, U. and Dasgupta, S. 2019. Biodegradable protein films from gallic acid and the cataractous eye protein isolate. Biological Macromolecules. 143: 12-20.
- [12] Bashir, S., and Shah, B. A. 2021. Antioxidants and their role in our health and disease. Current Research. 4: 17155-17158.

KMITL วิทยาเขตชุมพร
FIGHT  **TOGETHER**

จัดโดย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร