



PROCEEDING

ประชุมวิชาการวิจัย | ครั้งที่ 9
และนวัตกรรมสร้างสรรค์ | ประจำปี 2566

The 9th Conference on Research
and Creative Innovations 2023



(9th Conference on Research and
Creative Innovations: CRCI 2023)

“...สู่วิจัยรับใช้สังคม การขับเคลื่อนเศรษฐกิจและ
สังคมด้วยนวัตกรรมเพื่อการใช้ประโยชน์
ในการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน”

1

สาขาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

วันที่ 25 - 26 กรกฎาคม 2566

ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติ โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่

ชื่อหนังสือ

รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 9 ประจำปี 2566
The 9th Conference on Research and Creative Innovations (CRCI 2023)

เล่ม 1

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของลิขสิทธิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพพร พันธ์ประภคิต
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

จำนวนหน้า

550 หน้า

เผยแพร่

15 กันยายน 2566

จัดทำโดย

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
98 หมู่ 8 ตำบลป่าป้อง อำเภอคอตยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ 50220

ดำเนินงานโดย



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ร่วมกับ



สมาคมส่งเสริมนวัตกรรม
และการประดิษฐ์ไทย



มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



มหาวิทยาลัยแม่โจ้



มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย
วิทยาเขตเชียงใหม่



มหาวิทยาลัยพาร์อีสเทอร์น



มหาวิทยาลัยพายัพ



มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่



มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง



มหาวิทยาลัยพิษณุโลก



มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่



CONFERENCE ON RESEARCH
& CREATIVE INNOVATIONS
การประชุมวิชาการ
วิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์



กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ พิจารณาทบทวน และผลงานสิ่งประดิษฐ์นวัตกรรมผลงานสร้างสรรค์

การประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 9 ประจำปี 2566 Circi 2023

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

รศ.ดร.อัญชลี สงวนพงษ์

รศ.ดร.สุชาดา บุญเลิศนรินทร์

รศ.ดร.ภาณุ พรหมพุทธางกูร

รศ.ดร.พรศิลป์ สีเผือก

รศ.ดร.เดช เหมือนขาว

ผศ.ดร.พีระเดช สุวิทยารักษ์

ผศ.ดร.คมเดือน โพธิสุวรรณ

ผศ.ดร.ไกรฤกษ์ เขยชื่น

ผศ.ดร.กัณฑ์พงษ์ ศรีสถิตย์

ศุภลักษณ์ สลธิชวิน

รศ.ดร.วัสสนัย วรธนันธรिया

รศ.จิราพร กุลสาริน

รศ.ดร.ธีระ ชีโวรินทร์

ผศ.ดร.จุฑาทิพย์ เฉลิมผล

ผศ.ดร.พิชญลักษณ์ พิชญกุล

ผศ.สายฝน บุญฉัตรกุล

ผศ.ดร.น้ำผึ้ง อินทะเนตร

ผศ.ดร.จุฬาลักษณ์ เขมาชีวะกุล

ผศ.ดร.สุคันธา โอศิริพันธ์ุ

สมาคมส่งเสริมนวัตกรรมและการประดิษฐ์ไทย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ผศ.ดร.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผศ.ดร.จุฬามาส คุ่มชัย	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.อลิษา ตรีโรจนานนท์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ดร.กรรณิกานต์ ค้วงเจริญ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ดร.กฤตวยาน์ ทองคู่	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ดร.นิตยา บุญทิม	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร.อภินันท์ สุวรรณรักษ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รศ.ดร.วิรันธชา เครือฟู	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ดร.วินัย วิริยะอลงกรณ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ดร.วิยะดา ชัยเวช	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ดร.พัชรินทร์ สุภาพันธ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.นภัสส์ จันทร์มี	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.สถาพร แสงสุโพธิ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ดร.นिसรา กิจเจริญ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ดร.ดร.กาญจนา นาคประสม	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.แทนวุธธา ไทยสันทัด	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ไพโรจน์ วงศ์พุทธิสิน	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ปวีณา ฉัตรสูงเนิน	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ภัทริกา มณีพันธ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ว่าที่ร้อยเอก ดร.จิระชัย ยมเกิด	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.ปานแพรว เซาวาน์ประยูร อุดมรักษาทรัพย์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.สุชาดา สายทิ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.สมคิด แก้วทิพย์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รศ.ดร.วิไลพร ลักษณะมีวานิชย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
รศ.ดร. สัญญา สะสอง	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
รศ.สมเกตต์ อุทธโยธา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
รศ.ศศิพินต์ สุขบุญพันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผศ.ดร. ศุภฤกษ์ ธาราพิทักษ์วงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผศ.ดร.ชุตินันต์ สะสอง	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผศ.ดร.นันทน์หทัย ต้นสุหัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผศ.ดร.ณัฐฤทัย อรุณศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผศ.ดร.กิตติศักดิ์ โชติกเดชาณรงค์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผศ.ดร.ธัญญา ทะพิงค์แก	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผศ.ดร.ชนินทร์ มัทธนชัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผศ.ดร.พรสวรรค์ อาสาสรรพกิจ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ผศ.ดร.เสริมศักดิ์ พงษ์เมฆา
ผศ.ว่าที่ร้อยตรี ดร.สุวัฒน์วงศ์ พันเพ็ชร
ผศ.มานพ ชุ่มอุ่น
ผศ.นักสิทธิ์ ปัญโญใหญ่
ผศ.สายฝน แสนใจพรม
ผศ.จิตติคุณ นียมสิริ
ผศ.เจษฎาพล กิตติพัฒน์วิทย์
ดร.วิภาวี ศรีคะ
ดร.อุเบศ พวงแก้ว
ดร.ภัทธนารวรรณ ฉันทร์ตันโยธิน
รศ.ศิริกร อื่นคำ
ผศ.ดร.วีระพันธ์ อนันชัยธวัช
ผศ.ดร.พงศ์กร จันทราช
ผศ.ดร.ณัฐติญา บุญวิรัตน์
ผศ.จันทร์จิตร เจริญสิริ
ผศ.เสีบบงษ์ พงษ์สวัสดิ์
ดร.พรนิภา จันทร์น้อย
รศ.ดร.วรวิทย์ นิเทศศิลป์
ผศ.ดร.ปราโมทย์ สิทธิจักร
ผศ.ดร.บัญชา คังตระกูล
ผศ.ผศ.สุชาดา เมฆพัฒน์
ดร.สุรัชย์ สานตสุขรัตน์
ดร.วารุณี โพธาสินธุ์
ผศ.ดร.เทียน เลรามัญ
ผศ.ดร.ทุติยาภรณ์ จิตตะปาโล
ผศ.ดร.เพชรรัช ประระไทย
ผศ.ปาริชาติ คงสนั่นทน

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น
มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น
มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น
มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น
มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น
มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยพิษณุโลก
มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
มหาวิทยาลัยพายัพ
มหาวิทยาลัยพายัพ
มหาวิทยาลัยพายัพ
มหาวิทยาลัยพายัพ

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

รศ.ดร.เกชา คูหา
รศ.ดร.ตระกูลพันธ์ พัทธเมธา
รศ.ดร.กัญฐณา ดิษฐ์แก้ว
รศ.นเรศ อินตะวงศ์
รศ.ดร.พิชาภพ พันธุ์แพ
รศ.ชิตี ศรีตันทิพย์
รศ.มาลี ตั้งระเปียบ
รศ.ธัญญรัตน์ จิตรพิระ
รศ.ลิปิกร มาแก้ว
รศ.วันเพ็ญ จิตรเจริญ
รศ.วณิช หลิมวานิช
รศ.ดร.ไพบูลย์ หล้าสมศรี
ผศ.ดร.วรจักร เมืองใจ
ผศ.ดร.นพพร พัทธประภิต
ผศ.ดร.ภาคภูมิ จารุภูมิ
ผศ.ดร.ชินานาฏ วิทยาประภากร
ผศ.ดร.วรรณพร ทีแกง
ผศ.ดร.แมน ต้อยแพร์
ผศ.ดร.จิรพัฒน์พงษ์ เสนาบุตร
ผศ.ดร.อรไท ครุฑเวโช
ผศ.ดร.พลกฤษณ์ ทุนคำ
ผศ.ดร.ฐิติพร พันธุ์ท่าช้าง
ผศ.ดร.ชัชฎาพร ปุกแก้ว
ผศ.ดร.ชัยวัฒน์ กิตติเดชา
ผศ.ดร.พายัพ เกตุขันธ์
ผศ.ดร.ภาณุพงศ์ จงขานสิทธิโส
ผศ.ดร.สุภกช โตไพบูลย์
ผศ.ดร.ธีระศักดิ์ สมศักดิ์
ผศ.ดร.ว่าที่ร้อยตรีทรวงศักดิ์ สัสดีแพง
ผศ.ประชา ยืนยงกุล
ผศ.เนริฐุชรา เกตุมี
ผศ.ชไมพร รัตนเจริญชัย

ผศ.หฤทัย อาษากิจ
ผศ.ณัฐชัย เทียงบูรณธรรม
ผศ.ทวีชัย กาฬสินธุ์
ผศ.วิษณุ ช้างเนียม
ผศ.วิสูตร อาสนวิจิตร
ผศ.สันติ ช่างเจอร์จา
ผศ.ภัทรา วงษ์พันธ์กลม
ผศ.รุ่งนภา ช่างเจอร์จา
ผศ.วิไลพร จันทร์ไชย
ผศ.อภิชาติ ชิดบุรี
ผศ.อมรชัย ล้อทองคำ
ผศ.อรรณพ ทัดนอุดม
ผศ.ว่าที่ร้อยโทณัฐรัตน์ ปาณานนท์
ดร.ลัดดา ปินตา
ดร.พีรยา สมศักดิ์
ดร.ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกูล
ดร.นวรรตน์ พรหมอุปลัมภ์
ดร.ถาวร อินทโร
ดร.ลมัย ผัสดี
ดร.ศิริวิมล ณ เชียงใหม่
ดร.ศกุนตลา สายใจ
ดร.จุราพรรณ พิมูลชาติ
ดร.ธนวรรณ วัชรดำรงศักดิ์
ดร.สุรพล ใจวงศ์ษา
ดร.ปวีญา รักน้อม
ดร.ปิยะวัฒน์ วุฒิชัยกิจเจริญ
ดร.พีรธรรม เตชะพะโลกุล
ดร.รุ่งกานต์ สีสากลาวุฒิ
ดร.ประเสริฐ ลือโขง

คำนำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เป็นเจ้าภาพหลักการจัดประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 9 ประจำปี 2566 (CRCI 2023) และการประกวดสิ่งประดิษฐ์นวัตกรรมผลงานสร้างสรรค์ ประจำปี 2566 ภายใต้หัวข้อ “...สู่วิจัยรับใช้สังคม การขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมด้วยนวัตกรรม เพื่อการใช้ประโยชน์ในการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน” เมื่อวันที่ 25-26 กรกฎาคม 2566 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติ โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อสร้างผลงานวิจัย นวัตกรรม และบริการ วิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ในระดับชาติ และนานาชาติ และเพื่อเป็นการส่งเสริม สนับสนุน สร้างโอกาส ให้บุคลากร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้แสดงศักยภาพของตนเองในการเข้าร่วมนำเสนอ ผลงานเผยแพร่ผลงานวิจัยของอาจารย์และนักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตลอดจนมี การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ พัฒนา สร้างเครือข่ายด้านวิชาการ ในระดับชาติและยกระดับผลงานวิจัยสู่ระดับสากลสอดคล้องกับนโยบายสนับสนุนยกระดับผลงานวิจัยสู่ระดับสากล สร้างเครือข่ายความร่วมมือทาง วิชาการ บูรณาการงานวิจัยร่วมกันทั้งระดับ สาขา คณะ และมหาวิทยาลัย ในระดับชาติ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมเสียสละ ทั้งร่างกาย และแรงใจ และเวลาอันมีค่า เพื่อผลักดันให้เกิดการประชุมวิชาการในครั้งนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าพลังความร่วมมืออย่างต่อเนื่อง ในการสนับสนุนและส่งเสริมการจัดประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรม จะพัฒนาและเติบโตต่อเนื่องไปทุกปี จนกว่าจะก้าวสู่การเป็นมหาวิทยาลัยชั้นนำของประเทศ

ในการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 9 ประจำปี 2566 และการประกวดสิ่งประดิษฐ์นวัตกรรมผลงานสร้างสรรค์ ประจำปี 2566 มีผลงานที่เข้าร่วมนำเสนอมาจากนักวิจัย นักวิชาการ หลากหลายสาขา จำนวนทั้งหมด 109 บทความ โดยเผยแพร่ในเล่มรายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการ 98 บทความ และเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับชาติ 11 บทความ และเผยแพร่ผลงานการประกวดในเล่มวารสารวิจัยสิ่งประดิษฐ์นวัตกรรมผลงานสร้างสรรค์ ประจำปี 2566 24 ผลงาน

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 9 ประจำปี 2566 (CRCI 2023 Proceeding) เล่ม 1 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 44 บทความ จากกลุ่มสาขาวิศวกรรม พลังงาน และเทคโนโลยี 26 บทความ สาขาวิทยาศาสตร์ กายภาพ สุขภาพ และชีวภาพ 7 บทความ และสาขาเทคโนโลยีเกษตร และอาหาร 9 บทความ ซึ่งหวังเป็นอย่างยิ่ง ว่ารายงานเล่มนี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจ เพื่อการนำไปแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิชาการในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

15 กันยายน 2566

สารบัญ : Proceeding CRCI 2023
เล่ม 1 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(01-ENG) งานวิจัย ด้าน วิศวกรรม พลังงาน และเทคโนโลยี

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	เจ้าของบทความ	สถาบัน/หน่วยงาน	หน้า
ENG- 001	การคัดกรองข้อมูลรบกวนแบบจำลองภูมิประเทศ 3 มิติ จากระบบ MMS ด้วยเทคนิค ELM-SOR	สุรัชย์ จันทิ* และ ณัฐกิตติ์ เสงี่ยม	สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)	1-14
ENG- 002	การประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตอย่างรวดเร็ว สำหรับสกรูเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก	สันติภาพ โคตทะเล* และ อุดม เครือเทพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา ตาก	15-26
ENG- 003	การประยุกต์ใช้ ChatGPT ปัญญาประดิษฐ์เปลี่ยนโลกการเรียนรู้ อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับห้องเรียนในศตวรรษที่ 21	สุทธิศักดิ์ สุขัมศรี*	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา ตาก	27-29
ENG- 004	การปรับปรุงขั้นตอนระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาหมู่บ้าน ด้วยหลักการ ECRS กรณีศึกษา หมู่บ้านสันป่าสัก หมู่ที่ 2 (กลุ่มที่ 1) ตำบลหนองแฝก อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่	ชติพงษ์ จิโนสุวัตร์* และวิวัฒน์ สิงใส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	30-44

(01-ENG) งานวิจัย ด้าน วิศวกรรม พลังงาน และเทคโนโลยี

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	เจ้าของบทความ	สถาบัน/หน่วยงาน	หน้า
ENG- 005	การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเครื่องประดับ ด้วยเทคนิคการศึกษางาน	ชัยวัฒน์ กิตติเดชา* อภิชาติ ชัยกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	45-56
ENG- 006	การปรับปรุงแผนผังโรงคับรินเจอร์ที่ซัพพอร์ตโครงการหลวงขุนแปะ	จรรยาพรณ พิมูลชาติ* และวรเชษฐ์ หวานเสียง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	57-71
ENG- 007	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอท บนซิลิโคนเวอรีเล็กโทรดภายใต้การรีดักชันแบบไฟฟ้าเคมี	ศิวกร บวรสินธุชล*	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	72-85
ENG- 008	การพัฒนาเครื่องวิเคราะห์ค่าสีเมล็ดกาแฟแบบพกพา ด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว	ธิตินันต์ ตาคำ นราวิชญ์ ความหมั่น* วันเพ็ญ จิตรเจริญ และ วชิระ หล่อประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา ลำปาง	86-102

(01-ENG) งานวิจัย ด้าน วิศวกรรม พลังงาน และเทคโนโลยี

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	เจ้าของบทความ	สถาบัน/หน่วยงาน	หน้า
ENG- 009	การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ	อภิชัย ชื่อสัตย์สกุลชัย* ยพรัตน์ อิมพิทักษ์ และ นมิดา ชื่อสัตย์สกุลชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา ตาก	103-114
ENG- 010	การเพิ่มสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน สำหรับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	อัศวิน ยอดรักษ์* ฉัตรชัย นมมล และ สุรพิชญ์ ทับเที่ยง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ	115-125
ENG- 011	การศึกษากระบวนการผลิตซินแก๊สจากขยะมูลฝอย ด้วยกระบวนการพลาสมาแก๊สซิฟิเคชัน	ศุภกร สว่างไสว* และ อนุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ	126-138
ENG- 012	การศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องบากร่อง สำหรับขึ้นทดสอบแรงกระแทก	พุทสายัน นราพิณิจ* และ สมหมาย สารมาท	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	139-154

(01-ENG) งานวิจัย ด้าน วิศวกรรม พลังงาน และเทคโนโลยี

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	เจ้าของบทความ	สถาบัน/หน่วยงาน	หน้า
ENG- 013	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็ก ที่นำมาใช้ทำแม่พิมพ์เกรด SKD 11 ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบทิก (GTAW)	สราวุธ เขาวการกุล* และ วรเชษฐ์ หวานเสียง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	155-169
ENG- 014	การศึกษาพารามิเตอร์เพื่อคาดการณ์อายุการใช้งานแบตเตอรี่	ณัฐพรณ พงษ์ธรรม* นริส ประทีนทอง และ รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี	170-179
ENG- 015	การออกแบบและพัฒนาเครื่องควมเสียดกาแพด้วยลมร้อน	วีระศักดิ์ ปัญญาธราช* และ กชรวิต หล้าคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	180-189
ENG- 016	การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์	อดิเรก ชัยนวกุล* และ ศุภชัย อัครนรากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	190-204

(01-ENG) งานวิจัย ด้าน วิศวกรรม พลังงาน และเทคโนโลยี

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	เจ้าของบทความ	สถาบัน/หน่วยงาน	หน้า
ENG- 017	การออกแบบอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริดสำหรับระบบจำหน่าย	ศุภวัฒน์ คำทิพย์ ประสงค์ วงศ์ชัยบุตร จิรพันธ์ ทาแกง และวินไชย คำเสน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา ลำปาง	205-216
ENG- 018	ความต้านทานการหมองของโลหะเงินที่เสริม ด้วยวัสดุคาร์บอนต่อเกลือเทียมและไฮโดรเจนซัลไฟด์	กุลธิดา จันทะบาล*	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	217-231
ENG- 019	ห้องฟ้าจำลองด้วยแผนที่เสียงของสื่อเรียนรู้ผ่านการคล้ำสัมผัส สำหรับนักเรียนผู้บกพร่องทางการเห็นระดับประถมศึกษา	ยุพดี หัตถสิน* และ ศิวศิษฏ์ กุลศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	232-246
ENG- 020	แบบจำลองความจริงเสริม (AR) สำหรับการก่อสร้างงานวางท่อระบบ ประปาใต้ดิน โดยประเมินผลจากการเลือกใช้แบบจำลอง FUZZY AHP	นนชกร นุชประมุข ฉนิศา รุ่งแจ้ง และ พงษ์ศักดิ์ สุริยวนากุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	247-266

(01-ENG) งานวิจัย ด้าน วิศวกรรม พลังงาน และเทคโนโลยี

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	เจ้าของบทความ	สถาบัน/หน่วยงาน	หน้า
ENG- 021	ผลกระทบของเก้าแกลบดและเปลือกไข่ไก่เผาตต่อคุณสมบัติของคอนกรีตพูนที่มีมวลรวมจากเศษพลาสติก	ลลิตา รักษาศิลป์* และ จักรพันธ์ เทือกดี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	267-287
ENG- 022	หุ่นยนต์เด็กวัดควบคุมด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ	กิริติช สายพัทลุง* ศราวดี พุทธิรักษา ภาสุระ อังกุลานนท์ และ ชัชพล เกษวิริยะกิจ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	288-298
ENG- 023	อัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่นแบบหลายวิถีกับกลไกยกเลิกการค้นหา	จักรกฤษณ์ เคลือบวัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา ตาก	299-307
ENG- 024	อิทธิพลของสัดส่วนและการปรับปรุงพื้นผิวสารตัวเติมชีวภาพเส้นใยกล้วย/เปลือกไข่ต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง	วัชรินทร์ สิทธิเจริญ* และ ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	308-319

(01-ENG) งานวิจัย ด้าน วิศวกรรม พลังงาน และเทคโนโลยี

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	เจ้าของบทความ	สถาบัน/หน่วยงาน	หน้า
ENG- 025	อิทธิพลสารหล่อลื่นในกระบวนการรีดผนังบางแบบรวมขั้นตอน	เชษฐ อุทธิยัง* และ ชีรวัฒน์ แสงภาค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	320-334
ENG- 026	แอปพลิเคชันการให้บริการทางการเกษตรบนอุปกรณ์เคลื่อนที่	สุวรรณี ปัญยศ* ประภาส สุวรรณ พิเชษฐ กันทะวัง ปกรณ์ เสรีพันธวงศ์ สินธพ สิ้นสูงษ์ และ ประวิทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา เชียงราย	335-348

(02-SCI) งานวิจัย ด้าน วิทยาศาสตร์ กายภาพ สุขภาพ และชีวภาพ

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	เจ้าของบทความ	สถาบัน/หน่วยงาน	หน้า
SCI- 001	การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เชิงกล และเชิงแสงของกระดาษใช้ซ้ำ โดยการเคลือบ ด้วยสารผสมจากถ่านชีวภาพ สำหรับผลิตภัณฑ์ห่อมะม่วงก่อนเก็บเกี่ยว	สุจิตตรา อินทอง* วาทีน ทองวิค รัตชดา ศรีวิจิ ปรารธนา อินตะวิน รดบงกช แสนจุ่ม และ ฉัตรชัย เครืออินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา พิษณุโลก	349-362
SCI- 002	การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพดด้วยเตาเผาไพโรไลซิส	สุริยงค์ ประชาเขียว* สมอ บุญพันธ์ สรายุธ บุญช่วย และ ณฐมน ทรัพย์บุญโต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา เชียงราย	363-373
SCI- 003	นิเวศวิทยาและความหลากหลายชนิดของเห็ดป่าในพื้นที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม	วัชรีย์ หาญเมืองใจ* อ้อมหทัย ดีแท้ และ อุษณีย์ ก่อแจ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่	374-385
SCI- 004	ประสิทธิภาพของโคโตซานที่เคลือบบนแผงโซลาร์ต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์	อรรถพล ต้นไสว* นันทยา เก่งเขตรกิจ จุฑารัตน์ จินด้วง และ ณัฐฐิรา กำวินจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา พิษณุโลก	386-396

(O2-SCI) งานวิจัย ด้าน วิทยาศาสตร์ กายภาพ สุขภาพ และชีวภาพ

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	เจ้าของบทความ	สถาบัน/หน่วยงาน	หน้า
SCI- 005	ผลของ IAA NAA และสารสกัดจากแคคที่เรียสังเคราะห์แสงสีม่วง กลุ่มไม่สะสมเม็ดกำเนิดในลูกบอลปักชำต่อการชักนำให้เกิดรากของปลายยอดมันม่วงญี่ปุ่น และหน่ว้วที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ	นพพร ทับทอง วาสนา สร้อยสน เพียงพิมพ์ ชิตบุรี ศิริพรรณ สารินทร์ ธนวุฒิ พรหมบุญชัย พิทักษ์ พุทธวรชัย และ อภิชาติ ชิตบุรี*	สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	397-408
SCI- 006	ฟิล์มเคลือบป้องกันเชื้อราจากน้ำยางวัลคาไนซ์ ร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ และนาโนซิลเวอร์	รัฐพล พรประสิทธิ์ จิตรลดา หล้าเตจา ธีรติม วงเวียนไชย และ พิไลวรรณ พรประสิทธิ์*	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	409-422
SCI- 007	ยางฟองน้ำดูดซับเสียงจากน้ำยางธรรมชาติที่ใช้สกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติม	ดร.ดร.ดร.ดร.ดร.ดร. อรุณศรี เอี่ยมรัมย์ และ สมิตร์ เชื้อมชัยตระกูล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	423-433

(03-AGRI) งานวิจัย ด้าน เทคโนโลยีเกษตร และอาหาร

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	เจ้าของบทความ	สถาบัน/หน่วยงาน	หน้า
AGRI- 001	การเปรียบเทียบการเพาะพันธุ์ปลาเลียหินด้วยอัตราส่วนเพศต่างกัน	อมรชัย ล้อทองคำ* เขาวลัยย์ ใจสุข และ เอกชัย คำพุทธ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา น่าน	434-444
AGRI- 002	การพัฒนาเครื่องตีผงโปรตีนจากถั่วเสริมกากงาดำ	วรรณวิมล พุ่มโพธิ์* สุรัสวดี ปลืโพธ เฉลิมเกียรติ หาญอยู่ ญาณิศา จันทร์มี และ พงษ์ผน อรุณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา ตาก	445-458
AGRI- 003	การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลิวิตามินซีสูงและน้ำตาลต่ำจากเคพกูสเบอร์รี่	อัจฉรา ดลวิทยาคุณ* ชนิกา ทองเตจา, ชุลีพร คำดี และ ปนิดา เวชสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา ตาก	459-472
AGRI- 004	ผลของกรดฮิวมิกต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของเมล่อน ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร	พิมพ์รัสมิภา สำราญ* ปริญญาวัตี ศรีตันทิพย์ และ ชิติ ศรีตันทิพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา ลำปาง	473-486

(03-AGRI) งานวิจัย ด้าน เทคโนโลยีเกษตร และอาหาร

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	เจ้าของบทความ	สถาบัน/หน่วยงาน	หน้า
AGRI- 005	ผลของการใช้พลาสติกที่มีต่อคุณภาพทางเคมี ภายภาพ และจุลินทรีย์ ของเนื้อหมูบดเพื่อการผลิตแฮม	นภาพร ดีสนาม* บุรัสกร สารพันธ์ ชาญชัย เดชธรรมรงค์ และ นีอร โฉมศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา ลำปาง	489-498
AGRI- 006	ผลของแคลเซียมคาร์ไบด์ ต่อการพัฒนาช่อดอกของว่านแสงอาทิตย์	รุ่งนภา ช่างเจรจา* และ สันติ ช่างเจรจา	สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	499-506
AGRI- 007	ผลของไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่อการงอก และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนถั่วลิสง	ชิตี ศรีตนิทพย์* ช่อผกา วงศ์สอน ปริญญาวดี ศรีตนิทพย์ และ วิษณุ ทองเล็ก	สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	507-521
AGRI- 008	ผลของรูปแบบกล้าเชื้อผสมแบคทีเรียและยีสต์ ต่อคุณลักษณะการหมักขอสถัวเหลือง	นีอร โฉมศรี* และ กมลวรรณ มโนวรรณ	สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	522-536

(03-AGRI) งานวิจัย ด้าน เทคโนโลยีเกษตร และอาหาร

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	เจ้าของบทความ	สถาบัน/หน่วยงาน	หน้า
AGRI- 009	ผลของสารให้ความหวานต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากเมี่ยง	นอร โดมศรี* พยุงค์ดี มะโนชัย กมลวรรณ มโนวรรณ และ อนงค์ อัสนิจันตรา	สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลล้านนา	537-550



CONFERENCE ON RESEARCH
& CREATIVE INNOVATIONS
การประชุมวิชาการ
วิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์



Proceeding Circi 2023

เล่ม 1 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 9 ประจำปี 2566
The 9th Conference on Research and Creative Innovations 2023

วันที่ 25-26 กรกฎาคม 2566
ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติ โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่



01-ENG

งานวิจัย ด้าน วิศวกรรม พลังงาน
และเทคโนโลยี

การคัดกรองข้อมูลรบกวนแบบจำลองภูมิประเทศ 3 มิติ จากระบบ MMS ด้วยเทคนิค ELM-SOR

สุรัชชัย จันทิ^{1*} และ ณัฐกิตติ์ เสงี่ยม²

ฝ่ายพัฒนาเทคโนโลยีและดิจิทัล สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)
เลขที่ 901 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

E-mail: ^{1*}surachai@hii.or.th, ²nattakit@hii.or.th

บทคัดย่อ

ข้อมูลรบกวนเป็นปัญหาสำคัญที่กระทบต่อความถูกต้องของการสำรวจข้อมูลด้วยระบบสำรวจเคลื่อนที่ (MMS) บทความนี้นำเสนอวิธีการคัดกรองข้อมูลโดยใช้เทคนิคผสม 3 แบบคือ เทคนิค Extended Local Minimum (ELM) ร่วมกับ statistical Outlier Removal (SOR) และคัดกรองโดยใช้เงื่อนไข (range) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดกรองข้อมูล พัฒนาบนไลบรารี PDAL โดยมีการทดสอบค่าพารามิเตอร์ K 5 ช่วง ได้แก่ 8, 20, 50, 80 และ 100 เปรียบเทียบกับวิธีแมนนวล โดยวัดผลด้วยค่า Accuracy, Precision, Recall และ F1-score ผลการทดลองพบว่า การคัดกรองที่ค่า K=50 มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดด้วย 0.99 และความแม่นยำ 0.98 สอดคล้องกับข้อผิดพลาด Type I และ Type II ที่ K=50 ทำนายผิดพลาดน้อยกว่าช่วงอื่นๆ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ K=50 จึงเหมาะสำหรับการนำไปพัฒนาระบบคัดกรองข้อมูล MMS เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องแม่นยำต่อไป

คำสำคัญ : การคัดกรองข้อมูลรบกวน, แบบจำลองภูมิประเทศสามมิติ, เทคนิค Extended Local Minimum, ระบบสำรวจเคลื่อนที่

Filtering of noise data from a 3D geospatial model generated by the MMS system using the ELM-SOR technique

Surachai Chantee^{1*} และ Nattakit Sa-ngiam²

Technology and Digital Division, Hydro-Informatics Institute (Public Organization)
901 Ngam Wong Wan Road, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900

E-mail: ^{1*}surachai@hii.or.th, ²nattakit@hii.or.th

ABSTRACT

Noise issues are a significant problem that affects the accuracy of Mobile Mapping System (MMS) data collection. This article presents a method for data screening using a hybrid approach that combines the Extended Local Minimum (ELM) technique with Statistical Outlier Removal (SOR) and range-based filtering. The proposed method was developed using the PDAL library and tested with different values of parameter K (5, 8, 20, 50, 80, and 100) and compared to the manual method. The evaluation was based on Accuracy, Precision, Recall, and F1-score metrics. The experimental results revealed that the data screening with K=50 achieved the highest accuracy of 0.99 and precision of 0.98. Moreover, the Type I and Type II error rates were lower for K=50 compared to other K values. Therefore, the parameter K=50 is recommended for enhancing the data quality of MMS and obtaining more accurate and reliable data.

Keywords: Noise filtering, 3D geospatial model, Extended Local Minimum Technique, Mobile Mapping System

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสำรวจพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ข้อมูลที่ทันสมัยและละเอียดจะช่วยให้การตัดสินใจถูกต้องมากขึ้น mobile mapping systems (MMS) เป็นระบบที่เก็บรวบรวมประมวลผลข้อมูลทางภูมิศาสตร์โดยใช้อุปกรณ์สำรวจเช่น GNSS, LiDAR-system, ระบบถ่ายภาพมุมกว้าง (Panorama Image) ติดตั้งอยู่บนยานพาหนะเคลื่อนที่ เช่น รถยนต์ (Lee et al., 2020) นำไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ เช่น ประเมินสภาพถนนเพื่อการบำรุงรักษา งานจัดการภัยพิบัติและการทำแผนที่ 3 มิติ เป็นต้น (Elhashash et al., 2022) หลักการทำงานทั่วไปใช้แสงสะท้อนจาก LiDAR-system ในการตรวจจับวัตถุ ร่วมกับการอ้างอิงพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยระบบ GNSS โดยใช้เวลาเป็นตัว synchronize ในระหว่างการสำรวจอาจมีสิ่งรบกวนสัญญาณ เช่น ฝุ่น , หมอก หรือฝน ทำให้เกิดการสะท้อนตำแหน่งที่ผิดพลาดหรือเรียกว่าข้อมูลรบกวน (noise) (Prio et al., 2022) ปะปนกับข้อมูลสำรวจ ซึ่งส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของวัตถุในการสร้างแผนที่ 3 มิติ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการคัดกรองข้อมูลรบกวนเหล่านี้ก่อนการประมวลผล

การคัดกรองข้อมูลรบกวนออกจากข้อมูลสำรวจในระยะแรกใช้วิธีการกรองแบบแมนนวล โดยมนุษย์ถึงแม้มีความถูกต้องแต่ทำได้ช้าเนื่องจากปริมาณข้อมูลที่มีจำนวนมาก จึงมีนักวิจัยหลายท่านได้ค้นหาวีธีคัดกรองข้อมูลรบกวนเหล่านี้ สามารถแบ่งเป็น 3 วิธีการหลักคือ 1.Spatial frequency (SF) ใช้โครงสร้าง 3 มิติ แบบ voxel ($3 \times 3 \times 3$) โดยมีจุดศูนย์กลางเป็นจุดที่กำลังพิจารณา หากจำนวนจุดภายใน voxel นี้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด จุดที่กำลังพิจารณาอยู่จะถือเป็น noise วิธีการนี้คัดกรอง noise แบบกลุ่มได้ไม่ดีและอาจเกิดปัญหา Type II errors (Carrilho et al., 2018) 2.radius outlier removal (ROR) โดยค้นหาจุดใกล้เคียงทุกจุดของ point cloud ภายในรัศมีที่กำหนด ถ้าจำนวนจุดใกล้เคียงน้อยกว่าค่าที่กำหนด (k_{min}) จุดนั้นจะถูกนำออกไป (Prio et al., 2022) ซึ่งวิธีการนี้อาจทำให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ถูกลบไปด้วย (Duan et al., 2021) 3.statistical outlier removal (SOR) โดยการคำนวณค่าเฉลี่ยระยะทางจากจุดที่พิจารณาไปยังจุดใกล้เคียง k โดยจุดที่มีระยะห่างเฉลี่ยมากกว่าค่าเฉลี่ยรวมกับส่วนเบี่ยงเบนและค่าที่กำหนดถือเป็น noise และถูกกำจัดออก (Rusu et al., 2008) วิธีการนี้สามารถประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ได้รวดเร็ว แต่ยังจำเป็นต้องทดสอบหลายครั้งเพื่อหาค่า k ที่เหมาะสม โดยแต่ละวิธีมีจุดเด่นจุดด้อยที่ต่างกัน การศึกษาคัดกรอง noise ส่วนมากเน้นไปที่ point cloud จาก UAV ในขณะที่งานศึกษา point cloud จาก MMS ยังมีน้อย

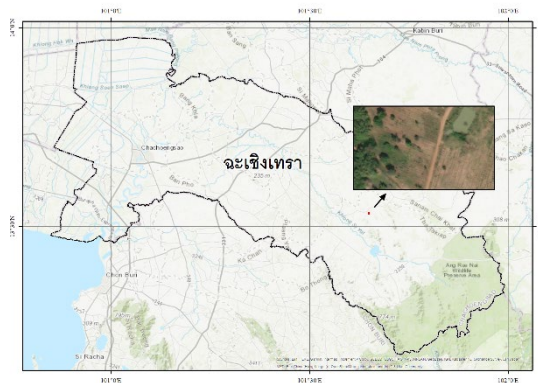
สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน) เป็นหน่วยงานวิจัยและพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์สถานการณ์น้ำที่มีความถูกต้องสูง ด้วยเหตุนี้ข้อมูลแบบจำลอง

ภูมิประเทศซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการสร้างแบบจำลองจึงต้องมีความถูกต้องสูง ดังนั้นจึงต้องคัดกรองข้อมูลรบกวนออกเสียก่อน จุดประสงค์ของการศึกษานี้คือ 1.นำเสนอกระบวนการเพื่อคัดกรองข้อมูลจากระบบ MMS แบบอัตโนมัติ โดยการผสมเทคนิค SOR และเทคนิค Extended Local Minimum (ELM) ร่วมกับการคัดกรองโดยใช้เงื่อนไข (range) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดกรองข้อมูล 2.พัฒนาการประมวลผลแบบอัตโนมัติ โดยใช้ไลบรารี PDAL เพื่อลดความยุ่งยากและเวลาในการทำงาน 3.นำเสนอ ค่า parameters เริ่มต้นที่เหมาะสมในการคัดกรองข้อมูลรบกวนจากระบบ MMS

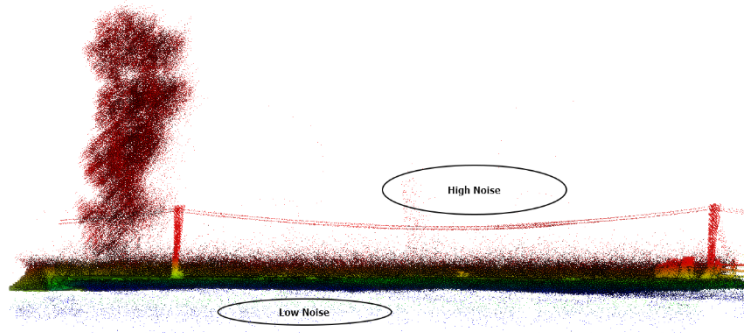
2. พื้นที่ศึกษาและการเก็บข้อมูลสำรวจ

2.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของโครงการสำรวจพื้นที่รอบอ่างเก็บน้ำคลองสียัดเพื่อใช้วางแผนบริหารจัดการน้ำ ขอบเขตพื้นที่อยู่ระหว่างละติจูด-ลองจิจูดที่ 13.532, 101.648 ถึง 13.533, 101.649 ซึ่งตั้งอยู่ในเขต ต.ท่าตะเกียบ อ.ท่าตะเกียบ จ.ฉะเชิงเทรา ครอบคลุมพื้นที่ 20,905 ตร.ม. ลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบ มีห้วยตามะหาดไหลผ่านด้านซ้ายของพื้นที่ เนื้อที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่การเกษตร มีถนนลูกรังตัดผ่านเมื่อรถวิ่งผ่านทำให้เกิดละอองฝุ่นได้ง่าย (รูปที่1) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิด noise รูปที่ 2



รูปที่ 1 ขอบเขตและลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลรบกวน (noise) ที่เกิดขึ้น

2.2 การเก็บข้อมูลสำรวจ

ในการศึกษารุ่นนี้ใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูล mms ประกอบไปด้วย Laser scan ทำหน้าที่สแกนวัตถุด้วยความหนาแน่นของจุดในการตรวจวัดที่ 300,000 จุดต่อวินาที สามารถสแกนในเขตรัศมี 100 เมตรจากรถสำรวจ Global Navigation Satellite System (GNSS) ทำหน้าที่ระบุตำแหน่งในขณะที่ทำการสำรวจ Inertial Measurement Unit (IMU) ทำหน้าที่ปรับแก้ทิศทางมุมเงย-มุมยกในระหว่างการสำรวจ Distance Measuring Instruments ใช้ในการวัดระยะทางตรวจจับการเคลื่อนที่ของรถ และ 360-degree camera ใช้ในการบันทึกภาพวัตถุต่างๆในขณะที่สำรวจ

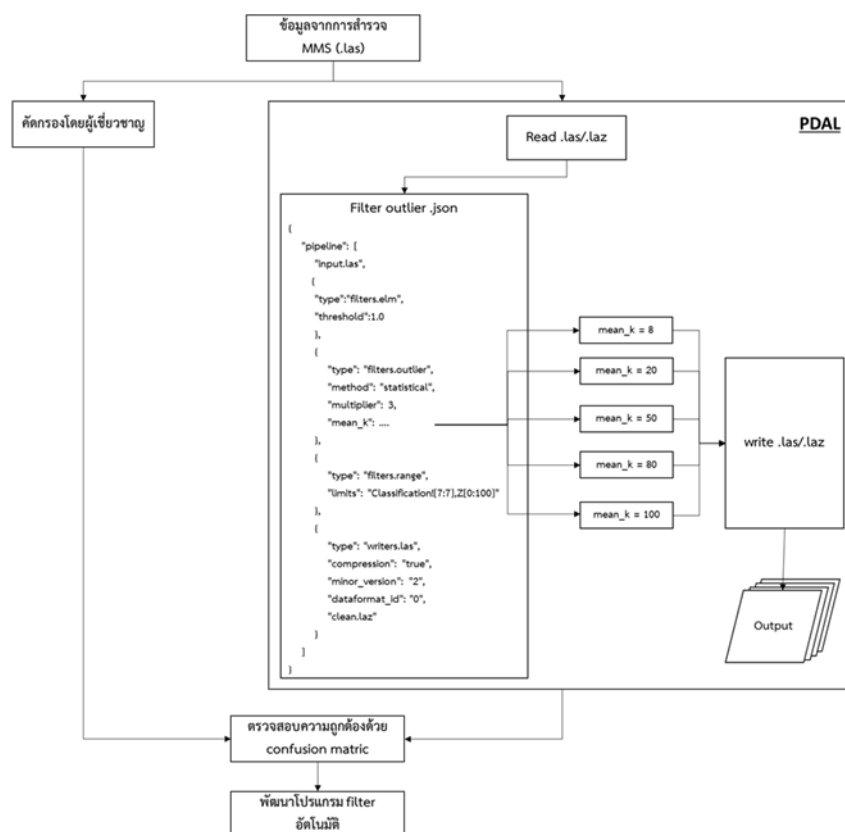


รูปที่ 3 a) ระบบ GNSS+IMU+กล้อง b) Distance Measuring Instruments c) ติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดบนรถสำรวจ (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ, 2566)

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ จัดเก็บอยู่ในรูปแบบของไฟล์ .las มีจำนวน 6,980,955 จุด แบ่งเป็นข้อมูลวัตถุจริง 6,879,482 จุดและข้อมูลที่เป็น noise 101,473 จุด

3. วิธีดำเนินการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา เริ่มจากการได้รับข้อมูลสำรวจจากรถ MMS ในรูปแบบไฟล์ .las บริเวณพื้นที่ศึกษา จากนั้นกำหนดให้มีการคัดกรอง 2 รูปแบบคือการคัดกรองอัตโนมัติจาก PDAL ด้วยภาษา python ที่มีการปรับพารามิเตอร์ k 5 ช่วงได้แก่ k=8, k=20, k=50, k=80 และ k=100 เพื่อหาค่า k ที่มีความถูกต้องสูงที่สุด เปรียบเทียบกับการคัดกรองแบบแมนนวลจากผู้สำรวจ ตรวจสอบ ความถูกต้อง โดยใช้การคำนวณทางสถิติ confusion matrix เพื่อดูค่า ความถูกต้อง (accuracy) , ความแม่นยำ (precision) , recall และ f1 score โดยผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จะนำไปพัฒนาโปรแกรมอัตโนมัติและสรุปผลต่อไป ดังรูป 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาระบบคัดกรองข้อมูลรบกวนจากการสำรวจ MMS

3.1 PDAL (Point Data Abstraction Library)

PDAL เป็นไลบรารีแบบโอเพนซอร์สที่พัฒนาด้วยภาษา C++ สำหรับแปลและจัดการข้อมูล point cloud รองรับการประมวลผลแบบ pipeline ด้วยไฟล์ข้อมูลแบบ JSON ใช้งานร่วมกันได้กับหลายภาษาเช่น python, java, Julia และ MATLAB จุดเด่นอีกอย่างหนึ่งคือสามารถแปลงพิกัดทางภูมิศาสตร์และรองรับไฟล์กว่า 30 ประเภท (Butler et al., 2021) จึงเหมาะสำหรับการพัฒนาระบบคัดกรองข้อมูลแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 5 ขั้นตอนการประมวลผลโดย PDAL

3.2 Statistical outlier removal (SOR)

เป็นวิธีการเพื่อกำจัดข้อมูลรบกวนโดยใช้การคำนวณทางสถิติ โดยมีขั้นตอน 2 ขั้นตอนคือ อันดับแรกคำนวณค่าเกณฑ์ตามสถิติและขั้นที่สองเพื่อระบุค่าผิดปกติโดยใช้เกณฑ์ที่คำนวณ ด้วยสมการ 1-4 (PDAL Contributors, 2020) ดังนี้

$$\underline{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mu_i \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\mu_i - \underline{\mu})^2} \quad (2)$$

μ_i คือ ค่าเฉลี่ยระยะทางจากจุดไปยังจุดเพื่อนบ้าน (k) ที่ใกล้ที่สุด

k คือ จำนวนเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด

$\underline{\mu}$ คือ ค่าเฉลี่ยระยะทางที่คำนวณจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ)

โดยมีการกำหนดเกณฑ์ค่าผิดปกติตามสมการนี้

$$t = \mu + m\sigma \quad (3)$$

m เป็น multiplier ที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้งาน

t เป็นเกณฑ์ของ outlier

ในการระบุ outlier จะคำนวณทุกจุด μ_i เพื่อเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์ ถ้า μ_i มากกว่าเกณฑ์จะถูกกำหนดเป็น outlier ดังสมการด้านล่าง

$$outlier_i = \{true, \text{ if } \mu_i \geq t \text{ false, otherwise} \quad (4)$$

3.3 การประเมินและวัดผล

ในการศึกษานี้ใช้ Confusion metric ในการตรวจสอบความถูกต้อง (accuracy) ความแม่นยำ (precision) เพื่อหาค่าสมการที่ให้ค่าความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด โดยใช้สูตรการคำนวณ True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP), False Negative (FN) ด้วยสมการ 5-8 (Lin & Habib, 2022) ดังนี้

$$Accuracy = \frac{(TP + TN)}{(TP+TN+FP + FN)} \quad (5)$$

$$Precision = \frac{TP}{(TP+FP)} \quad (6)$$

$$Recall = \frac{TP}{(TP+FN)} \quad (7)$$

$$F1 = \frac{2 \times (Precision \times Recall)}{(Precision + Recall)} \quad (8)$$

3.4 การเตรียมชุดคำสั่ง

เขียนชุดคำสั่งสำหรับการคัดกรองด้วยชุดคำสั่งแบบ Pipeline ด้วยภาษา json โดยมี 3 ขั้นตอนคือ

3.4.1 อ่านไฟล์ข้อมูล

เริ่มสร้าง pipeline โดยการอ่านไฟล์ข้อมูลที่ระบุที่อยู่ของไฟล์สำรวจ

```
"/analysis/denoising/ TTK_Filter_crop.las",
```

3.4.2 คัดกรองด้วยเทคนิค Extended Local Minimum (ELM)

กำหนดค่า threshold เพื่อระบุ low noise ในการประมวลผล

```
{
  "type":"filters.elm",
  "threshold":1.0 },
```

3.4.3 คัดกรอง outlier ด้วยวิธีการ statistic

กำหนดวิธีคัดกรองข้อมูลและพารามิเตอร์ต่างๆ โดยมีการปรับค่า k เป็น 5 ชุดได้แก่ 8, 20, 50, 100, 1000

```
{  
  "type": "filters.outlier",  
  "method": "statistical",  
  "multiplier": 3,  
  "mean_k": 8  
},
```

3.4.4 คัดกรองโดยกำหนดเงื่อนไข

เป็นการคัดกรองโดยใช้เงื่อนไขจากแอทริบิวของข้อมูลแบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ รหัสการจำแนก(classification code) และช่วงค่าความสูง (Z) ผ่าน filters.range

```
"type": "filters.range",  
"limits": "Classification![7:7],Z[0:100]"
```

Classification![7:7] เป็นการคัดกรองจาก ASPRS Standard LIDAR Point Classes ของ Lidar โดย class = 7 ซึ่งเป็น class noise (ASPRS, 2011) จะถูกกรองออก และจำกัดความสูงของ point cloud ที่ช่วง 0-100 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง

3.4.5 เขียนไฟล์ผลลัพธ์

เป็นขั้นตอนในการเขียนผลลัพธ์ที่ได้จากการคัดกรอง สามารถลดขนาดไฟล์ได้ด้วยการย่อเป็นไฟล์ .laz

```
"type": "writers.las",  
"compression": "true",  
"minor_version": "2",  
"dataformat_id": "0",  
"filename": "/analysis/denoising/clean_KNN.laz"
```

3.4.6 ประมวลผลข้อมูล

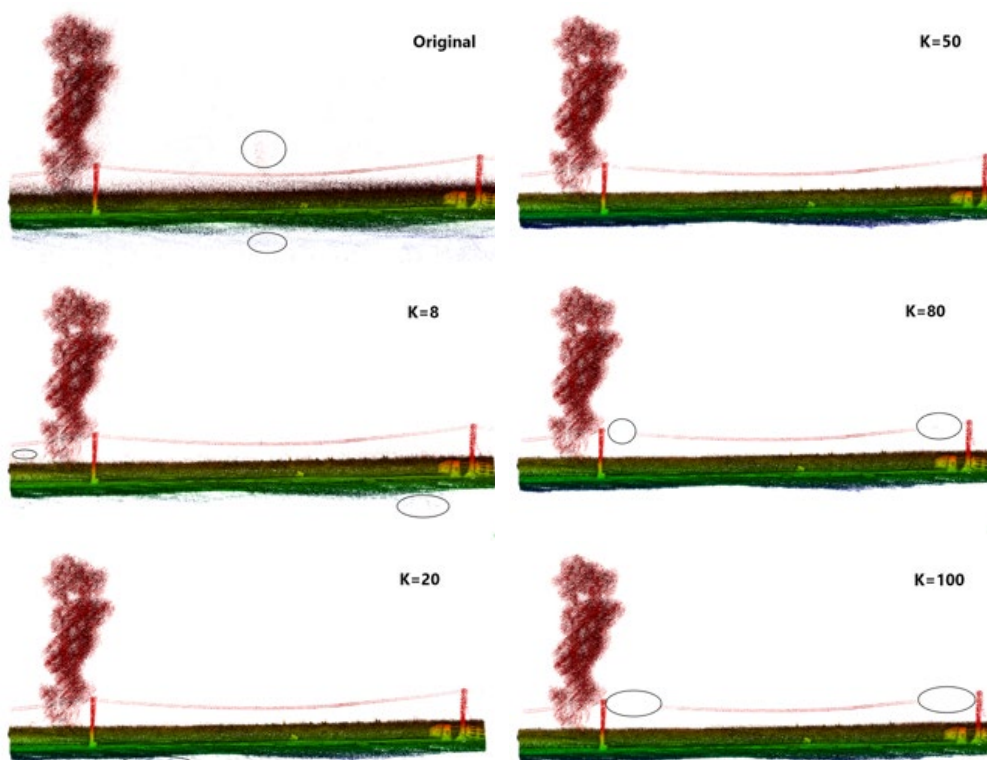
โดยใช้คำสั่งในโปรแกรม Python

```
pdal pipeline "D:/Las/project_file/denoise2.json"
```

4. ผลการวิจัย

4.1 ความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูลสำรวจ

จากผลลัพธ์ .laz ของไฟล์ทั้งหมดที่ได้จากสมการการกรองด้วยเทคนิค ELM-SOR มาให้สีด้วยค่าความสูงของจุดสำรวจ จากรูปที่ 6 พบว่า ข้อมูล Original ยังคงมี Noise กระจายอย่างเห็นได้ชัด ทั้งแบบ low noise และ high noise เปรียบเทียบกับการคัดกรองที่ค่า $K = 8$ Noise เริ่มลดลงไปแต่ยังคงมีให้เห็นอยู่ ทั้งแบบ low noise และ high noise เมื่อคัดกรองที่ $K=20$ ค่า Noise แบบ high noise ลดลงชัดเจน ในขณะที่ low noise ยังคงมีอยู่แบบสังเกตเห็นได้ เมื่อใช้ค่า $K = 50$ ทั้ง Noise แบบ Low noise และ high noise ลดลงอย่างชัดเจน และคงรายละเอียดของวัตถุที่สำรวจได้ครบถ้วน เมื่อเพิ่มค่า $K = 80$ ค่า Noise ทั้งสองแบบสังเกตเห็นไม่ชัด แต่รายละเอียดของวัตถุเริ่มหายไป เช่น สายไฟ เนื่องจากเกิด Error type 2 และสุดท้าย เมื่อเพิ่มค่า $K = 100$ ค่า Noise ทั้งสองแบบสังเกตเห็นไม่ชัด แต่รายละเอียดของวัตถุหายไปมากขึ้น สังเกตได้จากแนวสายไฟ ดังนั้น $K = 50$ จึงสามารถคัดกรอง noise ได้ดี และยังสามารถเก็บรายละเอียดของวัตถุในการสำรวจได้ดีกว่าค่า $K 8, 20, 80$ และ 100



รูปที่ 6 ไฟล์ผลลัพธ์ .laz ที่ประมวลผลในแต่ละค่า K

4.2 ตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของโมเดล

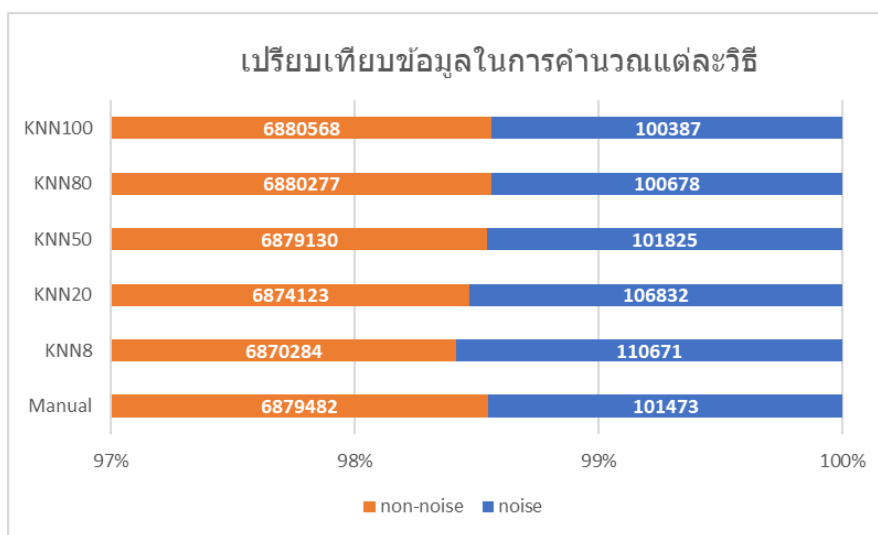
การศึกษานี้เราสนใจที่จะคัดกรอง noise จึงกำหนดให้ค่า positive คือ noise และ negative คือ non-noise ดังนั้น True Positive (TP) หมายถึง โมเดลทำนายเป็น noise และข้อมูลจริงเป็น noise, True Negative (TN) หมายถึง โมเดลทำนายเป็น non-noise และข้อมูลจริงเป็น non-noise, False Positive (FP) หมายถึง โมเดลทำนายเป็น noise แต่ข้อมูลจริงเป็น non-noise, False Negative (FN) หมายถึง โมเดลทำนายเป็น non-noise แต่ข้อมูลจริงเป็น noise

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องโดยคำนวณจากตาราง Confusion matrix เปรียบเทียบ K ทั้ง 5 แบบ พบว่าวิธีการแบบ K50 ให้ ค่าความถูกต้องสูงที่สุดที่ 0.9997 ตามมาด้วย K80, K100, K20 และ K8 ตามลำดับ เนื่องจากข้อมูลในการทดลองมีลักษณะ Imbalance Data (จำนวน noise มีจำนวนน้อยกว่า non-noise มาก) การใช้ accuracy อย่างเดียวทำให้เกิด accuracy paradox ดังนั้นจึงควรพิจารณาพร้อมกับค่า precision และ recall (Galar et al., 2012; Uddin, 2019) ซึ่ง K50 ทำคะแนน precision สูงถึง 0.9879 ตามมาด้วย K80 (0.9634), K100 (0.94), K20 (0.879) และ K8 (0.7831) สอดคล้องกับค่า recall โดย K50 ทำคะแนนสูงถึง 0.9914 รองลงมาได้แก่ K80(0.9559), K100(0.9299) ,K20(0.9264), K8(0.8541) ในส่วนการทำนายผิดพลาด Error Type 1 (FP) K50 ทำนายผิดพลาดเพียง 1,228 ตามมาด้วย K80 (3,682), K100 (6,025), K20 (12,828) และ K8 (24,007) ด้าน Error Type 2 (FN) K50 ทำนายผิดพลาดน้อยที่สุด 876 ตามมาด้วย K80 (4,477), K100 (7,111), K20 (7,469) และ K8 (14,809) ผลลัพธ์ทั้งหมดแสดงในรูปแบบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณมาตรวัดต่างๆจากตาราง Confusion matrix

Methods	KNN8	KNN20	KNN50	KNN80	KNN100
TN	6,855,475	6,866,654	6,878,254	6,875,800	6,873,457
FP	24,007	12,828	1,228	3,682	6,025
FN	14,809	7,469	876	4,477	7,111
TP	86,664	94,004	100,597	96,996	94,362
Accuracy	0.9944	0.9971	0.9997	0.9988	0.9981
Precision	0.7831	0.8799	0.9879	0.9634	0.9400
Recall	0.8541	0.9264	0.9914	0.9559	0.9299
Specificity	0.9965	0.9981	0.9998	0.9995	0.9991
F1_score	0.8170	0.9026	0.9897	0.9596	0.9349

เมื่อนำผลลัพธ์จากการประมวลผล มาสร้างกราฟเพื่อแสดงจำนวน noise และ non-noise ของแต่ละวิธี โดยพบว่าวิธี คัดกรองแบบ K50 มีจำนวน Noise ที่ทำนายใกล้เคียงการคัดกรองจากผู้เชี่ยวชาญด้วยวิธี manual มากที่สุด ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบจำนวน noise และ non-noise ของวิธีต่างๆ

5. สรุปผลการศึกษา

การคัดกรองข้อมูลรบกวนออกจากข้อมูลสำรวจ MMS เป็นสิ่งที่สำคัญ ก่อนนำข้อมูลไปใช้ในงานต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโมเดลทางด้านโมเดลน้ำ ที่ต้องการความถูกต้องสูง การคัดกรองที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็วจะช่วยให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ได้ทันเวลา การศึกษานี้แนะนำเสนอการใช้เทคนิคผสม 3 เทคนิค ได้แก่ SOR และเทคนิค ELM ร่วมกับการคัดกรองโดยใช้เงื่อนไข (range) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดกรอง โดยพัฒนาผ่านไลบรารี PDAL เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ K เพื่อใช้ในการทำนาย noise

โดยโมเดลที่ใช้ ค่า K=50 สามารถทำคะแนนได้ดีกว่าโมเดลอื่นๆ ด้วยค่า Accuracy, Precision, Recall และ F1-Score ใกล้เคียงกับวิธีการ manual จากผู้เชี่ยวชาญ แต่มีประมวลผลได้เร็วกว่าและยังคงรายละเอียดของวัตถุต่างๆครบถ้วน เช่นเดียวกันกับการตรวจสอบข้อผิดพลาดทั้งแบบ Type 1 และ Type 2 ที่โมเดล K50 มีจุดผิดพลาดน้อยที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัย (Mustafa, 2021; Ougiaroglou & Evangelidis, 2015) ที่ระบุว่า K

ที่มีค่ามากสามารถกำจัด noise ได้ดีกว่าค่า K ที่น้อยแต่ค่า K ที่มากเกินไปสามารถทำให้รายละเอียดของข้อมูลสูญหายได้

การพัฒนาระบบคัดกรองข้อมูลรบกวนข้อมูลสำรวจ MMS แบบอัตโนมัติผสมหลายเทคนิคช่วยให้การคัดกรองมีประสิทธิภาพ ด้วยโรบราลีแบบโอเพนซอร์ส PDAL ที่สามารถพัฒนาร่วมกับภาษาคอมพิวเตอร์อื่นๆได้ โดยการศึกษาในอนาคตสามารถต่อยอดด้วยเทคนิค Machine learning มาช่วยประมวลผลเพื่อสร้างโมเดลที่เก่งขึ้นและสามารถเรียนรู้ได้เองต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Butler, H., Chambers, B., Hartzell, P., & Glennie, C. (2021). PDAL: An open source library for the processing and analysis of point clouds. *Computers & Geosciences*, 148, 104680. doi:10.1016/j.cageo.2020.104680
- Carrilho, A. C., Galo, M., & Santos, R. C. (2018). STATISTICAL OUTLIER DETECTION METHOD FOR AIRBORNE LIDAR DATA. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-1, 87-92. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-1-87-2018
- Duan, Y., Yang, C., Chen, H., Yan, W., & Li, H. (2021). Low-complexity point cloud denoising for LiDAR by PCA-based dimension reduction. *Optics Communications*, 482, 126567. doi:10.1016/j.optcom.2020.126567
- Elhashash, M., Albanwan, H., & Qin, R. (2022). A Review of Mobile Mapping Systems: From Sensors to Applications. *Sensors*, 22(11), 42-62. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/11/4262>
- Lee, J., Yoo, S., Hong, S., Farkoushi, M. G., Bae, J., Park, I., & Sohn, H.-G. (2020). Automated Algorithm for Removing Clutter Objects in MMS Point Cloud for 3D Road Mapping. *Sensors*, 20(15). doi:10.3390/s20154076
- Prio, M. H., Patel, S., & Koley, G. (2022, 19-22 June 2022). Implementation of Dynamic Radius Outlier Removal (DROR) Algorithm on LiDAR Point Cloud Data with Arbitrary White Noise Addition. *2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference: (VTC2022-Spring)*
- Rusu, R. B., Marton, Z. C., Blodow, N., Dolha, M., & Beetz, M. (2008). Towards 3D Point cloud based object maps for household environments. *Robotics and Autonomous Systems*, 56(11), 927-941. doi:10.1016/j.robot.2008.08.005

- PDAL Contributors, 2020. PDAL Point Data Abstraction Library. doi:10.5281/zenodo.2556737
- Lin, Y.-C., & Habib, A. (2022). Semantic segmentation of bridge components and road infrastructure from mobile LiDAR data. *ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 6, 100023. doi:10.1016/j.ojphoto.2022.100023
- Galar, M., Fernandez, A., Barrenechea, E., Bustince, H., & Herrera, F. (2012). A Review on Ensembles for the Class Imbalance Problem: Bagging-, Boosting-, and Hybrid-Based Approaches. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 42(4), 463-484. doi:10.1109/TSMCC.2011.2161285
- Uddin, M. F. (2019). Addressing Accuracy Paradox Using Enhanced Weighted Performance Metric in Machine Learning. *2019 Sixth HCT Information Technology Trends (ITT)*, 319-324. doi:10.1109/ITT48889.2019.9075071
- Ougiaroglou, S., & Evangelidis, G. (2015). Dealing with noisy data in the context of k-NN Classification. doi:10.1145/2801081.2801116
- Mustafa, Z. (2021). Inlier Point Preservation in Outlier Points Removed from the ALS Point Cloud. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(10), pp. 2347-2363. doi:10.1007/s12524-021-01397-4
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ. (2566). ระบบสำรวจภูมิประเทศ mms. สืบค้น 13 มิถุนายน 2566, จาก https://www.hii.or.th/งานของเรา/งานวิจัยและพัฒนา/2022/02/24/ระบบสำรวจ_ภูมิประเทศ-mobile-mapping-system-mms/

การประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตอย่างรวดเร็ว สำหรับสวิตเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

สันติภาพ โคตทะเล* และ อุดม เครือเทพ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

* E-mail santipab@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสร้างเครื่องประจุแบบไวสำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟตของสวิตเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่เริ่มการประจุแบบกระแสคงที่จนแบตเตอรี่มีค่าสถานะการประจุ 70 เปอร์เซ็นต์ จะทำการประจุแบบแรงดันคงที่ ใช้หลักการโครงข่ายประสาทเทียมแบบเชิงเส้นที่เรียนรู้แบบเดลต้าทำการควบคุมค่ากระแสและแรงดัน สัญญาณควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบลดทอนระดับแรงดันในโหมดการนำกระแสต่อเนื่องถูกสร้างโดยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล ผลการทดสอบของเครื่องต้นแบบกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตขนาด 12 โวลต์ 20 แอมแปร์ ชั่วโมงพบว่าสามารถรักษาค่ากระแส หรือแรงดันให้มีค่าคงที่ได้โดยมีค่าความผิดพลาด 0.50 เปอร์เซ็นต์ ในทดสอบการประจุเมื่อค่าสถานะของการประจุเริ่มต้นมีค่า 32 เปอร์เซ็นต์ จนสถานะของการประจุมีค่า 80 เปอร์เซ็นต์ ใช้พลังงาน 0.192 kWh และใช้เวลาทั้งสิ้น 145 นาที ซึ่งเร็วกว่าเครื่องประจุที่ใช้โหมดแรงดันคงที่เพียงอย่างเดียว 65 นาที

คำสำคัญ สวิตเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต คอนเวอร์เตอร์แบบลดทอนระดับแรงดันโหมดการนำกระแสต่อเนื่อง โครงข่ายประสาทเทียมที่เรียนรู้แบบเดลต้า

Rapid Charging of Lithium Iron Phosphate Battery For Small Electric Scooter

Santipab Kotthale* and Udom Kruethep

Faculty of engineering Rajamangala University of Technology Lanna

* E-mail, santipab@rmutl.ac.th

Abstract

This paper presents a rapid charger design and construction of a lithium ion phosphate battery for a small electric scooter. Initiatively, the battery was charged with a constant current until the battery had a 70 percent SOC. It later performed a constant voltage charge mode. This used delta-learning linear neural network principles to control current and voltage. The control signal of the CCM buck converter is generated by a digital signal processor. Test result of a prototype with a 12V 20Ah lithium-ion phosphate battery was found to be able to maintain the current value or the voltage to be stable with an error of 0.50 percent. In the charging test, charging from 32 percent to 80 percent showed the energy consumption of 0.192 kWh and the charging time of 145 minutes. In comparison, charging the Lithium ion phosphate battery was faster than a charger using constant voltage mode alone 65 minutes.

Keywords: small electric scooter, lithium ion phosphate battery, CCM buck converter, delta learning artificial neural network

1. บทนำ

สกูตเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็กถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ด้วยที่ที่มีความสะดวกในการใช้งาน ประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปจะใช้แหล่งจ่ายที่เป็นแบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออนฟอสเฟตที่มีแรงดันต่ำในช่วง 12-24 โวลต์ พิกัดกำลังของแบตเตอรี่ จะมีค่าค่อนข้างต่ำด้วยเหตุผลทางการตลาด ส่งผลให้มีระยะทางใช้งานต่อการประจุที่ค่อนข้างต่ำตามไปด้วย โดยควรทำการประจุเมื่อสถานะการประจุเหลือไม่ต่ำกว่า 30 % โดยใช้เวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง และมีสถานะการประจุสูงสุดที่ประมาณ 80 % เพื่อการรักษาให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

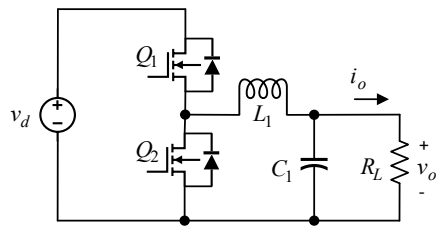
มีการพัฒนาการประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตหลายแบบ เช่น การประจุแบบรวดเร็ว (Rapid charge) ที่มีอัตราการประจุในช่วง 0.3C-0.5C มีอุณหภูมิในช่วงการประจุ 10-45 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3-6 ชั่วโมง การประจุแบบไวมีอัตราการประจุที่ 1C มีอุณหภูมิในช่วงการประจุ 10-45 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง และการประจุแบบไวพิเศษมีอัตราการประจุที่ 1C-10C มีอุณหภูมิในช่วงการประจุ 10-45 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 10-60 นาที นอกจากนี้ Heri, S. (2020) นำเสนอการออกแบบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบลิเทียมด้วยหลักการกระแสคงที่ และแรงดันคงที่ ที่ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ Muhamad, K. H. (2018) และคณะได้นำเสนอการประจุแบตเตอรี่ที่ใช้คอนเวอร์เตอร์แบบลดทอนระดับแรงดันแบบซินโครนัสเพื่อลดการสูญเสียขณะอุปกรณ์สวิตช์นำกระแส

ในงานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะพัฒนาระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตแบบรวดเร็วสำหรับสกูตเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก มีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลาในการประจุพลังงานให้กับแบตเตอรี่ โดยเริ่มทำการประจุในโหมดกระแสคงที่ด้วยอัตราการประจุที่ 0.5C จนแรงดันมีค่าสูงพอจะเปลี่ยนเป็นการประจุในโหมดแรงดันคงที่ วงจรกำลังจะใช้คอนเวอร์เตอร์แบบลดทอนระดับแรงดันในโหมดกระแสต่อเนื่อง ทำการควบคุมกระแส หรือแรงดันให้มีค่าคงที่ในแต่ละโหมดโดยใช้ตัวควบคุมทำการรักษากระแส หรือแรงดันด้วยหลักการโครงข่ายประสาทเทียมที่ปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนักโดยใช้การเรียนรู้แบบเดลต้า (Delta learning) สร้างสัญญาณควบคุมการทำงานด้วยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบการประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตสำหรับสกูตเตอร์ขนาดเล็ก และประยุกต์ใช้งานระบบควบคุมที่มีความแม่นยำ และมีความอ่อนตัวสูง มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน และสามารถพัฒนาต่อได้

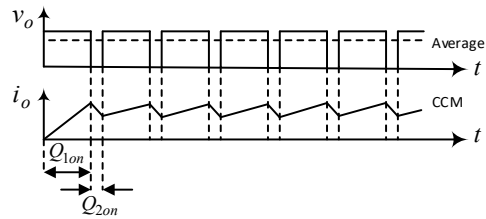
2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คอนเวอร์เตอร์แบบลดทอนระดับแรงดันในโหมดการนำกระแสแบบต่อเนื่อง

คอนเวอร์เตอร์แบบลดทอนระดับแรงดันเป็นคอนเวอร์เตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ลดระดับแรงดันในย่านศูนย์ถึงค่าแรงดันแหล่งจ่าย โดยทำการควบคุมค่าความกว้างของพัลส์มีวงจรกำลังดังรูปที่ 1 (ก) โดยใช้สวิตช์กำลังต่อวงจรแบบครึ่งบริดจ์ ใช้วงจรกรองผ่านต่ำแบบพาสซีฟ (Passive low pass filter) กรองแรงดันเอาต์พุต โดยตัวเหนี่ยวนำจะทำหน้าที่ช่วยจ่ายพลังงานผ่านแคลมป์ไดโอดของอุปกรณ์สวิตช์ Q_2 เพื่อให้เกิดการทำงานในโหมดการนำกระแสแบบต่อเนื่อง (Continuous conduction mode; CCM) มีแรงดันและกระแสเอาต์พุต ดังรูปที่ 1 (ข) แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยจะมีค่าตามความกว้างของพัลส์ของสัญญาณควบคุมอุปกรณ์สวิตช์ Q_1 ดังสมการที่ 1 และหาค่าความเหนี่ยวนำได้ดังสมการที่ 2



(ก) วงจรกำลัง



(ข) แรงดันและกระแสเอาต์พุต

รูปที่ 1 คอนเวอร์เตอร์แบบลดทอนระดับแรงดันในโหมดกระแสต่อเนื่อง

$$v_o = \eta D v_{d(\max)} \quad (1)$$

$$L = \frac{v_o (v_d - v_o)}{\Delta i_L f_s v_d} \quad (2)$$

เมื่อ

η

คือ ประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์

D คือ Duty cycle ของสัญญาณควบคุม

$v_{d(\max)}$ คือ ค่าสูงสุดของแรงดันอินพุต

Δi_L คือ กระแสระลอกผ่านตัวเหนี่ยวนำ

2.2 การควบคุมกระแสและแรงดันเอาต์พุต

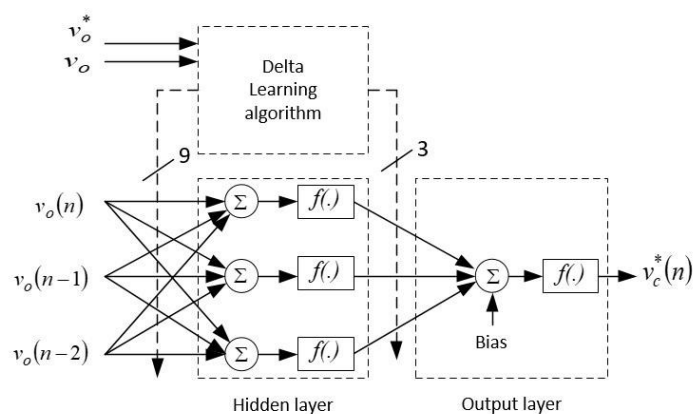
การรักษาค่ากระแสและแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าคงที่ ใช้หลักการโครงข่ายประสาทเทียมที่เรียนรู้แบบเดลต้าเพื่อปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก ด้วยการประยุกต์ใช้ค่าเฉลี่ยกำลังสองต่ำสุดเพื่อเข้าสู่จุดต่ำสุดของฟังก์ชันประเมิณผล หาค่าความผิดพลาดดังสมการที่ 3 หาค่าความผิดพลาดของเวกเตอร์เกรเดียน โดยมีฟังก์ชันของชั้นซ่อนดังสมการที่ 4 และหาค่าถ่วงน้ำหนักที่ปรับปรุงดังสมการที่ 5 งานวิจัยนี้จะเลือกใช้ค่าตัวประกอบการเรียนรู้ 0.3 มีโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมดังรูปที่ 2 ใช้ฟังก์ชันการกระตุ้นแบบ tan-sigmoid

$$E = \frac{1}{2} [T_i - f(w_i x_i)]^2 \quad (3)$$

$$f(w_i x_i) = \frac{1}{2} (T_i - O_i^2) \quad (4)$$

$$w_i(k+1) = w_i(k) + \frac{\mu}{2} (T_i - O_i)(T_i - O_i^2) x_i \quad (5)$$

เมื่อ	E	คือค่าผิดพลาดรวม	T	คือค่าเป้าหมาย
	w	คือค่าถ่วงน้ำหนัก	x	คืออินพุต
	O	คือเอาต์พุต	μ	คือค่าตัวประกอบการเรียนรู้

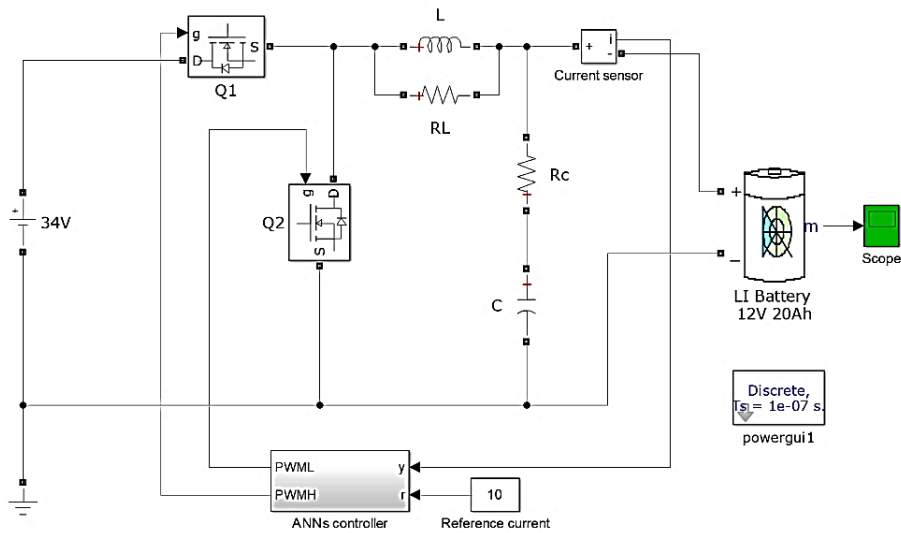


รูปที่ 2 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับที่ใช้ในการควบคุมแรงดันเอาต์พุต

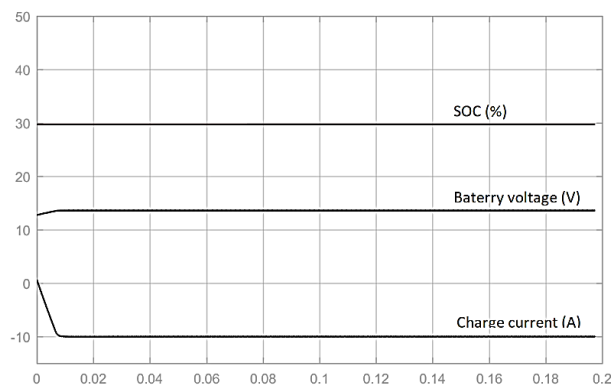
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การจำลองการทำงานของระบบควบคุมคอนเวอร์เตอร์ลวดทองระดับแรงดัน

การจำลองการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK โดยมีโมเดลดังรูปที่ 5 ที่ค่าสุม $t_s=1 \times 10^{-4}$ วินาที มีค่ากระแสอ้างอิงที่ 10 A จากการจำลองการทำงานพบว่า ระบบควบคุมที่นำเสนอสามารถรักษากระแสเอาต์พุตให้มีค่าคงที่ได้ และมีผลตอบสนองที่รวดเร็วและไม่เกิดโอเวอร์ชูต ดังแสดงในรูปที่ 6



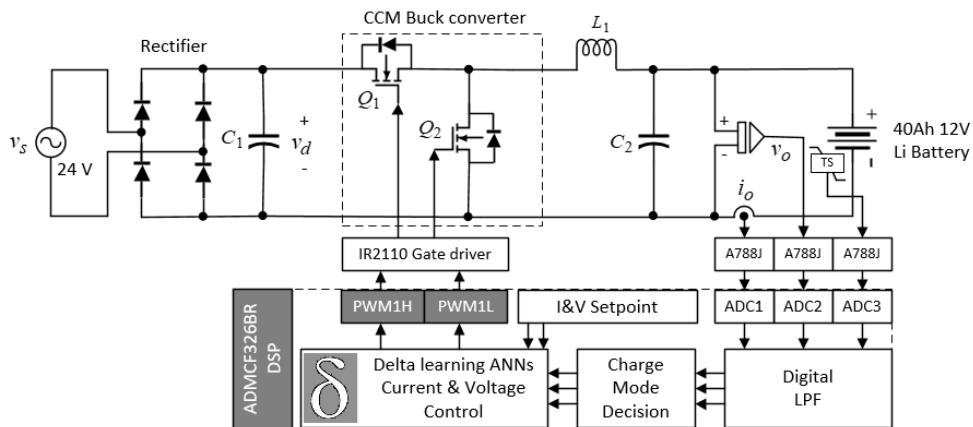
รูปที่ 5 การจำลองการทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบลวดทองระดับแรงดัน



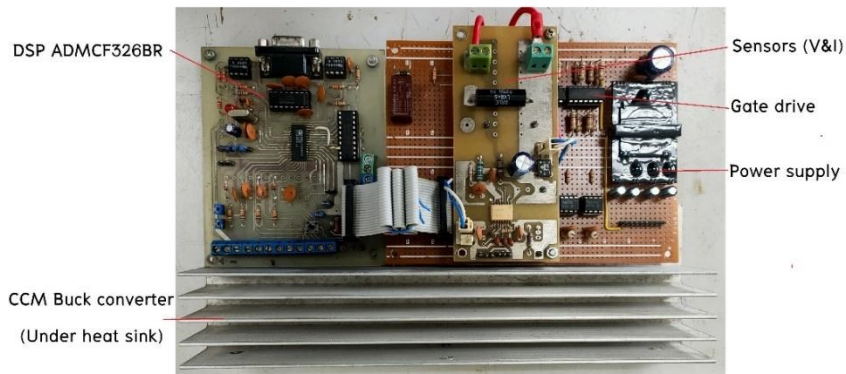
รูปที่ 6 กระแส แรงดัน และสถานะการประจุขณะเริ่มประจุ

3.2 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

โครงสร้างของระบบประจุแบบเตอริลิเทียมไอออนแบบรวดเร็วของสกุตเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ กแสดงได้ดังรูปที่ 7 ใช้คอนเวอร์เตอร์กำลังแบบลดทอนระดับแรงดัน ที่ใช้ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุขนาด $100 \mu H$ และ $100 \mu F$ ตามลำดับ ทำการตรวจจับกระแส แรงดันและอุณหภูมิด้วยไอซีเบอร์ A788J ส่งสัญญาณให้ DSP เบอร์ ADMCF326BR ระบบจะทำการเลือกโหมดการประจุตามค่าแรงดันที่สัมพันธ์กับค่า SOC ของแบตเตอรี่ ใช้โครงข่ายประสาทเทียมควบคุมกระแสหรือแรงดันเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมแบบ PWM ให้กับคอนเวอร์เตอร์ผ่านไอซีขับนำสัญญาณเบอร์ IR2110 และถ้าอุณหภูมิของแบตเตอรี่มีค่าสูงเกิน 45 องศาเซลเซียส ระบบจะสั่งให้หยุดการประจุชั่วคราวจนกว่าอุณหภูมิจะมีค่าลดลงต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 8 ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ DSP ทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุม อุปกรณ์ตรวจจับที่ทำการตรวจจับกระแสและแรงดัน และคอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงผันกำลังงาน



รูปที่ 7 โครงสร้างของระบบประจุแบบไวของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่นำเสนอ

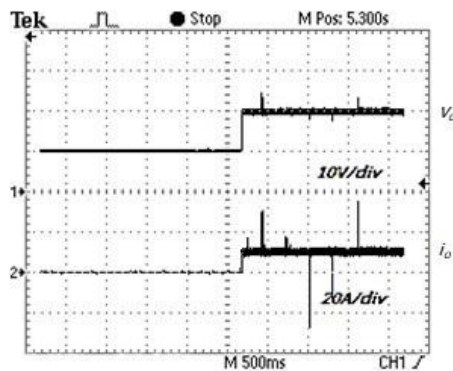


รูปที่ 8 เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น

4. ผลการวิจัย

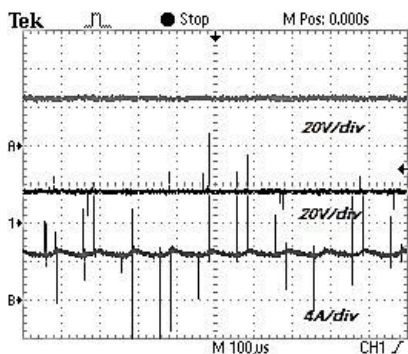
4.1 ผลการทดสอบการทำงานของระบบควบคุม

การทดสอบแบบเปลี่ยนแปลงฉับพลันขณะเริ่มประจุในโหมดกระแสคงที่ แบตเตอรี่มีค่าแรงดันก่อนการประจุ 10.08 V มีค่าสถานะการประจุ 32 % ตั้งค่ากระแสประจุไว้ที่ 10 A แรงดันและกระแสจะมีค่าดังรูปที่ 9 โดยมีค่า 19.24 V และ 10.05 A มีค่ากระแสระลอก 3.45 A ขณะเริ่มทำงานจะไม่เกิดโอเวอร์ชู้ตขึ้น กระแสลู่เข้าสู่ค่าเป้าหมายในเวลาประมาณ 85 ms และ มีความผิดพลาดในภาวะคงตัว 0.5 %

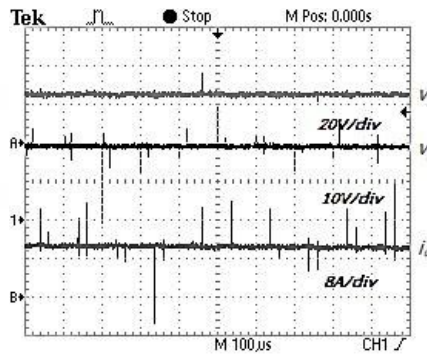


รูปที่ 9 แรงดันและกระแสขณะเริ่มการประจุในโหมดกระแสคงที่

ผลการทดสอบในโหมดกระแสคงที่ แสดงได้ดังรูปที่ 10 โดยแรงดันแหล่งจ่ายมีค่า 24 V ในรูปที่ 10 (ก) เป็นผลการทดสอบที่ค่ากระแสประจุ 5 A แรงดันประจุจะมีค่า 16.5 V กระแสประจุจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 5 A ส่วนในรูปที่ 10 (ข) เป็นผลการทดสอบที่ค่ากระแสประจุ 10 A แรงดันประจุจะมีค่า 19 V โดยกระแสประจุจะมีค่าเฉลี่ยที่ประมาณ 10 A



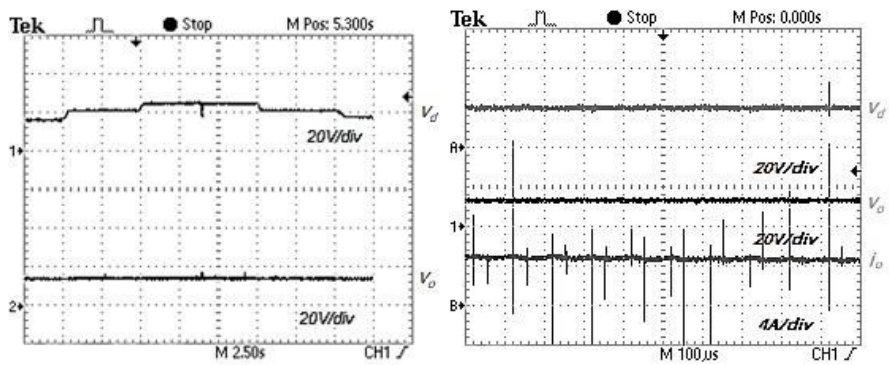
(ก) กระแสประจุ 5 A



(ข) กระแสประจุ 10 A

รูปที่ 10 แรงดันและกระแสขณะประจุในโหมดกระแสคงที่

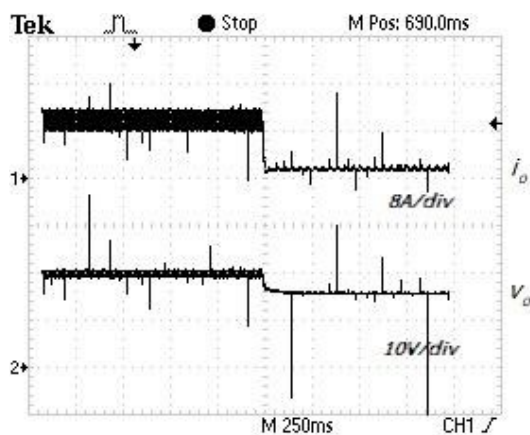
การทดสอบในโหมดแรงดันคงที่ ในการทดสอบสมรรถนะตัวควบคุม จะทำการป้อนค่าแรงดันแหล่งจ่ายในย่าน 18–24 V และทำการรักษาแรงดันเอาต์พุตให้มีค่า 14.6 V มีผลการทดสอบดังรูปที่ 11 พบว่าค่าแรงดันแหล่งจ่ายต่างกันแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าคงที่ที่ 14.6 V ในทุกย่าน ส่วนในรูปที่ 11 (ข) เป็นผลการทดสอบที่ค่ากระแสประจุ 5 A ที่ค่าแรงดันอินพุตมีค่า 20 V แรงดันประจุจะมีค่าประมาณ 14.6 V เมื่อเทียบกับรูปที่ 10 (ก) จะเห็นว่าเมื่อแรงดันอินพุตลดลงความกว้างพัลส์จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในกรณีนี้แรงดันประจุจะมีค่าลดลง



(ก) แรงดันเอาต์พุตเมื่อแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง (ข) กระแสประจุ 5 A เมื่อแรงดันอินพุตมีค่า 20 V

รูปที่ 11 แรงดันและกระแสในโหมดแรงดันคงที่

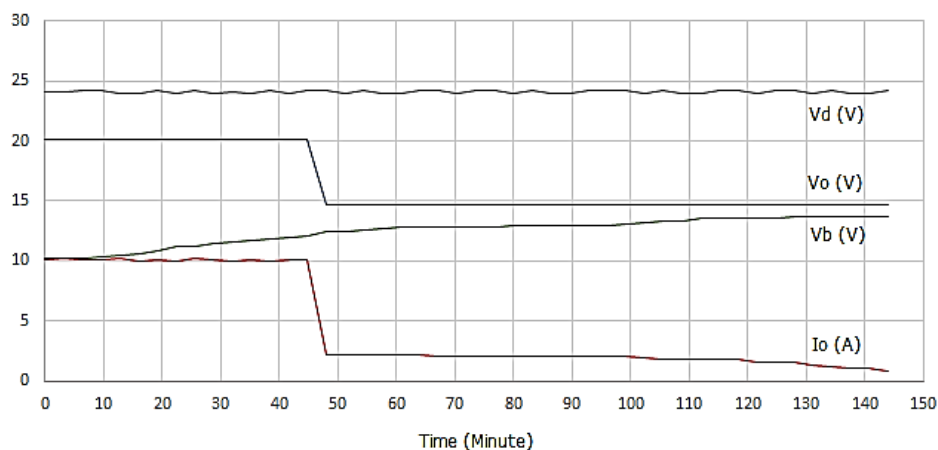
ในการเปลี่ยนโหมดการประจุ จะทำการตรวจสอบแรงดันแบตเตอรี่ถ้าพบว่ามีค่า 12.8 V ซึ่งเทียบกับค่า SOC ประมาณ 70 % (ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการวัดของแบตเตอรี่ลูกที่ใช้ในการทดสอบนี้) ระบบจะทำการเปลี่ยนเป็นโหมดแรงดันคงที่มีผลการทดสอบดังรูปที่ 12 พบว่าโหมดกระแสคงที่มีค่ากระแส 10 A และโหมดแรงดันคงที่จะรักษาแรงดันให้มีค่าคงไว้ที่ 14.6 V มีค่ากระแสประจุประมาณ 2A และกระแสจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อแรงดันแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 12 การเปลี่ยนโหมดจากกระแสคงที่เป็นแรงดันคงที่

4.2 ผลการทดสอบการประจุแบตเตอรี่

การทดสอบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตขนาด 12 V 20 Ah ก่อนการประจุ มีค่าแรงดัน 10.05 V มีค่าสถานะของการประจุ 32 % ในโหมดกระแสคงที่ที่ตั้งค่ากระแสไว้ที่ 10 A และในโหมดแรงดันคงที่ ตั้งค่าแรงดันไว้ที่ 14.6 V มีผลการทดสอบดังรูปที่ 13 พบว่าโหมดกระแสคงที่จะประจุกระแส 10 A ที่แรงดันเฉลี่ย 20 V ใช้เวลาประมาณ 45 นาที จึงเปลี่ยนเป็นโหมดแรงดันคงที่ ในโหมดนี้แรงดันเฉลี่ยจะมีค่า 14.6 V ทำการประจุจนแบตเตอรี่จนมีค่าแรงดัน 14 V มีค่าสถานะของการประจุ 80 % ใช้เวลาทั้งสิ้น 145 นาที มีอุณหภูมิสูงสุดขณะทำการประจุ 38 องศาเซลเซียส โดยเกิดในช่วงของการประจุแบบกระแสคงที่ ในการทดสอบการประจุใช้พลังงานทั้งสิ้น 0.192 kWh ในขณะที่ชุดชาร์จที่ติตรกมาใช้เวลาในการประจุในสถานะการเดียวกันที่เวลา 210 นาที และใช้พลังงาน 0.168 kWh



รูปที่ 13 แรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ขณะทำการประจุ

5. สรุปและอภิปรายผล

การประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตของสกูดเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่ทำงานแบบอัตโนมัติในโหมดกระแสคงที่ และโหมดแรงดันคงที่ ทำการควบคุมด้วยการประยุกต์ใช้หลักการโครงข่ายประสาทเทียมที่เรียนรู้แบบเดลต้า จากการทดสอบใช้งานจริงพบว่า ระบบควบคุมมีความสามารถในการรักษาค่ากระแสและแรงดันให้คงที่ได้ ในการทดสอบการใช้งานจริงกับแบตเตอรี่ขนาด 20 Ah 12 V ที่มีค่าสถานะการประจุต่ำในย่านที่มีความปลอดภัย จนแบตเตอรี่มีสถานะการประจุถึง 80 เปอร์เซ็นต์ เครื่องประจุต้นแบบที่สร้างขึ้นใช้เวลาในการประจุที่เร็วกว่า เครื่องประจุติตรกสกูดเตอร์

ที่ทำงานในโหมดแรงดันคงที่ เป็นเวลาประมาณ 65 นาที แบตเตอรี่มีอุณหภูมิอยู่ในย่านที่ปลอดภัยตลอดการประจุ ใช้พลังงานมากกว่าเครื่องประจุดีครอสทูตเตอร์เล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากแบตเตอรี่ดีครอสทูตเตอร์มีหลายขนาดค่าความจุ และมีค่าสถานะการประจุคงเหลือที่แตกต่างกันตามการใช้งาน ในอนาคตต้องทำการพัฒนาระบบการตรวจสอบและเรียนรู้เหล่านี้เพื่อให้เครื่องประจุมีประสิทธิภาพในการทำงานกับรถได้หลากหลายรุ่น

6. เอกสารอ้างอิง

- Isodor, B., (2017), Batteries In A Portable World, Fast and Ultra-fast Chargers, A Handbook on Rechargeable Batteries for Non-Engineers, Fourth Edition, Cadex Electronics Inc., ISBN-13978-0968211847.
- Brigitte, H., (2015), Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage, Application Report SLVA477B, Copyright © 2011–2015, Texas Instruments Incorporated.
- Faanzir, F., Mochamad A., Soedibyso S., Umar., (2021), Determining the shortest charging time of batteries using SOC set point at constant current – constant voltage mode, PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY, doi:10.15199/48.2021.04.09.
- Heri, S., (2020), Design Li-Po Battery Charger with Buck Converter under Partially CC-CV Method, International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), DOI: 10.1109/ISITIA49792.2020.9163754.
- Mohammad, K. H., and Mohammad, R. I., (2018), Power Stage Design of a Synchronous Buck Converter for Battery Charger Application, International Conference on Advancement in Electrical and Electronic Engineering (ICAEEE), DOI: 10.1109/ICAEEE.2018.8642962.
- Stamatios, V. K. (1996). Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic: Basic Concepts and applications, Wiley-IEEE Press, DOI: 10.1109/9780470546826.ch4.

การประยุกต์ใช้ ChatGPT ปัญญาประดิษฐ์เปลี่ยนโลกการเรียนรู้ อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับห้องเรียนในศตวรรษที่ 21

สุทธิศักดิ์ สุขุมศรี^{1*}

¹ สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
41/1 หมู่ 7 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

*sutthisak@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

ChatGPT เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่ถูกกล่าวถึงมากที่สุดในปี ค.ศ.2022 ต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน ด้วยการเป็นเครื่องมือเพื่อประมวลคำตอบด้วยภาษาธรรมชาติ โดยการพัฒนาจากบริษัท OpenAI ซึ่งในโมเดล GPT-3 นั้นถูกสร้างมาจากชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้มากถึง 175 ล้านพารามิเตอร์ และล่าสุดในโมเดล GPT-4 ที่ใช้ข้อมูลในการสร้างโมเดลภาษามากกว่าหนึ่งร้อยล้านพารามิเตอร์ และด้วยข้อมูลมหาศาลเหล่านี้ทำให้ ChatGPT สามารถให้คำตอบกับผู้ใช้งาน ผ่านการถาม-ตอบที่เรียกว่าพร็อมต์ (Prompt) โดยสามารถรองรับได้หลายภาษา รวมถึงความเข้าใจในข้อมูลที่เป็นรูปภาพอีกด้วย ในบทความวิชาการนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานสำคัญของการประมวลผลภาษา ด้วย Transformer และ RoBERTa ซึ่งเป็นกลไกเบื้องหลัง ChatGPT รวมถึงการประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ผ่านตัวอย่าง และสถานการณ์จำลอง เพื่อสามารถนำไปเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ในห้องเรียนได้ต่อไป

คำสำคัญ ปัญญาประดิษฐ์, การประมวลผลภาษาธรรมชาติ, ChatGPT, BERT, RoBERTa

The Application of ChatGPT, Artificial Intelligence to effectively change the world of learning for the 21st century classroom

Sutthisak Sukhamsri ^{1*}

¹Information Technology, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, 41/1 moo 7 Paholayothin road , Mai Ngam , Muang, Tak, Thailand, 63000

* sutthisak@rmutl.ac.th

Abstract

ChatGPT has been one of the most discussed topics in artificial intelligence technologies in 2022 and up to the present time. It has been used as a chatbot tool that can generate responses through natural language processing which was developed by OpenAI. The GPT-3 model was developed using a learning dataset containing over 175 million parameters. The latest model GPT-4 model was created using the data of more than 100 trillion parameters as a language model. With the large amount of data sets, ChatGPT can formulate responses via Q&A to user requests called 'Prompt' in various languages as well as understanding of infographic images. Thus, this academic article discussed the principles of language processing based on Transformer and RoBERTa models, the essential mechanisms of ChatGPT, included their applications in different areas to improve work efficiency via examples and the simulated situations leading to further enhancing the learning efficiency in the classroom.

Keywords: Artificial Intelligence, Natural Language Processing, ChatGPT, BERT, RoBERTa

1. บทนำ

ปฏิเสธไม่ได้ว่าในช่วงหลังจากปี ค.ศ.2020 เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ได้ถูกพัฒนาในหลากหลายมิติ ซึ่งนับว่าเป็นเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ อย่างยิ่งยวดนับตั้งแต่การกำเนิดของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในทศวรรษที่ 60 Licklider, J. C. R., and Taylor, R. W. (1968). และการขยายตัวของระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในทศวรรษที่ 90 ต่อเนื่องมาจนถึงยุคเครือข่ายสังคมออนไลน์ (Social Network) ในช่วงต้นศตวรรษที่ 21 จากข้อมูลโดย Datareportal ในเดือนมกราคม พ.ศ.2566 Simon Kemp (2023). พบว่ามีผู้ใช้งานเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทั่วโลกกว่า 5,160 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 64.4 ของจำนวนประชากรโลก โดยอัตราการเติบโตที่ร้อยละ 1.9 จากปีก่อนหน้า โดยมีผู้ใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์ มากถึง 4,760 ล้านคน และส่วนใหญ่ถึงร้อยละ 92.3 ได้ใช้งานผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ สมาร์ทโฟน โดยวัตถุประสงค์หลักในการใช้งาน คือเข้าถึงเครือข่ายสังคมออนไลน์ (Social Media) และอินเทอร์เน็ตในปัจจุบัน Atske (2021) คือการสื่อสารและการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างบุคคลและกลุ่มต่างๆ โดยผ่านช่องทางต่างๆ อาทิเช่น เว็บไซต์, แอปพลิเคชัน, และโซเชียลมีเดีย เป็นต้น ซึ่งการใช้เครือข่ายสังคมออนไลน์ และอินเทอร์เน็ตยังช่วยให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลและข่าวสารต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงยังเป็นช่องทางสำหรับการเรียนรู้และการทำงานออนไลน์อีกด้วย

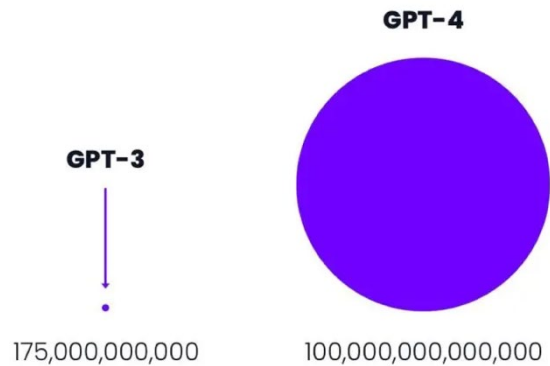
จากพัฒนาการอย่างต่อเนื่องของระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตข้างต้น ทำให้ข้อมูลใหม่ที่เกิดขึ้นในโลกถูกสร้าง นำเข้า และปรากฏอยู่บนเว็บไซต์ต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้ Google เป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยในการค้นหาเนื้อหาผ่านคำค้นสำคัญ (Key Words) Brin and Page (1998). โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 จนถึงปัจจุบัน Google Search Engine นับได้ว่าเป็นวิธีการที่นำไปสู่ความรู้อย่างรอบด้าน ตามที่ปรากฏอยู่บนเว็บไซต์ ออนไลน์วิดีโอ กระจาดานข่าว และเครือข่ายสังคมต่าง ๆ อย่างไรก็ตามการทำงานของ Search Engine ยังคงเป็นการรวบรวม และลำดับความสำคัญของแหล่งข้อมูล ซึ่งผู้ใช้งานยังคงจะต้องเข้าไปทำความเข้าใจ รวมถึงสังเคราะห์ข้อมูลจากผลการค้นหาด้วยตัวเอง

จากการพัฒนาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์อย่างต่อเนื่อง นักวิจัยด้านภาษาได้พัฒนา วิธีการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing : NLP) ตั้งแต่โมเดลในการแปลภาษา (Machine Translation) โมเดลในการเข้าใจบริบทของภาษา (Context Understanding) รวมไปถึงโมเดลในการสร้างประโยค (Generative A.I.) ซึ่งในบทความนี้ จะเป็นการแนะนำ ทำความเข้าใจ และตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน ChatGPT เครื่องมือ

ในการประมวลผลภาษาด้วยการถาม-ตอบ (Question-Answer Based A.I.) โดยในส่วนของสองและสามของบทความจะเป็นการกล่าวถึงภาพรวมของ ChatGPT และเทคนิคเบื้องหลังโมเดลภาษา เพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจหลักการการทำงานของโมเดลภาษา และในส่วนที่สี่จะเป็นการแนะนำวิธีการป้อนคำถามด้วยพรอมต์ (Prompt) เพื่อให้ผู้อ่านทราบข้อจำกัดในการโต้ตอบของระบบ ถัดไปในส่วนที่ห้า จะเป็นตัวอย่างการประยุกต์ใช้ ChatGPT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นผู้ช่วยในการเรียน และในส่วนสุดท้ายจะเป็นบทสรุปของผู้เขียน เกี่ยวกับเทคโนโลยี ChatGPT รวมถึงข้อคิดเห็นที่มีต่อทัศนคติ และความกังวลต่อเทคโนโลยีที่จะส่งผลกระทบต่อวงการการศึกษาอีกด้วย

2. ChatGPT คืออะไร?

ChatGPT เป็นแบบจำลองภาษาใช้งานที่ใช้งานได้ในการสื่อสารโต้ตอบกับผู้ใช้งาน และมีการพัฒนาขึ้นมาจากแบบจำลองภาษาอัตโนมัติชื่อ GPT (Generative Pre-trained Transformer) ซึ่งถูกพัฒนาโดย OpenAI ในปี ค.ศ.2018 ต่อมาในปี ค.ศ.2020 OpenAI ได้นำเสนอ GPT-3 ซึ่งเป็นรุ่นล่าสุดของแบบจำลองภาษาและมีความสามารถในการสร้างข้อความแบบธรรมชาติ (Natural Language) ได้ดีขึ้น โดยมีขนาดของโมเดลถึง 175 พันล้านพารามิเตอร์ ทำให้สามารถสร้างข้อความได้อย่างเป็นธรรมชาติ และมีลักษณะการตอบโต้เหมือนมนุษย์มากขึ้น และในปี ค.ศ. 2022 โมเดล GPT-3.5 ซึ่งเป็นโมเดลที่ใช้ Deep Learning และการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) ในการประมวลคำถาม และคำตอบ ทำให้ ChatGPT สามารถสร้างประโยคและคำตอบที่มีความหมาย โดยสามารถกำหนดบทบาท (role) ของการประมวลคำตอบ เพื่อสร้างบุคลิกภาพ (Persona) เพื่อให้การเรียบเรียงคำตอบมีความจำเพาะมากยิ่งขึ้น และล่าสุดในปี ค.ศ. 2023 โมเดล GPT-4 ได้รับการพัฒนาด้วยชุดข้อมูลกว่า 100 ล้านล้านพารามิเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 1 Abdal Salam (2023). โดยนอกเหนือจากความเข้าใจด้านภาษาแล้ว ใน GPT-4 ยังมีความเข้าใจรูปภาพ และคำถามที่มีความซับซ้อน ทั้งยังเรียบเรียงคำตอบได้ทั้งในรูปแบบตารางข้อมูล และการแก้ไขชุดคำสั่งภาษาคอมพิวเตอร์ โดยในปัจจุบัน GPT-4 เปิดให้เฉพาะผู้ที่ลงทะเบียนและชำระค่าบริการรายเดือนเข้าถึงและใช้งานเท่านั้น

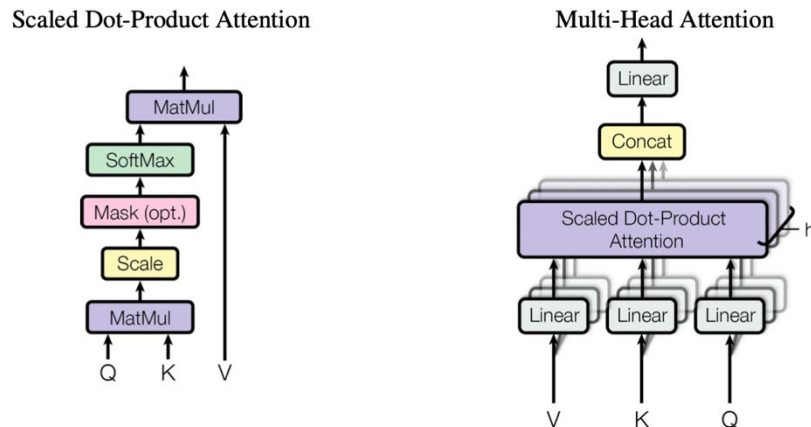


ภาพที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดพารามิเตอร์ของโมเดลภาษา GPT-3 และ GPT-4

3. Transformer และ RoBERTa หัวใจของการสร้างโมเดลทางภาษา

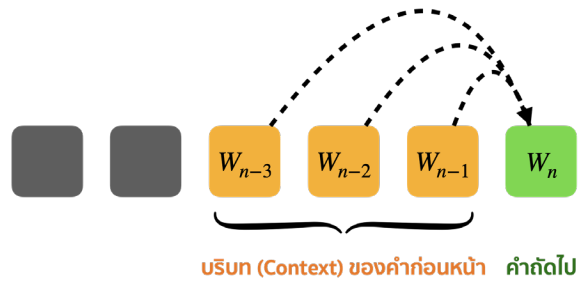
Transformer คือโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้สำหรับประมวลผลภาษาธรรมชาติ ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย Google Brain ในปี ค.ศ. 2017 และได้ถูกนำไปใช้ในโมเดล GPT (Generative Pre-trained Transformer) ที่พัฒนาโดย OpenAI ซึ่งเป็นโมเดลที่ใช้ในการสร้างข้อความอัตโนมัติ โดยจะประมวลผลจากพื้นฐานของการเข้าใจและการแปลงคำภาษาธรรมชาติให้เป็นเวกเตอร์ (Word Embedding) ซึ่งเป็นการคำนวณค่าความน่าจะเป็น (Probability : P) ของคำ (Word : W) กับบริบท (Context : C) ของภาษา ซึ่งอธิบายในรูปแบบความสัมพันธ์ได้ดังนี้ $P(W/C)$ โดยอ้างอิงจากรความสัมพันธ์ของคำที่อยู่ติดกันในประโยค โดยใช้สถาปัตยกรรม Encoder-Decoder และ Attention mechanism ดังแสดงในภาพที่ 2 Vaswani et al., (2017) ซึ่งช่วยให้โมเดลสามารถใช้ข้อมูลป้อนเข้าและข้อความที่เคยเห็นมาก่อน และมีความน่าจะเป็นสัมพันธ์กับบริบทในการทำนายคำได้อย่างแม่นยำ (Self-Attention mechanism) เพื่อเรียนรู้ความสัมพันธ์ของคำที่ป้อนเข้า โดยจะทำการสร้าง คำเป้าหมาย (Query) จากคำตั้งต้น (Key) และ เวกเตอร์ความคล้าย (Value vectors) จากคำที่เข้ามา และนำไปคำนวณ Attention weights เพื่อหาคำที่เกี่ยวข้องมากที่สุดกับคำนั้น ๆ จากนั้นจะนำ Attention weights มาใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ยของ Value vectors เพื่อสร้างเวกเตอร์ผลลัพธ์ ซึ่งเวกเตอร์ความสัมพันธ์ของคำกับบริบทนั้นจะถูกนำมาตัดสินใจเลือกคำที่จะใช้สร้างประโยคที่มีความซับซ้อนโดยใช้ Scaled Dot-Product Attention หลายตัว ซึ่งเรียกว่า Multi-Head Attention

ในการคำนวณ โดยโมเดล GPT-3 นั้นใช้ Multi-Head Attention จำนวน 8 หัว และการสร้างรูปประโยคด้วยโมเดลภาษา (Language Model) จะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 2 แสดงโมเดลสถาปัตยกรรม Encoder-Decoder และ Attention mechanism แบบ Scaled Dot-Product Attention และ สถาปัตยกรรมแบบ Multi-Head Attention

ลักษณะเฉพาะตัวที่สำคัญอย่างหนึ่งในการให้คำตอบของ ChatGPT คือการแสดงคำตอบทีละคำ เหมือนลักษณะการพิมพ์ดีด ซึ่งลักษณะการให้คำตอบในลักษณะนี้เกิดขึ้นจากการใช้โมเดลภาษา (Language Model) โดยการคาดเดาคำที่จะเกิดขึ้นในลำดับถัดไปจากพื้นฐานของ n-grams โมเดล ที่จะคาดการณ์ความน่าจะเป็นในการเกิดคำที่มักพบด้วยกันในบริบทของประโยค หรือบทความเป็นจำนวนคำ n ดังแสดงลักษณะการคาดเดาคำถัดไปจากบริบทของคำที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ ในภาพที่ 3 และมีการคำนวณความน่าจะเป็นของคำถัดไปเมื่อมีการกำหนดจำนวน $n = 3$ หรือเรียกว่า Trigram ในสมการที่ 1 โดย W_{n-1} และ W_{n-2} คือคำที่เกิดขึ้นก่อนหน้าสองลำดับ และ W_n คือคำที่เลือกมาเพื่อหาค่าความสัมพันธ์กับคำที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ โดยมี λ เป็นค่าถ่วงน้ำหนักของลำดับคำในแต่ละช่วงของการเกิดคำก่อนหน้า



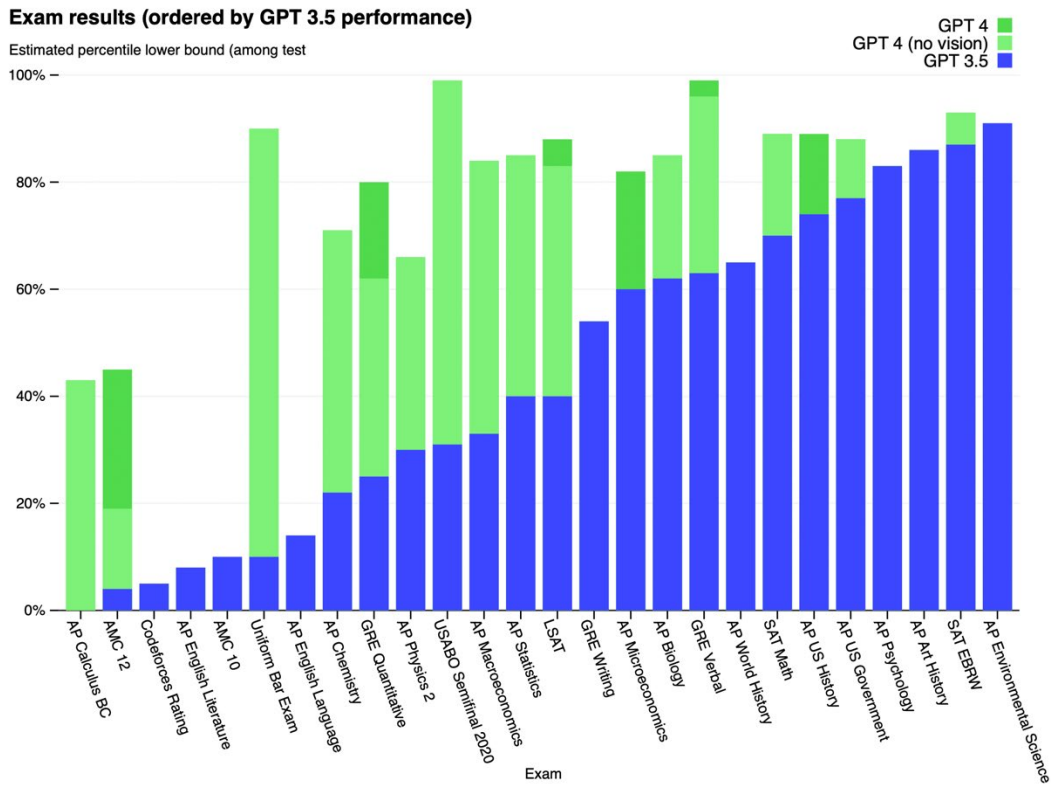
ภาพที่ 3 แสดงการคาดเดาคำถัดไป (Next Word Prediction) โดยการคำนวณความน่าจะเป็นในการเกิดคำที่สัมพันธ์กับบริบท

$$\hat{P}(w_n|w_{n-2}w_{n-1}) = \lambda_1 P(w_n|w_{n-2}w_{n-1}) + \lambda_2 P(w_n|w_{n-1}) + \lambda_3 P(w_n) \quad (1)$$

พื้นฐานของโมเดลภาษาที่ใช้ในการคำนวณผลความน่าจะเป็นก็คือโมเดล BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformer) ซึ่งเป็นโมเดลทางภาษาที่พัฒนาโดย Google ในปี ค.ศ. 2018 Devlin et al., (2018). โดยที่ BERT มีความสามารถในการเข้าใจและวิเคราะห์ประโยคหรือข้อความ ที่มุ่งเน้นการทำความเข้าใจความหมายและความสัมพันธ์ระหว่างคำในประโยค โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม ทำการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) โดยมีวิธีการสร้าง Word Embedding แบบ Contextualized คือการสร้างเวกเตอร์ความสัมพันธ์ กับชุดข้อความที่มีบริบทจำเพาะ โดยมีรูปแบบการเรียนรู้ข้อมูลในสองลักษณะ คือ แบบ Pre-training โดยใช้วิธีการสร้างโมเดลโดยใช้ข้อมูลในการเรียนรู้ อาทิ ข้อมูลจาก Wikipedia ซึ่งประกอบด้วยชุดคำประมาณ 2,500 ล้านคำ และชุดข้อมูลข้อเขียนหนังสือ Book Corpus ที่มีชุดคำประมาณ 800 ล้านคำ ซึ่งจะเป็นการสร้างโมเดลใหม่โดยใช้โครงข่าย Transformer ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น โดยการเปรียบเทียบประโยค 2 ประโยคว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ เรียกว่า Next Sentence Prediction (NSP) และการเรียนรู้ด้วยการปิดบังคำ (Word Masking) ในประโยคเพื่อให้โมเดลทายคำถัดไป และนำไปเปรียบเทียบกับคำจริงที่ถูกซ่อนไว้ เพื่อปรับปรุงโมเดลให้มีความแม่นยำมากขึ้น

ขั้นตอนถัดไปจะเป็นขั้นตอนที่ปรับปรุงลักษณะของรูปประโยคที่ถูกสร้างขึ้น ให้มีความเหมือนการเขียนโดยมนุษย์มากยิ่งขึ้น หรือปรับปรุงโมเดล

ให้สามารถแก้ปัญหาหรือแก้ไขงานต่าง ๆ ที่มีความซับซ้อน และรายละเอียดของการอธิบายความ
ได้ตามต้องการ เรียกว่า Fine-tuning โดยขั้นตอนจะเป็นการแยกประโยค (Sentence Classification)
การจำแนกหมวดหมู่ (Classification) หรือการทำความเข้าใจความหมาย (Semantic
Understanding) เป็นต้น โดยการ Fine-tuning จะเป็นการเรียนรู้โดยมีการสอน (Supervised
Learning) โดยจะใช้ชุดข้อมูลที่มีการประมวลผลแล้ว (Labeled Data) ในการสร้างโมเดลใหม่
โดยใช้โมเดล BERT ที่ผ่านการเรียนรู้ขั้นต้น (pre-training) แล้ว นำมาให้คะแนนของคำตอบ
โดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งโมเดลภาษาที่ถูกพัฒนาต่อจาก BERT และเป็นโมเดลภาษาหลักของ ChatGPT คือ
โมเดล RoBERTa (Robustly Optimized BERT pretraining Approach) พัฒนาโดย Facebook AI
Research (FAIR) Liu et al., (2019) โดยได้เพิ่มขนาดของข้อมูลที่ใช้เรียนรู้คำจากหลากหลายแหล่ง
เช่น BOOKCORPUS, CC-NEWS, OPENWEBTEXT และ STORIES Dataset ซึ่งมีขนาดของข้อมูล
รวมกว่า 16 GB และได้ทำการทดสอบ และประเมินผลของการเข้าใจบริบทโดย GLUE : The General
Language Understanding Evaluation, SquAD : The Stanford Question Answering Dataset
และ RACE : The Reading Comprehension from Examinations ซึ่งสามารถทำคะแนน
ในการทดสอบความเข้าใจของภาษาในการทดสอบต่าง ๆ ได้สูงกว่าร้อยละ 90
และเป็นที่ถูกกล่าวถึงในแวดวงการศึกษา เมื่อโมเดล GPT-4 ได้ทำการทดสอบด้วยข้อสอบ
วัดระดับความรู้ในหลากหลายสาขา และได้ผลคะแนนโดยเฉลี่ยในระดับที่สูง โดยเฉพาะข้อสอบ
ในหมวดความรู้ทั่วไป ประวัติศาสตร์ และชีววิทยา ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงผลร้อยละของคะแนนสอบด้วยข้อสอบในหมวดต่าง ๆ เปรียบเทียบระหว่าง GPT 3.5, GPT-4 (แบบไม่รองรับการประมวลผลภาพ) และ GPT-4

4. การใช้งาน Prompt (Prompt) สื่อสารกับ ChatGPT

ในการใช้งาน ChatGPT สามารถเข้าไปใช้งานผ่านเว็บไซต์ <https://chat.openai.com> โดยทำการลงทะเบียนตามขั้นตอน ซึ่งผู้ใช้ทั่วไปจะสามารถใช้งานโมเดลภาษา GPT-3.5 ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย ส่วนผู้ที่ชำระค่าบริการรายเดือนจำนวน \$20 เหรียญสหรัฐอเมริกา สามารถใช้งานโมเดลภาษา GPT-4 ได้ อย่างไรก็ตาม การใช้งาน Prompt สามารถใช้งานได้เช่นเดียวกันทั้งบน GPT-3.5 และ GPT-4 แต่ผลลัพธ์ของคำตอบจาก GPT-4 จะมีความละเอียดกว่า ทันสมัยกว่า และสามารถให้คำตอบขนาดยาวกว่าได้ โดยในตารางที่ 1 จะเป็นตัวอย่างลักษณะการใช้งาน Prompt ที่นิยมใช้กับ ChatGPT ทั้งภาษาอังกฤษ และภาษาไทย Shuster et al., (2021)

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะการใช้งาน และตัวอย่างการใช้พรอมต์เพื่อผลลัพธ์ในลักษณะต่าง ๆ โดยตัวหนาคือคำสำคัญในการสร้างพรอมต์

ลักษณะการใช้งาน	พรอมต์ (Prompt)	
ใช้เพื่อขอความเห็น (Brainstorming)	What are some key points I should know when studying I.T.? อะไรคือ ประเด็นสำคัญในการเรียนสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ	
ใช้เพื่อสร้างข้อความ (Generation)	Here's a message to me: " " "	นี่คือ e-mail ที่ฉันได้รับ " " "
โดยการให้ข้อมูลกับ ChatGPT	{email} " " "	{ข้อความ} " " "
ภายใต้เครื่องหมายอัญประกาศ (Triple Quote) " " "	Here are some bullet points for a reply: " " " {message} " " "	และนี่คือประเด็นที่ต้องการให้ตอบ " " " {ประเด็นที่ต้องการ} " " "
คำถามปลายปิด (Closed-ended questions)	What shape is the earth? A) A circle B) A sphere C) An ellipse D) A plane	โลกมีลักษณะอย่างไร? ก. เป็นวงกลม ข. เป็นทรงกลม ค. เป็นวงรี ง. เป็นแผ่น
คำถามปลายเปิด (Open-ended questions)	Who built the statue of liberty? ใคร เป็นผู้สร้างเทพีเสรีภาพ?	หรือการใช้การขึ้นต้นคำถามในลักษณะ W-H Question
กำหนดบทบาท (Role)	Act as {role}	กำหนดให้เป็น {บทบาทที่ต้องการ}

5. การใช้ใช้งาน ChatGPT Prompt สำหรับการเรียนการสอน

5.1 เป็นผู้ช่วยในการเรียนรู้ด้วยตัวเอง (Personalized Learning) โดย ChatGPT จะสามารถให้คำแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับเนื้อหาการเรียนรู้ และช่วยสอนการเรียนรู้ให้ตรงกับความต้องการและระดับความเข้าใจของผู้ใช้งานแต่ละคน ผ่านการกำหนดบทบาท (Role) เพื่อการให้คำตอบเหมาะสมกับผู้ใช้งาน เช่น

Prompt: กำหนดให้เป็นครูระดับประถมศึกษา อธิบายการหา ห.ร.ม. ของ 28 76 และ 168

Prompt: generate python code for sending image and text with LINE API

ซึ่งคำตอบที่ได้จาก ChatGPT จะอธิบายวิธีการหาคำตอบโดยสังเขป ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้การถามตอบอย่างละเอียดมากขึ้นได้โดยเน้นถามในจุดที่สนใจ หรือ Keywords จากคำตอบที่ได้ก่อนหน้านี้ เนื่องจาก ChatGPT จะให้คำตอบที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่ได้ถาม-ตอบ ก่อนหน้า ดังนั้นถ้าจะเปลี่ยนประเด็นควรทำการสร้างการสนทนาใหม่ หรือ New chat เพื่อกำหนดบทบาทที่มีความเจาะจง ได้เหมาะสมตามวัตถุประสงค์

5.2 ช่วยในการเรียนรู้ภาษา (Language Learning and AI Writing Assistants)

จากที่ได้กล่าวไปข้างต้นแล้วว่า ChatGPT ถูก Train ด้วยโมเดลภาษาจากข้อเขียน และบทความจำนวนมาก ดังนั้นการใช้ ChatGPT เพื่อช่วยตรวจสอบ และฝึกทักษะการเขียน และเรียบเรียงบทความจากภาษาอังกฤษไปยังภาษาอื่น ๆ หรือจากภาษาอื่น ๆ เป็นภาษาอังกฤษได้ โดยใช้ Prompt เช่น การเรียบเรียงข้อความด้วย Rewrite หรือการเป็นผู้ช่วยฝึกฝนทักษะในการแปลข้อความด้วย Translate this article from {language} to {language}

Prompt: Rewrite the following text to be more formal “” {Text} “”

Prompt: แปลข้อความต่อไปนี้ “” {ข้อความ} “” ให้เป็นลักษณะบทความวิชาการภาษาอังกฤษ

5.3 เป็นเครื่องมือในการสร้างโจทย์ และแบบฝึกหัด (Adaptive Testing)

จากความสามารถ และการถูกทดสอบด้วยแบบทดสอบที่หลากหลาย โดยการกำหนดรูปแบบของคำตอบ และขอบเขตของเนื้อหาที่ต้องการสร้างแบบฝึกหัด เช่น

Prompt: สร้างโจทย์ พร้อมตัวเลือกจำนวน 4 ตัวเลือก เกี่ยวกับระบบเครือข่ายแบบต่าง ๆ

6. บทสรุป

จากที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดในบทความนี้ จะเห็นได้ว่าแท้ที่จริงแล้ว ChatGPT นั้นคือโมเดลภาษาที่ได้เรียนรู้จากคลังข้อมูลทางภาษา บทความ และข้อเขียนของมนุษย์ที่เคยเขียนมาแล้วทั้งสิ้น จึงทำให้การคาดเดาคำตอบสามารถให้ผลที่ดีได้ในหลากหลายองค์ความรู้ ดังนั้นการใช้ ChatGPT ให้เกิดประโยชน์นั้น คือการใช้เป็นผู้ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยที่มีผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดบทบาท และกรอบของความรู้ อย่างไรก็ตามบทความวิชาการนี้เป็นจุดเริ่มต้นให้ผู้อ่าน ได้เข้าใจหลักการการทำงาน และการประยุกต์ใช้เบื้องต้นเท่านั้น โดยเป้าประสงค์ของบทความนี้ยังสนับสนุนการขยายขอบเขตของการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคตในหลากหลายประเด็น อาทิ การวัดความสามารถของ ChatGPT ด้วยการทำข้อสอบในระดับต่าง ๆ, การใช้ ChatGPT สร้างข้อเขียนตามบุคลิก (Personality Traits) ที่คล้ายการโต้ตอบของมนุษย์ หรือ การใช้ ChatGPT เพื่อการตรวจสอบ (Debugging) โค้ดภาษาคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

7. เอกสารอ้างอิง

- Licklider, J. C. R., & Taylor, R. W. (1968). The computer as a communication device. *Science and Technology*, 76(2), 21-31.
- Simon Kemp (2023). *Digital 2023: Global Overview Report & DataReportal – Global Digital Insights*. (2023, January 26). DataReportal – Global Digital Insights. <https://datareportal.com/reports/digital-2023-global-overview-report>
- Atske, S. (2021, April 7). *Social Media Use in 2021*. Pew Research Center: Internet, Science & Tech. <https://pewresearch-org-preprod.go-vip.co/internet/2021/04/07/social-media-use-in-2021/>
- Brin, S., & Page, L. (1998). The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. *Computer Networks and ISDN Systems*, 30(1-7), 107-117.
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł. & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems* (p./pp. 5998–6008).
- Abdalslam (2023, February 20). *ChatGpt 4 : Everything you need to know about it - Abdalslam*. Abdalslam. <https://abdalslam.com/what-is-chatgpt>

- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K. & Toutanova, K. (2018). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding (cite arxiv:1810.04805)
- Liu, Y., Ott, M., Goyal, N., Du, J., Joshi, M., Chen, D., ... & Zettlemoyer, L. (2019). RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach. arXiv preprint arXiv:1907.11692.
- Shuster, K., Chang, A., Zhang, M., & Manning, C. D. (2021). Training language models to follow instructions with human feedback. arXiv preprint arXiv:2104.08691.

**การปรับปรุงขั้นตอนระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาหมู่บ้าน
ด้วยหลักการ ECRS กรณีศึกษา หมู่บ้านสันป่าสัก หมู่ที่ 2 (กลุ่มที่ 1)
ตำบลหนองแฝก อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่**

ชติพงษ์ จิโนสุต^{1*} และวิวัฒน์ สิงใส²

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
128 ถนนห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

*E-mail: khattipong@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยการปรับปรุงขั้นตอนระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาหมู่บ้านด้วยหลักการ ECRS กรณีศึกษา หมู่บ้านสันป่าสัก หมู่ที่ 2 (กลุ่มที่ 1) ตำบลหนองแฝก อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 100 หลังคาเรือน พบปัญหาจากวิธีการทำงานเดิมคือ เกิดความผิดพลาดของข้อมูล และความล่าช้าในขั้นตอนการป้อนข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ จากปัญหารายชื่อผู้ใช้ น้ำประปาที่จัดบันทึกไม่ตรงกับข้อมูลรายชื่อในคอมพิวเตอร์ และเกี่ยวกับการอ่านลายมือไม่ออกหรือไม่ชัดเจน จนเป็นเหตุทำให้เกิดการโต้เถียงขัดแย้งกัน ผู้วิจัยจึงใช้แบบประเมินเพื่อให้ทราบถึงระดับความสำคัญของปัญหา จากนั้นจึงใช้หลักการ ECRS เพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหามีระดับความสำคัญเร่งด่วน ได้แก่ ปัญหาในการค้นหารายชื่อผู้ใช้ น้ำ, ปัญหาการป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์, ปัญหาการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล จากการป้อนในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้วิจัยได้แนวทางการแก้ไขปัญหา โดยการใช้ป้ายหมายเลขลำดับของผู้ใช้น้ำติดที่ตัวมิเตอร์น้ำประปา ใช้ตารางบันทึกเลขมิเตอร์ การใช้น้ำประปา และการค้นหาข้อมูลผู้ใช้ น้ำประปาโดยหมายเลขลำดับแทนการทำงานแบบเดิม โดยหลังจากการปรับปรุงพบว่า สามารถลดความผิดพลาดของข้อมูล ไม่เกิดความขัดแย้งในการทำงาน และทำให้เวลาที่ใช้ในการทำงานของขั้นตอนการบันทึกเลขมิเตอร์น้ำประปา การป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์ และการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจากการป้อน ในคอมพิวเตอร์ลดลง ทำให้เวลาที่ใช้ในการทำงานการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาหมู่บ้านสันป่าสัก หมู่ที่ 2 (กลุ่มที่ 1) ตำบลหนองแฝก อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ ลดลงเหลือ 169 นาที (2 ชั่วโมง 49 นาที) จากเดิมใช้เวลา 197 นาที (3 ชั่วโมง 17 นาที) ซึ่งสามารถลดเวลาลงได้ 28 นาที คิดเป็นร้อยละ 14.21

คำสำคัญ หลักการ ECRS, น้ำประปาหมู่บ้าน

The Improvement of a process for the village water supply fee system using the ECRS principle A case study of SanpaSak Village, Moo 2 (Group 1), Nong Fag Sub-district, Saraphi District, Chiang Mai Province.

Khattipong Jinosuwat^{1*} and Wiwat Singjai²

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Lanna
128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

E-mail: khattipong@rmutl.ac.th*

Abstract

The Research of Improving the water service billing system in a village using ECRS: A case study of Sanpasak Village, Moo 2 (Group 1), Nong Fag Sub-district, Saraphi District, Chiang Mai Province was performed with 100 households. As for the traditional operation, the problems found were data errors and delays in the process of input data into the computer, for example; the list of users recorded mismatched the list in the computer, and an unclear reading handwriting caused controversy. The researcher therefore used a rating scale to determine the level of importance of the problem. Then, ECRS principles were applied to find solutions for urgent problems including user data searching, inputting the water consumption data to the computer system, and verifying the correctness of data entered in a computer program. The researcher found ways to resolve problems such as using a water users list number tag that was attached to the water meter, Recording list table, using water users list number matching method in all processes instead of the traditional operation. After the improvement, it was found that data errors and conflicts in work, the time spent in the process of recording water meter numbers input to the computer, and checking the accuracy of data input to the computer were reduced.

As a result, the working time for collecting water supply fees for Sanpasak Village, Moo. 2 (Group 1), Nong Fag sub-district, Saraphi district, Chiang Mai, was reduced to 169 minutes (2 hours 49 minutes) from the original time of 197 minutes (3 hours 17 minutes) which can reduce the working time by 28 minutes, equivalent to 14.21%.

Keywords : Principles of ECRS, village water supply

1. บทนำ

ระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาหมู่บ้านเป็นกระบวนการทำงานเพื่อสรุปค่าใช้จ่ายจากการใช้น้ำประปาของแต่ละหลังคาเรือนในหมู่บ้าน โดยมีกระบวนการทำงานเป็นลำดับขั้นตอน ประกอบด้วยการเตรียมอุปกรณ์ (สมุด ปากกา) เดินทางไปยังจุดติดตั้งมิเตอร์ของแต่ละหลังคาเรือน อ่านเลขมิเตอร์น้ำประปา บันทึกชื่อผู้ใช้น้ำประปาและเลขมิเตอร์การใช้น้ำ ประปาในสมุดจนครบทุกหลังคาเรือน ป้อนข้อมูลเลขมิเตอร์น้ำประปาในคอมพิวเตอร์ ตรวจสอบเลขมิเตอร์จากการป้อนข้อมูล ประมวลผลและสรุปข้อมูล ตรวจสอบการประมวลผล ข้อมูลพิมพ์ใบเสร็จรับเงิน แล้วนำไปเรียกเก็บกับสมาชิกผู้ใช้น้ำประปาตามปริมาณ การใช้น้ำของแต่ละหลังคาเรือน ในกระบวนการทำงานนั้นพบปัญหาหลักจากการทำงาน คือ การเขียนชื่อของผู้ใช้น้ำประปามีบางรายเขียนชื่อจริง หรือบางรายเขียนเป็นชื่อเล่น หรือชื่อเรียกที่คุ้นเคยกันของผู้ใช้น้ำประปาลงในสมุด เมื่อถึงขั้นตอนการป้อนเลขมิเตอร์การใช้น้ำในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผู้ทำหน้าที่ ป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์จะพบปัญหาคือ ชื่อที่เขียนจากการจดบันทึกเลขมิเตอร์กับรายชื่อผู้ใช้น้ำประปาในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไม่ตรงกัน หรือการอ่านลายมือผู้บันทึกเลขมิเตอร์ไม่ออก ทำให้เกิดความล่าช้าในการป้อนข้อมูลเกิดความเข้าใจผิดและความขัดแย้งกันในกลุ่มผู้ทำงาน ส่งผลให้กระบวนการของระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาล่าช้า จึงได้นำหลักการ ECRS มาใช้เพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาหมู่บ้าน ของหมู่บ้านสันป่าสัก หมู่ที่ 2 (กลุ่มที่ 1) ตำบลหนองแฝก อำเภอสรรภี จังหวัดเชียงใหม่

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการทำงานระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาหมู่บ้านของหมู่บ้านสันป่าสัก หมู่ที่ 2 (กลุ่มที่ 1) ตำบลหนองแฝก อำเภอสรรภี จังหวัดเชียงใหม่ มีความถูกต้องของข้อมูล ลดความเข้าใจผิดและความขัดแย้งกันในกลุ่มผู้ทำงาน และทำให้การทำงานมีความสะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น โดยมีประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือได้แนวทางการปฏิบัติงานของระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาหมู่บ้าน ของหมู่บ้านสันป่าสัก

หมู่ที่ 2 (กลุ่มที่ 1) ตำบลหนองแฝก อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ มีวิธีการทำงานที่มีความสะดวกรวดเร็ว ข้อมูลที่ถูกต้อง และลดความขัดแย้งในกลุ่มผู้ทำงาน

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการ ECRS

ECRS เป็นหลักการที่ประกอบด้วยการกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) ซึ่งเป็นหลักการง่าย ๆ ที่สามารถใช้ในการเริ่มต้นลดความสูญเปล่าหรือ MUDA ลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1) การกำจัด (Eliminate) คือการพิจารณาการทำงานปัจจุบันและพยายามกำจัดความสูญเปล่าทั้ง 7 ประการที่พบออกไป คือการผลิตมากเกินไป การรอคอย การเคลื่อนที่/เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น การทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์ การเก็บสินค้าที่มากเกินไป และของเสีย

2) การรวมกัน (Combine) คือการพิจารณาว่าสามารถรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้หรือไม่เช่น จากเดิมเคยทำ 5 ขั้นตอน รวมบางขั้นตอนเข้าด้วยกัน ทำให้ขั้นตอนที่ต้องทำลดลง

3) การจัดใหม่ (Rearrange) คือ การจัดขั้นตอนการผลิต และบริการใหม่ เพื่อให้ลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น หรือ การรอคอย เช่นในกระบวนการผลิต หากทำการสลับขั้นตอนที่ 2 กับ 3 โดยทำขั้นตอนที่ 3 ก่อน 2 จะทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ลดลง เป็นต้น

4) การทำให้ง่าย (Simplify) หมายถึง การจัดรูปแบบของเอกสารให้เข้าใจง่าย และสะดวกเหมาะสมกับการใช้งาน หรือเป็นการปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยอาจจะออกแบบจิ๊ก (Jig) หรือฟิกเจอร์ (Fixture) เข้าช่วยในการทำงานเพื่อให้การทำงานสะดวกและแม่นยำขึ้น ซึ่งสามารถลดของเสียลงได้ จึงเป็นการลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น และลดการทำงานที่ไม่จำเป็น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มงคล กิตติญาณขจร[1] ได้ทำการวิจัยการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต ถั่วลิสงคั่วทรายโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดสมดุลการผลิต และหลักการ ECRS จากการศึกษาพบว่าใช้เวลาการทำงานที่สูญเปล่าจากขั้นตอนการกรอกถั่วลิสงสูงที่สุดและมีสาเหตุหลักจากการขาดขั้นตอนการทำงานที่เป็นมาตรฐาน ดังนั้นหลังจากการนำแนวทางการปรับปรุงด้วยการจัดสมดุลสายการผลิต และจัดเรียงงานใหม่ การรวมงานเข้าด้วยกันสามารถทำให้เวลาที่สูญเปล่าในขั้นตอนการบรรจุถั่วลิสงคั่วทรายลดลง 5.41 วินาที จาก 21.01

วินาที เหลือ 15.60 วินาที โดยคิดเป็นร้อยละ 26 จากเวลาเดิมโดยสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 60 ถังต่อวัน และลดพนักงานในขั้นตอนการกรอกแก้วลงได้ 1 คน

โชติรส นพพลกรัง และพรทิศา ถามะพันธ์[2] ได้ศึกษาวิจัยการลดระยะเวลา และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด : กรณีศึกษา โรงงานสหกรณ์การเกษตรยางชุมน้อย จำกัด อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ โดยใช้หลักการ ECRS และหลักการ 5W1H เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยผลการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่า สามารถลดขั้นตอนจากเดิม 14 ขั้นตอน ลดลงเหลือ 11 ขั้นตอน ซึ่งลดลงร้อยละ 21.43 และสามารถลดระยะเวลาการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดจากเดิม 247.77 วินาทีต่อการผลิตน้ำดื่ม 12 ขวด ลดลงเหลือ 207.79 วินาทีต่อการผลิตน้ำดื่ม 12 ขวด ลดลงร้อยละ 16.14

นันทพันธ์ กนกศิริจุจิษรา สารทิตย สีนิลพันธ์ และ สุธาสินี ราชบุตร[3] ได้ศึกษาวิจัยการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HDD) โดยเทคนิค ECRS เพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อลดการไหลของงานที่ไม่จำเป็น การรวมงานที่คล้ายกันเข้าด้วยกัน โดยผลการปรับปรุง พบว่าสามารถลดจำนวนพนักงานจาก 5 คน เหลือ 3 คน เวลาการว่างงานลดลงจาก 5,463 วินาที/ล็อต เหลือ 1,597 วินาที/ล็อต คิดเป็นร้อยละ 70.6 ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มจากร้อยละ 42 เป็นร้อยละ 83 คิดเป็นร้อยละ 41

ศิริรัตน์ ชูติชูเดชและ ปฐมพงศ์ วิริยะอุดมชาติ[4] ได้ศึกษาวิจัยการปรับปรุง กระบวนการทดสอบวงจรขยาย LMX324 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงขั้นตอน การทดสอบวงจรขยายของกระบวนการผลิตวงจรขยายรุ่น LMX324 โดยการปรับปรุง ในภาพรวมสามารถลดเวลาการทดสอบได้ถึงร้อยละ 58.8 เพื่อให้เกิดความมั่นใจกับขั้นตอน การทดสอบใหม่ ผลที่ได้จากขั้นตอนใหม่ถูกเปรียบเทียบกับขั้นตอนเดิมโดยใช้วิธี GR&R พบว่าค่าการทดสอบที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 5 อย่างเป็นที่น่าพอใจ

จิรกาล กัลยาโพธิ์ และจิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์[5] ได้ศึกษาวิจัยการลดความสูญเปล่า ในกระบวนการผลิตยางรองล้อรถยนต์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความสูญเปล่า ในกระบวนการผลิตยางรองล้อรถยนต์โดยประยุกต์ใช้เทคนิค 5S และเทคนิคที่เกี่ยวข้องเช่น หลักการ ECRS และการตั้งคำถาม 5W1H และผลการปรับปรุงสามารถลดกิจกรรม ที่ไม่เพิ่มมูลค่าจาก 19 กิจกรรม เหลือ 0 กิจกรรม ส่งผลให้ขั้นตอนก่อนการปรับปรุง 119 ขั้นตอน ลดลงเหลือ 88 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 26 สามารถลดเวลาที่ใช้ในการผลิตเหลือ 2,965 วินาที จาก 4,016 วินาที คิดเป็นร้อยละ 26 และสามารถลดระยะทางที่ใช้ในการขนส่ง หรือเคลื่อนย้ายวัตถุดิบเหลือ 19.2 เมตร จาก 192.9 เมตร คิดเป็นร้อยละ 91

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยการปรับปรุงขั้นตอนระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาหมู่บ้านด้วยหลักการ ECRS กรณีศึกษา หมู่บ้านสันป่าสัก หมู่ที่ 2 (กลุ่มที่ 1) ตำบลหนองแฝก อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ มีการดำเนินการวิจัยเป็นขั้นตอนดังนี้

3.1 ศึกษาการทำงานการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปา

การจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาของหมู่บ้านสันป่าสัก หมู่ที่ 2 (กลุ่มที่ 1) ตำบลหนองแฝก อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ ใช้วิธีการบันทึกรายชื่อผู้ใช้ น้ำประปา และเลขมิเตอร์น้ำประปาด้วยการเขียนในสมุดบันทึก โดยมีรายละเอียดขั้นตอนและระยะเวลาในการทำงานตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เวลาการทำงานก่อนการปรับปรุง

ลำดับที่	ขั้นตอน	เวลาเฉลี่ย(นาที)
1	เตรียมอุปกรณ์ (สมุด ปากกา)	5
2	เดินทาง	90
3	อ่านเลขมิเตอร์น้ำประปา	9
4	บันทึกเลขมิเตอร์น้ำประปา	13
5	ป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์	35
6	ตรวจสอบเลขมิเตอร์จากการป้อนข้อมูล	20
7	ประมวลผล และสรุปข้อมูล	3
8	ตรวจสอบการประมวลผลข้อมูล	2
9	พิมพ์ใบเสร็จ	20
รวม		197

จากตารางที่ 3.1 ขั้นตอนระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปา มีทั้งหมด 9 ขั้นตอน โดยใช้เวลาในการทำงานทั้งสิ้น 197 นาที หรือคิดเป็น 3 ชั่วโมง 17 นาที

3.2 วิเคราะห์ปัญหา

เพื่อให้ทราบถึงระดับความสำคัญของปัญหา ผู้วิจัยได้ทำแบบประเมินให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกิจการน้ำประปา จำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินคะแนนของแต่ละปัญหา

แล้วนำคะแนนมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาและวางแผนเพื่อทำการแก้ไข โดยมีหัวข้อปัญหาดังนี้

1. ปัญหาความรู้เกี่ยวกับการอ่านมิเตอร์น้ำประปา (A1)
2. ปัญหาความยุ่งยากในการเข้าถึงมิเตอร์น้ำประปา (A2)
3. ปัญหาความชัดเจนของตัวเลขมิเตอร์น้ำประปา (A3)
4. ปัญหาในการค้นหารายชื่อผู้ใช้ใช้น้ำประปา (A4)
5. ปัญหาในการบันทึกตัวเลขมิเตอร์น้ำประปา (A5)
6. ปัญหาการป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์(A6)
7. ปัญหาการประมวลผล (A7)
8. ปัญหาการออกใบเสร็จรับเงิน (A8)
9. ปัญหาการเก็บค่าน้ำประปา (A9)
10. ปัญหาการสรุปค่าน้ำประปา (A10)

โดยการให้คะแนนในแบบประเมิน มีเงื่อนไขในการกำหนดความหมายของแต่ละระดับคะแนนดังนี้

- ค่าเฉลี่ย 0.00 – 1.00 หมายถึง ไม่มีผลกระทบต่อการทำงาน
ค่าเฉลี่ย 1.01 – 2.00 หมายถึง ไม่มีความจำเป็นต้องปรับปรุง
ค่าเฉลี่ย 2.01 – 3.00 หมายถึง ต้องปรับปรุง
ค่าเฉลี่ย 3.01 – 4.00 หมายถึง จำเป็นต้องปรับปรุง
ค่าเฉลี่ย 4.01 – 5.00 หมายถึง ต้องปรับปรุงอย่างเร่งด่วน

ซึ่งจากการทำแบบประเมินของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกิจการน้ำประปาหมู่บ้านสันป่าสัก หมู่ที่ 2 กลุ่มที่ 1 ตำบลหนองแฝก อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีผลของแบบประเมินดังในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ผลการประเมินปัญหาในการทำงาน

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
A1	5	2	3	2.50	0.55
A2	5	3	4	3.33	0.52
A3	5	3	4	3.83	0.41
A4	5	4	5	4.83	0.41
A5	5	4	5	4.50	0.55
A6	5	4	5	4.67	0.52
A7	5	3	4	3.67	0.52
A8	5	3	4	3.33	0.52
A9	5	2	3	2.67	0.52
A10	5	3	5	4.00	0.63

จากตารางที่ 3.2 สามารถนำคะแนนในแต่ละข้อมาเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยจะมีผลลัพธ์ดังนี้ ลำดับที่ 1 ปัญหาในการค้นหารายชื่อผู้ใช้น้ำ(A4) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาคือ 4.83 ลำดับที่ 2 ปัญหาการป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์(A6) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาคือ 4.67 ลำดับที่ 3 ปัญหาในการบันทึกตัวเลขมิเตอร์(A5) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาคือ 4.50 ลำดับที่ 4 ปัญหาการสรุปค่าน้ำประปา (A10) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาคือ 4.00 ลำดับที่ 5 ปัญหาความชัดเจนของตัวเลขมิเตอร์น้ำประปา (A3) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาคือ 3.83 ลำดับที่ 6 ปัญหาการประมวลผล(A7) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาคือ 3.67 ลำดับที่ 7 ปัญหาความยุ่งยากในการเข้าถึงมิเตอร์(A2) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาคือ 3.33 ลำดับที่ 8 ปัญหาการออกใบเสร็จรับเงิน (A8) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาคือ 3.33 ลำดับที่ 9 ปัญหาการเก็บค่าน้ำประปา(A9) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาคือ 2.67 และลำดับที่ 10 ปัญหาความรู้เกี่ยวกับการอ่านมิเตอร์น้ำประปา(A1) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาน้อยที่สุดอยู่ที่ 2.50

3.3 การหาแนวทางแก้ไขปัญหา

จากการเรียงลำดับของปัญหาพบว่าปัญหาที่มีคะแนนอยู่ในระดับที่ต้องปรับปรุงอย่างเร่งด่วนถึง 3 รายการได้แก่ ลำดับที่ 1 ปัญหาในการค้นหารายชื่อผู้ใช้น้ำ(A4) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาล่าสุดอยู่ที่ 4.83 ลำดับที่ 2 ปัญหาการป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์(A6) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาล่าสุดอยู่ที่ 4.67 ลำดับที่ 3 ปัญหาในการบันทึกตัวเลขมิเตอร์ (A5) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาล่าสุดอยู่ที่ 4.50

ผู้วิจัยจึงนำหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้เพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหาลำดับที่ 1 ลำดับที่ 2 และลำดับที่ 3 โดยอ้างอิงจากวิธีการทำงานแบบเดิม มีรายละเอียดการหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหาดังตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาด้วยหลักการ ECRS

ขั้นตอน	สัญลักษณ์	การแก้ไขปัญหา
เตรียมอุปกรณ์ (ปากกา, ตารางรายชื่อผู้ใช้น้ำ)	S	ตารางรายชื่อผู้ใช้น้ำแทนสมุดบันทึก
เดินทาง	-	-
อ่านเลขมิเตอร์น้ำประปา	-	-
บันทึกเลขมิเตอร์น้ำประปา (ปัญหาในการบันทึกตัวเลขมิเตอร์ A5) (ปัญหาในการค้นหารายชื่อผู้ใช้น้ำ น้ำประปา A4)	S	ใช้ตารางรายชื่อผู้ใช้น้ำ และค้นหาชื่อ ผู้ใช้น้ำจากเลขลำดับในตาราง ที่ตรง ตามป้ายหมายเลขที่ผูกติดกับมิเตอร์ น้ำประปา
ป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์ (ปัญหาการป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์ A6 ที่สืบเนื่องจาก ปัญหาการบันทึกเลขมิเตอร์ A5)	S	ป้อนข้อมูลเลขมิเตอร์การใช้น้ำประปา ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ตาม ลำดับหมายเลขในตารางรายชื่อผู้ ใช้น้ำประปาที่บันทึกมา
ตรวจสอบเลขมิเตอร์จากการป้อนข้อมูล (ปัญหาในการค้นหารายชื่อผู้ใช้น้ำประ ปา A4)	S	ใช้เลขลำดับรายชื่อในการอ้างอิง ข้อมูล
ประมวลผล และสรุปข้อมูล	-	-
ตรวจสอบการประมวลผลข้อมูล	-	-
พิมพ์ใบเสร็จ	-	-

การหาแนวทางแก้ไขปัญหาจากตารางที่ 3.3 ผู้วิจัยทำการปรับปรุงวิธีการทำงานด้วยการทำให้ง่ายขึ้น (Simplify) เพื่อให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้นในการทำงาน โดยสรุปได้ 3 ประเด็นดังนี้

1. ติดป้ายหมายเลขลำดับของผู้ใช้น้ำที่ตัวมิเตอร์น้ำประปาทุกตัว ดังรูปที่ 3.1
2. เปลี่ยนวิธีการบันทึกข้อมูลจากการเขียนชื่อผู้ใช้น้ำประปาและเลขมิเตอร์การใช้น้ำลงในสมุดบันทึก เป็นการเขียนเฉพาะข้อมูลตัวเลขมิเตอร์การใช้น้ำลงในตารางรายชื่อสำหรับบันทึกเลขมิเตอร์การใช้น้ำประปา ดังรูปที่ 3.2 โดยข้อมูลรายชื่อ นามสกุล ใช้ข้อมูลชื่อจริงตามที่ระบุในทะเบียนราษฎร



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการติดป้ายหมายเลขผู้ใช้น้ำประปา

ตารางบันทึกเลขมิเตอร์น้ำประปา

เดือน มีนาคม 2566

ลำดับที่	ชื่อ	สกุล	เลขมิเตอร์
21	อำพร		
22	วิชัย		
23	กอบแก้ว		
24	พิมพ์		
25	สุทัศน์		
26	นิพรรณ		
27	พองจันทร์		
28	อุไร		

ขอสงวนสิทธิ์ในนามของเทศบาลเมือง

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างตารางบันทึกเลขมิเตอร์น้ำประปา

3. เปลี่ยนวิธีการค้นหารายชื่อผู้ใช้น้ำประปาในตารางบันทึก เป็นการค้นหาด้วยหมายเลขของผู้ใช้น้ำประปาที่ตรงกับเลขในป้ายที่ผูกติดกับตัวมิเตอร์น้ำประปา โดยจะมีผลกับขั้นตอนการบันทึกเลขมิเตอร์ การป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์ และการตรวจสอบความถูกต้องเลขมิเตอร์น้ำประปาจากการป้อนข้อมูล

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

ปัญหาของระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปา ของหมู่บ้านสันป่าสัก หมู่ที่ 2 (กลุ่มที่ 1) ตำบลหนองแฝก อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ จากการทำแบบประเมินเพื่อให้ทราบถึงระดับความสำคัญของปัญหาและค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาระดับที่พบคือ ลำดับที่ 1 ปัญหาในการค้นหารายชื่อผู้ใช้น้ำ(A4) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาระดับที่ 4.83 ลำดับที่ 2 (A6) ปัญหาการป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์ มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาระดับที่ 4.67 ลำดับที่ 3 ปัญหาในการบันทึกตัวเลขมิเตอร์ (A5) มีค่าเฉลี่ยความต้องการแก้ไขปัญหาระดับที่ 4.50 กล่าวคือ ขั้นตอนการบันทึกเลขมิเตอร์น้ำประปา ขั้นตอนการป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์ และขั้นตอนการตรวจสอบเลขมิเตอร์จากการป้อนข้อมูล ต้องดำเนินการค้นหาข้อมูลจากรายชื่อของผู้ใช้น้ำที่ได้ทำการบันทึกมา ซึ่งจากเดิมใช้วิธีการเขียนลงในสมุดบันทึกการบันทึกชื่อของผู้ใช้น้ำเป็นชื่อจริงบ้าง ชื่อเล่นที่เรียกตามความคุ้นเคยบ้าง ซึ่งผู้ทำหน้าที่ป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์จะพบปัญหาคือ ชื่อที่เขียนจากการจดบันทึกเลขมิเตอร์กับชื่อในโปรแกรมคอมพิวเตอร์การใช้น้ำประปาไม่ตรงกัน หรือการอ่านลายมือผู้บันทึกเลขมิเตอร์ไม่ออกเกิดความผิดพลาดของข้อมูล ความเข้าใจผิดและความขัดแย้งกันในกลุ่มผู้ทำงานทำให้เกิดความล่าช้าในการป้อนข้อมูล ส่งผลให้กระบวนการของระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาล่าช้า

หลังจากการปรับปรุงวิธีการทำงานด้วยหลักการ ECRS ผู้วิจัยจึงได้ทำการจับเวลาการทำงานของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกิจการน้ำประปาหมู่บ้าน โดยมีผลการแก้ไขปัญหาลำดับการจับเวลา ตามตารางที่ 4.1

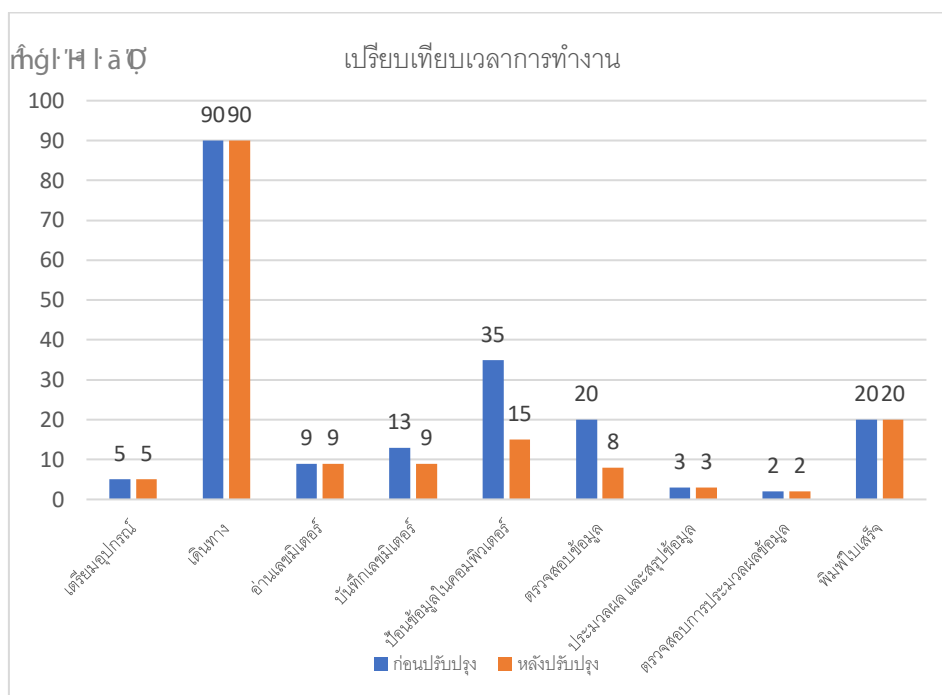
ตารางที่ 4.1 เวลาการทำงานหลังการปรับปรุง

ลำดับที่	ขั้นตอน	เวลาเฉลี่ย (นาที)
1	เตรียมอุปกรณ์ (ปากกา, ตารางรายชื่อผู้ใช้น้ำ)	5
2	เดินทาง	90
3	อ่านเลขมิเตอร์น้ำประปา	9
4	บันทึกเลขมิเตอร์น้ำประปา	9
5	ป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์	15
6	ตรวจสอบเลขมิเตอร์จากการป้อนข้อมูล	8
7	ประมวลผล และสรุปข้อมูล	3
8	ตรวจสอบการประมวลผลข้อมูล	2
9	พิมพ์ใบเสร็จ	20
รวม		169

จากตารางที่ 4.1 หลังจากที่ทำกรปรับปรุงวิธีการทำงานสามารถลดเวลาการทำงานที่เป็นประเด็นปัญหาเร่งด่วนที่ต้องการแก้ไข คือ ปัญหาของขั้นตอนการบันทึกเลขมิเตอร์น้ำประปา ขั้นตอนการป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์ และขั้นตอนการตรวจสอบเลขมิเตอร์จากการป้อนข้อมูล มีสาเหตุจากการเขียนชื่อของผู้ใช้น้ำประปาที่ไม่เป็นระบบ โดยเขียนตามความเข้าใจของผู้จัดบันทึกซึ่งข้อมูลไม่มีมาตรฐาน ชื่อผู้ใช้น้ำบางคนเขียนเป็นชื่อเล่น บางคนเขียนเป็นชื่อจริง ปลายมีอ่านยาก ส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานอย่างต่อเนื่อง เมื่อนำหลักการ ECRS มาแก้ปัญหาโดยจัดทำตารางรายชื่อผู้ใช้น้ำประปาใช้ข้อมูลชื่อจริงตามที่ระบุในทะเบียนราษฎร ทำให้อ่านง่าย การติดป้ายหมายเลขของผู้ใช้น้ำกับมิเตอร์น้ำประปาให้ตรงกับลำดับที่ในตารางรายชื่อผู้ใช้น้ำ ทำให้การค้นหารายชื่อได้รวดเร็ว ซึ่งวิธีการดังกล่าวส่งผลให้ปัญหาของขั้นตอนการทำงาน ที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกันสามารถแก้ไขได้ตรงจุด ใช้เวลาในการทำงานลดลง คือ สามารถลดเวลาของขั้นตอนการบันทึกเลขมิเตอร์น้ำประปา การป้อนข้อมูลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การตรวจสอบความถูกต้องของเลขมิเตอร์การใช้น้ำประปาจากการป้อนข้อมูล

จากการแก้ไขปัญหาที่ผู้ทำหน้าที่ออกตรวจและจัดบันทึกตัวเลขมิเตอร์การใช้น้ำประปาทำงานแบบไม่มีหลักการ เขียนชื่อของผู้ใช้น้ำประปาที่ไม่เป็นระบบ เพราะไม่มีข้อมูลเริ่มต้นที่ถูกต้อง โดยการใช้ตารางข้อมูลรายชื่อผู้ใช้น้ำประปาในการบันทึกข้อมูล และเปลี่ยนวิธีการค้นหาข้อมูลของผู้ใช้น้ำประปาจากการค้นหาด้วยรายชื่อเป็นการค้นหาโดยใช้เลขลำดับแทน

ทำให้การทำงานขั้นตอนการบันทึกเลขมิเตอร์น้ำประปาจากเดิมใช้เวลา 13 นาที เหลือเพียง 9 นาที สามารถลดเวลาของขั้นตอนการป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์ จากเดิมใช้เวลา 35 นาที เหลือเพียง 15 นาที สามารถลดเวลาการทำงานของขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้อง ของเลขมิเตอร์ การใช้น้ำประปาจากการป้อนข้อมูลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับเลขมิเตอร์การใช้น้ำประปาจากตารางที่บันทึกมา จากเดิมใช้เวลา 20 นาที เหลือเพียง 8 นาที ดังนั้นจึงทำให้กระบวนการของระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาในภาพรวมจากเดิมใช้เวลาทั้งหมด 197 นาที (3 ชั่วโมง 17 นาที) ลดลงเหลือ 169 นาที (2 ชั่วโมง 49 นาที) คิดเป็นร้อยละ 14.21



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบเวลาการทำงาน

จากรูปที่ 4.1 การปรับปรุงวิธีการทำงานสามารถลดเวลาการทำงานได้ทั้งหมด 3 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนการบันทึกเลขมิเตอร์น้ำประปาจากเดิมใช้เวลา 13 นาที ลดลงเหลือ 9 นาที, ขั้นตอนการป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์จากเดิมใช้เวลา 35 นาที ลดลงเหลือ 15 นาที และขั้นตอนการตรวจสอบเลขมิเตอร์จากการป้อนข้อมูลจากเดิมใช้เวลา 20 นาที ลดลงเหลือ 8 นาที

5. สรุป

งานวิจัยการปรับปรุงขั้นตอนระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาหมู่บ้าน ด้วยหลักการ ECRS กรณีศึกษา หมู่บ้านสันป่าสัก หมู่ที่ 2 (กลุ่มที่ 1) ตำบลหนองแฝก อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ โดยการเปลี่ยนวิธีการบันทึกข้อมูลชื่อผู้ใช้น้ำประปา กับเลขมิเตอร์ การใช้น้ำประปาในสมุดหรือกระดาษเปล่าเป็นการบันทึกเฉพาะเลขมิเตอร์การใช้น้ำประปาในตารางบันทึก การติดป้ายหมายเลขลำดับผู้ให้บริการน้ำประปากับตัวมิเตอร์น้ำประปา ของแต่ละหลังคาเรือน เปลี่ยนวิธีการค้นหาข้อมูลผู้ใช้น้ำประปาด้วย รายชื่อเป็นการค้นหาด้วยตัวเลขลำดับของผู้ใช้น้ำประปาแทนในขั้นตอนของการบันทึกเลขมิเตอร์น้ำประปา การป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์ และขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของเลขมิเตอร์ การใช้น้ำประปาจากการป้อนในคอมพิวเตอร์ จึงสามารถลดเวลาในการทำงานได้ 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการบันทึกเลขมิเตอร์น้ำประปา จากเดิมใช้เวลา 13 นาที แก้ไขปัญหาโดยการจัดทำตารางรายชื่อผู้ใช้น้ำประปาที่มีหมายเลขกำกับเพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาและจดบันทึกเลขมิเตอร์ใช้เวลาลดลงเหลือ 9 นาที ขั้นตอนการป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์ จากปัญหาผู้ทำหน้าที่ ป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์ อ่านลายมือผู้บันทึกเลขมิเตอร์ไม่ออก หรือชื่อผู้ใช้น้ำประปาที่เขียนมาในสมุดบันทึกกับชื่อในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไม่ตรงกัน ทำให้เกิดการขัดแย้งโต้เถียงกันในการทำงาน และทำให้เกิดความล่าช้าในการป้อนข้อมูล ข้อมูลเกิดความผิดพลาดส่งผลให้กระบวนการของระบบการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาล่าช้า จากเดิมใช้เวลา 35 นาที หลังจากแก้ไขปัญหาโดยการใช้ตารางรายชื่อผู้ใช้น้ำประปา และการค้นหาข้อมูลผู้ใช้น้ำประปา โดยเลขลำดับของผู้ใช้น้ำ ส่งผลให้การป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์ง่ายขึ้นรวดเร็วขึ้น เวลาในการทำงานลดลงเหลือ 15 นาที และขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของเลขมิเตอร์การใช้น้ำประปาในคอมพิวเตอร์จากการป้อนข้อมูล ซึ่งมีปัญหาจากรายชื่อที่จดบันทึกมาไม่ตรงกับรายชื่อในคอมพิวเตอร์ และการอ่านลายมือไม่ออก เดิมใช้เวลา 20 นาที หลังจากแก้ไขปัญหาโดยการใช้ตารางรายชื่อผู้ใช้น้ำประปา และการค้นหาข้อมูลผู้ใช้น้ำประปาโดยเลขลำดับของผู้ใช้น้ำ ส่งผลให้ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของตัวเลขมิเตอร์การใช้น้ำประปาที่ป้อนในคอมพิวเตอร์ทำได้รวดเร็วขึ้น ใช้เวลาลดลงเหลือ 8 นาที จึงทำให้การทำงานการจัดเก็บค่าบริการน้ำประปาหมู่บ้าน ของหมู่บ้านสันป่าสัก หมู่ 2 (กลุ่มที่ 1) ตำบลหนองแฝก อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ มีความถูกต้องรวดเร็ว ลดการขัดแย้งในการทำงาน และใช้เวลาในการทำงานน้อยลงจากเดิมใช้เวลา 197 นาที (3 ชั่วโมง 17 นาที) ลดลงเหลือ 169 นาที (2 ชั่วโมง 49 นาที) คิดเป็นร้อยละ 14.21

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณมาลินี แสงสว่าง ผู้ใหญ่บ้านหมู่ที่ 2 ตำบลหนองแฝก อำเภอสарภี จังหวัดเชียงใหม่ และคณะผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกิจกรรมน้ำประปาหมู่บ้านสันป่าสัก หมู่ที่ 2 (กลุ่มที่ 1) ตำบลหนองแฝก อำเภอสарภี จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

มงคล กิตติญาณขจร. 2565. การลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตถั่วลิสงคั่วทรายโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดสมดุลการผลิต และหลักการ ECRS. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ และวัฒนธรรม 2565. 15(1). 11 – 22.

โชติรส นพพลกรัง และพรจิตา งามะพันธ์. 2565. การลดระยะเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด: กรณีศึกษา โรงงานสหกรณ์การเกษตรยางชุมน้อย จำกัด อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 2565. 2(2). 32 – 42

นันทพันธ์ กนกศิริรุจิษรา สารททิตย สีนิลพันธ์ และ สุธาสินี ราชบุตร. 2565. การลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสไดรฟ์ (HDD) โดยเทคนิค ECRS. Journal of Industrial Technology and Innovation 2565. 1(1). 1 – 11.

ศิริรัตน์ ชูติชูเดชและ ปฐมพงศ์ วิริยะอุดมชาติ. 2559. การปรับปรุงกระบวนการทดสอบวงจรขยาย LMX324. วารสารข่าวงานวิศวกรรมอุตสาหการไปทย 2559. 2(2). 41 - 48

จิรกาล กัลยาโพธิ์ และจิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์. 2564. การลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตยางรองล้อรถยนต์. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2564. 28(1). 78- 92.

การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเครื่องประดับ ด้วยเทคนิคการศึกษางาน

ชัยวัฒน์ กิตติเดชา^{1*} อภิชาติ ชัยกลาง¹

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

* chaiwatkit@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือเพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเครื่องประดับของโรงงานแห่งในจังหวัดเชียงใหม่โดยใช้เทคนิคการศึกษางานจากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตแหวนด้วยแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง แผนผังการไหล และแผนภูมิสองมือ พบว่ามีงานย่อยทั้งหมด 34 กิจกรรม ดั้งนี้การปฏิบัติงาน 15 กิจกรรม การขนย้าย 13 กิจกรรม การรอคอย 4 กิจกรรม การตรวจสอบ 1 กิจกรรม และการจัดเก็บ 1 กิจกรรม ในการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตทางผู้วิจัยเสนอผังโรงงานใหม่โดยควรย้ายห้องแวกไปบริเวณพื้นที่วางเปล่าที่ใกล้ห้องเครื่องดูดสูญญากาศ รวมทั้งย้ายจุดตั้งชิ้นงาน จุดตรวจสอบ จุดเลเซอร์ และจุดขัดสวดยสามารถลดระยะทางในการขนย้ายคิดเป็นร้อยละ 45 ในส่วน การศึกษาการเคลื่อนไหวอย่างละเอียดมีการนำแผนภูมิสองมือมาใช้ในการวิเคราะห์ขั้นตอนการฉีดแวกข้อเสนอแนะคือให้ทำสายห้อยสปริงค์หัวฉีดเหนือศีรษะผู้ปฏิบัติงานเพื่อลดความเมื่อยล้าลง

คำสำคัญ เทคนิคการศึกษางาน, กระบวนการผลิตเครื่องประดับ, ประสิทธิภาพ

The Productivity Improvement of the Jewelry Process using Work Study Technique

Chaiwat Kittidecha^{1*} Aphichat Chaiklang¹

¹ Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Lanna
128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

* chaiwatkit@rmutl.ac.th

Abstract

The purpose of the research was to study the ways to improve the efficiency of the jewelry production process of factories in Chiang Mai using work study techniques. From the analysis of the ring production process with a continuous production process chart, Flow chart and two-handed chart, a total of 34 activities were found. The activities were as follows, 15 operational activities, 13 transportation activities, 4 waiting activities, 1 inspection activity, and 1 storage activity. To optimize the production process, the researchers proposed a new plant layout in which the wax room should be moved to an empty area near the vacuum suction chamber, as well as a relocation of the workpiece finishing point, checkpoints, laser points and scrub points. The transport distance can be reduced by 45 percent. There was also a presentation in which we assessed the vac injection method using a two hand chart. The suggestion is to make a hose to hang the nozzle over the operator's head to reduce fatigue.

Keywords: Work Study Technique, Jewelry Process, Productivity

1. บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มลักษณะของผู้ซื้อสินค้าประเภทเครื่องประดับประเภททองและจิวเวลรี่ได้เปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากผู้บริโภครุ่นใหม่ให้ความสำคัญกับแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีหรือ แฟชั่น เช่น โทรศัพท์สมาร์ทโฟน สินค้าแบรนด์เนม กระเป๋า รองเท้า เป็นต้น ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงออกถึงฐานะของผู้บริโภคใหม่นั้น ผู้ผลิตและจำหน่ายเครื่องประดับ จำเป็นต้องรู้ถึงความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไปของลูกค้า รวมถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์และปรับตัวทั้งในเรื่องของการออกแบบผลิตภัณฑ์ และการออกแบบขั้นตอนการผลิตที่ผลิตภาพดีหรือสูงขึ้น จำเป็นต้องดำเนินกลยุทธ์ทางการตลาดและการผลิตให้ตอบโจทย์ได้ตรงใจลูกค้า สามารถรักษาส่วนแบ่งการตลาดเดิมรวมไปถึง แย่งชิงพื้นที่ส่วนแบ่งตลาดใหม่ได้ในอนาคต (ฐิติสา ศรีไสรวรรณ, 2560)

โรงงานผลิตเครื่องประดับขนาดเล็กแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ ยังพบปัญหาด้านการผลิต นอกเหนือจากปัญหาด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยพบว่ายังมีความล่าช้า และมีกิจกรรมรอคอย งานมาก จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต พบว่าเทคนิคการศึกษางานถูกนำมาใช้เป็นจำนวนมากเนื่องจากเทคนิคนี้เป็นการปรับปรุงโดยไม่ต้อง ใช้งบประมาณลงทุนสูง ทางผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตโรงงานกรณีศึกษา และนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงการทำงานเพื่อเพิ่มผลผลิตโดยใช้เทคนิคการศึกษางาน

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานคือการวิเคราะห์กระบวนการทำงานหรือกระบวนการผลิตเพื่อกำจัดงานที่ไม่จำเป็นออก สรรหากระบวนการทำงานซึ่งดีที่สุดและเร็วที่สุดในกระบวนการทำงาน การปรับปรุงวิธีการทำงานที่ไม่เหมาะสมเปลี่ยนแปลงเป็นวิธีการทำงานมาตรฐาน กำหนดเงื่อนไขสภาพแวดล้อม เครื่องมือต่างๆ การฝึกคนงานให้ทำงานด้วยวิธีที่ถูกต้อง การหาเวลามาตรฐานของงาน และการบริหารแผนการจ่ายค่าแรงจูงในระบบต่างๆ (อิสราธีระวัฒน์สกุล, 2548) ในการวิจัยนี้ได้นำหลักการนี้ร่วมกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาเป็นแนวทางในการปรับปรุง ได้แก่กระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์กล้องถ่ายรูปซึ่งมีขั้นตอนการประกอบและการเคลื่อนไหวที่ไม่เหมาะสม ลดขั้นตอนในการประกอบลดลง 1 ขั้นตอน เวลามาตรฐานการประกอบลดลง 0.75 นาทีต่อชิ้น หรือผลิตภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 26 (สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และคณะ, 2563) การปรับปรุงวิธีการทำงานสำหรับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไรซ์แครกเกอร์ด้วยแนวคิดไคเซ็น พบว่ากิจกรรมไม่มีคุณค่า (non-value activity) อยู่ในขั้นตอนการบรรจุและขั้นตอนการชั่งน้ำหนัก หลังการปรับปรุงพบว่าความสูญเปล่าลดลง ประสิทธิภาพ

กระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 23 (อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล และ ศิระพงศ์ ลือชัย, 2563) การศึกษาสายการบรรจุผลิตภัณฑ์แป้งโดยประยุกต์ใช้การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา การวิเคราะห์กระบวนการปฏิบัติงานด้วยแผนภูมิคน-เครื่องจักร แผนภูมิมือซ้าย-ขวา ร่วมกับหลักการ ECRS รวมทั้งการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการปฏิบัติงาน หลังการปรับปรุงสามารถลดเวลา การผลิตได้ร้อยละ 23 ลดคนงาน 3 คน ผลิตภาพเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 84 (ธนิดา สุนารักษ์, 2559) การศึกษาโรงงานผลิตหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีกรณีศึกษา นำ ECRS และการออกแบบผังโรงงานอย่างเป็นระบบ พบว่าระยะทางการขนย้ายวัตถุดิบลดลง 622 เมตรหรือร้อยละ 40 สามารถเพิ่มอัตราการผลิตจาก 1,683 ชุดต่อเดือน เป็น 2,433 ชุดต่อเดือน (ชูศักดิ์ พรสิงห์ และ สรรชัย อุพุทรา, 2556) และการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต น้ำดื่มบรรจุขวด ลดเวลาในการขนย้าย 10 วินาที และลดระยะทางการขนย้ายลง 8 เมตรจากเดิม 14 เมตร (ชัยวัฒน์ กิตติเดชา และอภิชาติ ชัยกลาง, 2565)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการวิจัยมี 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

1.

การเลือกงานที่จะศึกษาโดยเลือกจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมากที่สุดหรือบ่อยครั้งที่สุดคือแหวน ดังรูปที่ 1 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ การแวก การขึ้นต้นแวก การสร้างเท้า การอบ การหล่อ การตกแต่งการตรวจสอบ การทำเลเซอร์ และการขัดผิว



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ของโรงงานตัวอย่างคือแหวน

2. การบันทึกวิธีการทำงาน เครื่องมือที่ใช้บันทึกขั้นตอนการทำงาน ได้แก่ แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow Process Chart) แผนผังการไหล (Flow Diagram) เพื่อแสดงให้เห็นปัญหาการวางผัง และแผนภูมิสองมือ (Two hand Chart) เพื่อแสดงให้เห็นการว่างงานของมือ

3. การใช้เทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H เพื่อใช้หาแนวทางในการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำงานให้ดีกว่าเดิม

4. การปรับปรุงวิธีการทำงาน นำหลักการ ECRS ได้แก่ E การกำจัดงานที่ไม่จำเป็น C การรวมขั้นตอนเข้าด้วยกัน R การเปลี่ยนลำดับขั้นตอน และ S การทำให้ขั้นตอนให้ง่ายขึ้น (อิสราธีระวัฒน์สกุล, 2548)

4. ผลการวิจัย

เมื่อนำเครื่องมือต่างๆ ที่ได้กล่าวในข้อ 3 มาใช้โดยเฉพาะแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องซึ่งใช้วิเคราะห์ขั้นตอนของการเคลื่อนไหวในการปฏิบัติงานแสดงดังรูปที่ 2 พบว่ามีงานย่อยรวมทั้งหมด 34 งานย่อย คือ 1) การปฏิบัติงานจำนวน 15 กิจกรรม 2) การขนย้ายจำนวน 13 กิจกรรม 3) การรอคอยจำนวน 4 กิจกรรม 4) การตรวจสอบจำนวน 1 กิจกรรม และ 5) การจัดเก็บจำนวน 1 กิจกรรม ระยะทางการขนย้ายโดยรวม 31.1 เมตร ระยะเวลา 249.81 นาที ขั้นตอนการฉีดยาแสดงในรูปที่ 3 แบ่งเป็นรูปย่อย ก ถึง ฉ ซึ่งประกอบด้วย การฉีดยา การติดตั้งต้นขวด การใส่ใบในเครื่องดูดสุญญากาศ การอบ การหล่อชิ้นงาน การแต่งชิ้นงาน การตรวจสอบชิ้นงาน การการทำเลเซอร์ และการขัดสวอยชิ้นงานตามลำดับ

SUMMARY				
ADTIVITY		PRESENT	PROPOSED	SAVING
OPERATION		15		
TRANSPORT		13		
DELAY		4		
INPECTION		1		
STORAGE		1		
DISTANCE		31.1		
TIME		249.81		
ลำดับ ที่	ระยะทาง (เมตร)	เวลาที่ใช้ (นาที)	สัญลักษณ์ Symbol	คำอธิบายโดยย่อของกิจกรรม Description
1.	-	-	○	ฉีดแวกตามแบบที่ลูกค้าต้องการ
2.	-	0.1	◻	รอแวกแห้ง
3.	-	0.05	○	กะแวกออกจากแบบ
4.	-	-	➡	นำชิ้นงานใส่ตระกร้า
5.	-	0.1	○	ตัดแต่งชิ้นงาน
6.	-	1.2	○	นำแวกมาติดกันเป็นชิ้นแวก
7.	10	1.5	➡	เคลื่อนชิ้นแวกไปยังเครื่องดูดสูญญากาศ
8.	-	0.2	○	ติดชิ้นแวกเข้ากับเบ้า
9.	-	0.9	○	ผสมปูนขาว
10.	-	0.08	○	เทปูนขาวใส่เบ้า
11.	0.1	0.02	➡	เคลื่อนเบ้าใส่เข้าเครื่องดูดสูญญากาศ

รูปที่ 2 แผนภูมิกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุง

ลำดับ ที่	ระยะทาง (เมตร)	เวลาที่ใช้ (นาที)	สัญลักษณ์ Symbol	คำอธิบายโดยย่อของกิจกรรม Description
12.	-	-	○	กดปุ่มให้เครื่องทำงาน
13.	-	180	□	รอเครื่องทำงาน
14.	1	0.01	⇒	เคลื่อนเบ้าออกจากเครื่องดูดสุญญากาศ
15.	0.5	0.01	⇒	เคลื่อนเบ้าไปยังเครื่องอบ
16.	-	0.04	⇒	เคลื่อนเบ้าเข้าเครื่องอบ
17.	-	-	○	กดปุ่มเครื่องทำงาน
18.	-	20	□	รอเครื่องทำงาน
19.	-	0.05	⇒	เคลื่อนเบ้าออก
20.	1	0.02	⇒	เคลื่อนเบ้าไปยังเครื่องหล่อ
21.	-	1.2	○	ละลายทอง
22.	-	-	○	เทใส่เบ้า
23.	-	30	□	รอทองแข็ง
24.	-	0.35	○	แกะชิ้นงานออกจากเบ้า
25.	4	0.03	⇒	เคลื่อนชิ้นงาน ไปยังสถานีแต่งทรง
26.	-	3	○	แต่งทรงให้เรียบเนียน
27.	1	0.13	⇒	เคลื่อนชิ้นงาน ไปยังสถานีตรวจสอบงาน
28.	1.5	0.02	□	ตรวจสอบความเรียบร้อย ขนาด ชิ้นงานเป็นรู
29.	2	0.02	⇒	เคลื่อนชิ้นงาน ไปยังเครื่องทำเรเซอร์
30.	-	1	○	ทำเรเซอร์เพื่อปิดรูของชิ้นงาน
31.	8	1.2	⇒	เคลื่อนชิ้นงาน ไปยังสถานีขัดสวอย
32.	-	5	○	ขัดสวอยชิ้นงาน
33.	2	0.45	⇒	เคลื่อนไปยังที่เก็บชิ้นงาน
34.	-	-	▽	เก็บชิ้นงาน

รูปที่ 2 แผนภูมิกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุง (ต่อ)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)



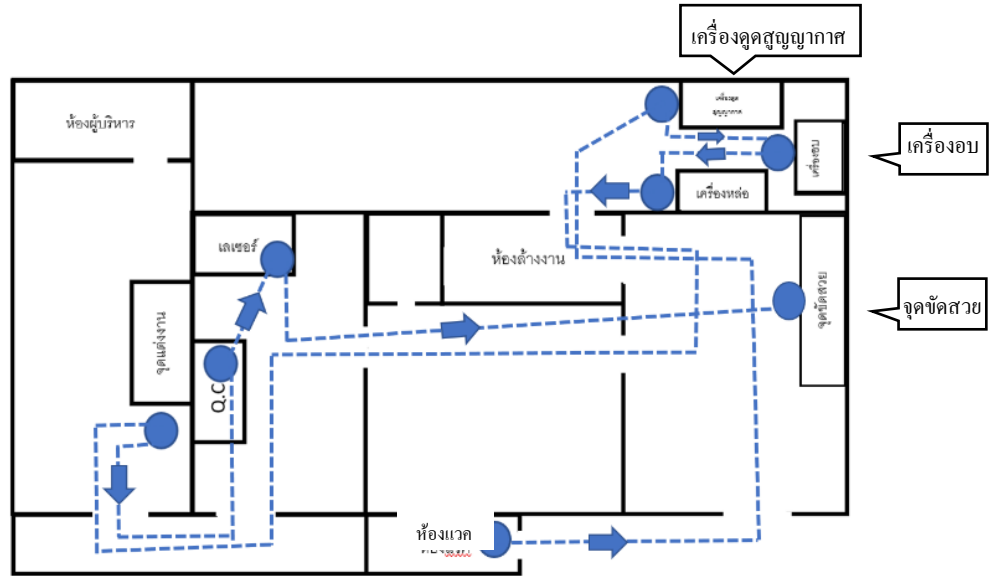
(ซ)



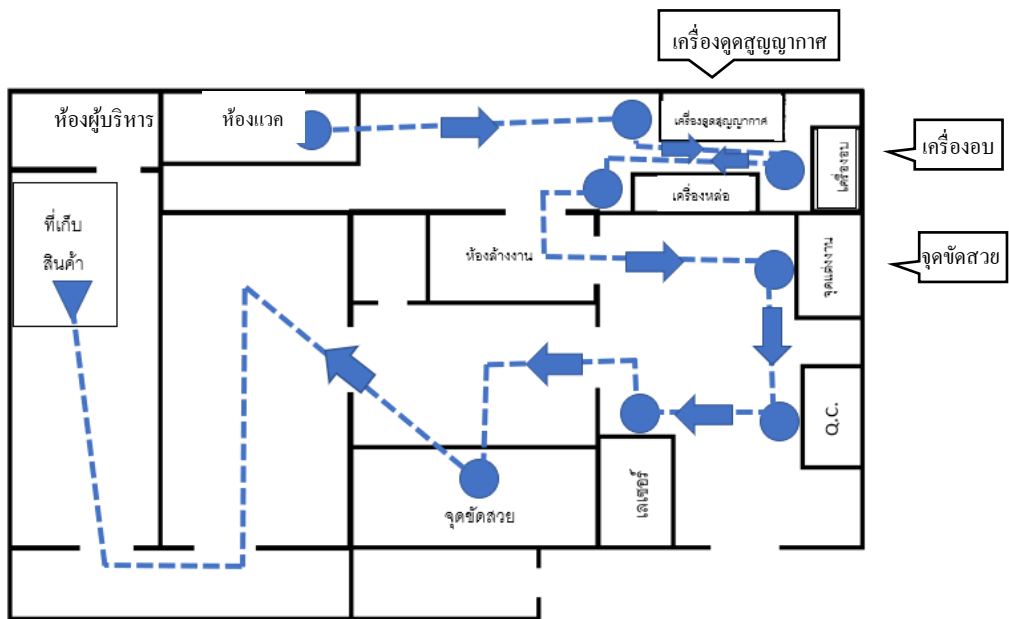
(ณ)

รูปที่ 3 ขั้นตอนกระบวนการผลิตเครื่องประดับ

ส่วนผังการไหลก่อนการปรับปรุงแสดงรูปที่ 4 โดยพบว่าการขนย้ายที่ใช้ระยะทางมากโดยเฉพาะขั้นตอนนำชิ้นงานจากห้องแวกไปห้องเครื่องดูดสูญญากาศ การปรับผังใหม่ควรย้ายห้องแวกไปบริเวณพื้นที่วางเปล่าที่ใกล้ห้องเครื่องดูดสูญญากาศ รวมทั้งย้ายจุดแต่งงาน จุดตรวจสอบ จุดเลเซอร์และจุดขัดสวย ซึ่งจะสามารถลดระยะทางในการขนย้ายจากระยะทางเดิม 31.1 เมตร เหลือเป็น 17.1 เมตร หรือร้อยละ 45 ดังรูปที่ 5




รูปที่ 4 ผังการไหลก่อนปรับปรุง



รูปที่ 5 ผังการไหลหลังปรับปรุง

ในส่วนการศึกษาการเคลื่อนไหวย่างละเอียด ผู้วิจัยได้นำแผนภูมิสองมือมาใช้ในการวิเคราะห์ขั้นตอนการฉีดแควพบว่ามีข้อขัดข้องหรือหัวฉีดตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่

แผนภูมิกระบวนการผลิตสองมือ									
Subject Chart : วิธีการผลิตแหวน				ผู้บันทึก : นราวิชญ์ สุพา					
Activity : ฉีดแวค				วันที่ : 26 กันยายน 2565					
Method : <input checked="" type="checkbox"/> วิธีปัจจุบัน <input type="checkbox"/> วิธีปรับปรุง									
สรุปผล	ปัจจุบัน		เสนอ		ลดลง		ผังบริเวณที่ทำงาน		
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา			
การปฏิบัติงาน									
การเคลื่อนที่									
การจับถือ									
การรอคอย									
มือซ้าย	○	⇒	▽	□	○	⇒	▽	□	มือขวา
เคลื่อนมือไปหยิบ แบบแม่พิมพ์		●				●			เคลื่อนมือไปหยิบ หัวฉีดแวค
มือจับแบบให้ แน่น			●			●			ฉีดแวคเข้า แม่พิมพ์
เคลื่อนมือเอา แม่พิมพ์ที่ฉีดแวค แล้วไปที่เก็บ		●					●		ถือหัวฉีด
เก็บแม่พิมพ์ที่แวค แล้ว	●						●		ถือหัวฉีด
เคลื่อนมือไปเอา แม่พิมพ์อันต่อไป		●					●		ถือหัวฉีด

รูปที่ 6 แผนภูมิสองมือการฉีดแวค

และจากการตั้งคำถามด้วย 5W1H โดยในแต่ละคำถามจะใช้ Why คู่กับคำถามอื่นๆ เช่น ในขั้นตอนการฉีดแวค 1) What: ทำอะไร คำตอบ: ฉีดต้นแวค Why: ทำเพื่ออะไร คำตอบ: ขึ้นรูปแหวน 2) Where: ทำที่ไหน คำตอบ: ทำที่ห้องแวค Why: ทำไมทำที่นั่น คำตอบ: ต้องใช้เครื่องเป่าแวค 3) When: ทำเมื่อไร คำตอบ: เป็นขั้นตอนแรกสุด Why: ทำไมทำเวลานั้น คำตอบ: ต้องเริ่มจากขั้นตอนนี้ 4) Who: ใครเป็นคนทำ คำตอบ: พนักงานห้องแวค Why: ทำไมต้องเป็นคนนั้น คำตอบ: มีความชำนาญ 5) How: ทำอย่างไร คำตอบ: ใช้มือขวาฉีดเครื่องเป่าแวค Why: ทำไมต้องทำอย่างนั้น คำตอบ: เป็นอุปกรณ์ที่ติดมากับเครื่องเป่า ไม่มีสายห้อย ต้องถือตลอดเวลา ดังนั้นจากการวิเคราะห์ด้วยคำถามเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุง ผู้วิจัยสนใจคำถาม How นำมาสู่การปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS โดยผู้วิจัยขอเสนอแนะด้วย S การทำให้ การทำงานง่ายขึ้น คือให้ทำสายห้อยสปริงค์หัวฉีดเหนือศีรษะ ผู้ปฏิบัติงานเพื่อลดความเมื่อยล้าลงดังรูปที่ 7 (The International Labour Office, 2010)



รูปที่ 7 ตัวอย่างสายห้อยสปริงค์หัวฉีดเหนือศีรษะ
(The International Labour Office, 2010)

5. สรุปและอภิปรายผล

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือปรับปรุงกระบวนการผลิตเครื่องประดับของโรงงานแห่งหนึ่ง เสนอวิธีการทำงานที่เหมาะสมโดยนำเทคนิคการศึกษาการงานมาประยุกต์ใช้ ประกอบด้วยการใช้แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องและแผนผังการไหลสำหรับวิเคราะห์ผังโรงงาน ได้เสนอผังโรงงานใหม่ซึ่งสามารถลดระยะทางในการขนย้ายได้ 14 เมตร จากระยะทางเดิม 31.1 เมตร เหลือระยะทาง 17.1 หรือคิดเป็นร้อยละ 45 ในส่วนแผนภูมิสองมือ ถูกใช้ในการวิเคราะห์ขั้นตอนการฉีดแวค พบว่ามือขวาต้องคอยถือหัวฉีดตลอดเวลา ดังนั้นผู้วิจัยเสนอทางโรงงานทำสายห้อยสปริงค์หัวฉีดเหนือศีรษะเพื่อลดความเมื่อยล้าลง และโดยภาพรวมแล้วประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือลดระยะทางการขนย้ายเช่นเดียวกับงานวิจัยของ ชูศักดิ์ พรสิงห์ และสรรัชย์ อุพุทรา (2556)

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานผลิตเครื่องประดับแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ที่ให้ข้อมูลในงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

ชัยวัฒน์ กิตติเดชา, และอภิชาติ ชัยกลาง. (2565) การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดด้วยเทคนิคการศึกษาการงาน. *วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ*, 1(1), 1-9.

ชูศักดิ์ พรสิงห์, และ สรรัชย์ อุพุทรา. (2556), การปรับปรุงผังโรงงานและกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม กรณีศึกษา

- โรงงานผลิตหลอดไฟแอลอีดีตัวอย่าง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 27(6). 1132 – 1146.
- ฐิติสา ศรีโสวรรณ. (2560). *ปัจจัยที่มีผลต่อการซื้อเครื่องประดับทองและจิวเวลรี่*, (การค้นคว้าอิสระปริญญามหาบัณฑิต). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ธนิดา สุนาร์ักษ์. (2559). การปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิตกรณีศึกษาสายการบรรจุผลิตภัณฑ์แป้ง. *วารสารช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย*, 2(3), 51-60.
- สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, ชาตรี หอมเขียว, ซูไฮดี สนิ, จุฬาลักษณ์ โรจนานุกูล และมุhammad เต๊ะยอ. (2563). การเพิ่มประสิทธิภาพการประกอบผลิตภัณฑ์ของเล่นไม้ยางพาราด้วยเทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลาและหลักการยศาสตร์กรณีศึกษาโรงงานตัวอย่าง. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 12(2), 97 -112.
- อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล, และศิระพงษ์ ลือชัย. (2563). การปรับปรุงวิธีการทำงานสำหรับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไรซ์แครกเกอร์ด้วยแนวคิดโคเซ็น, *วารสารช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย*, 6(1), 1-7.
- อิสรา อีระวัฒน์สกุล. (2548). การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- The International Labour Office. (2010). Ergonomic checkpoints: Practical and easy-to-implement solutions for improving safety, health and working conditions. Geneva: International Labour Organization.

การปรับปรุงแผนผังโรงคั่วบรรจุพืชผักโครงการหลวงขุนแปะ

จुरาพรรณ พิมูลชาติ^{1*} และวรเชษฐ์ หวานเสียง¹

¹ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
128 ถ.ห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50300

*Email: jurapun@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอแนวทางการออกแบบและปรับปรุงผังโรงงาน ในกระบวนการคั่วบรรจุพืชผักของโครงการหลวงขุนแปะ โดยหลักการออกแบบ ผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning; SLP) และมาตรฐานการผลิตผลิตภัณฑ์ (Good Manufacturing Practice; GMP) มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาโรงงานสำหรับ อุตสาหกรรมอาหาร ภายใต้ข้อจำกัดของโรงงาน เพื่อประเมินผังโรงงานทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด โดยออกแบบแผนผังหลังการปรับปรุงจำนวนรวมทั้งหมด 5 แผนผัง พิจารณาจากเกณฑ์ ในการตัดสินใจ คือ ระยะทางการไหลหลังการปรับปรุง, ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด, ค่าใช้จ่าย ในการปรับปรุง และปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น ผลการวิจัยพบว่า ผังทางเลือกที่เหมาะสม ที่สุดคือผังโรงงานหลังการปรับปรุง ผังที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ที่กำหนดมากที่สุด โดยมีคะแนน 21 คะแนน มีระยะทางการไหลวัตถุดิบทั้งหมดลดลง 29.29 เมตร ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมดลดลง 1.11 นาที ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง 8,250 บาท ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากเดิม 3,740 เป็น 4,440 คิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 18.72

คำสำคัญ : การปรับปรุงแผนผังโรงคั่วบรรจุพืชผัก, ระยะทางการไหล, มาตรฐาน GMP, การวางผังโรงงานอย่างมีระบบ, ค่าผลรวมความใกล้ชิด

Improvement of plant layout the vegetable packing house for khunpae royal project

Jurapun Phimoolchat^{1*} and Worached hwanseang²

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Lanna
128 Huay Kaew Road, Changpeuk, Muang, Chiang Mai, 50300

*Email: jurapun@rmutl.ac.th

Abstract

The objective of this research was to present a design and improve plan for the factory layout in the vegetable processing and packaging processes at the Khun Kepa Royal Project. The design of the factory layout was based on the Systematic Layout Planning (SLP) principle and the Good Manufacturing Practice (GMP) standard, which were applied in the design and development of the food industry factory. The aim was also to evaluate the most suitable alternative factory layout within the limitations of the factory. The research proposes a total of 5 alternative factory layouts and was evaluated based on decision-making criteria, including distance of material flow after improvement, total time used, cost of improvement, and increased production volume. The results indicated that the most suitable alternative factory layout was the second layout after improvement, which scored 21 points and met the criteria the most. The distance of material flow after improvement decreased by 29.29 meters. The total time used decreased by 1.11 minutes, the cost of improvement was 8,250 baht. The production volume increased from 3,740 to 4,440, resulting in an efficiency increase of 18.72%.

Keywords: Improvement of plant layout proximity sum value for the vegetable packing house, distance of material flow, Standard GMP, Systematic layout planning

1. บทนำ

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนแปะ ปัจจุบันจัดทำแปลงทดสอบสาธิตและส่งเสริมเกษตรกรใน การเพาะปลูกพืชไม้ผล กาแฟ ภายใต้ระบบการเพาะปลูกมาตรฐานอาหารปลอดภัย ระบบมาตรฐานการเพาะปลูกที่ดี (GAP) รมรงค์การลดการใช้สารเคมีและเฝ้าระวัง การปนเปื้อนมลพิษในสิ่งแวดล้อม โดยภายใต้การกำกับดูแลของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ขุนแปะนั้น มีโรงคัดบรรจุพืชผักเพื่อ การส่งออกผลผลิต สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรในชุมชน ผลผลิตหลัก ได้แก่ กะหล่ำปลี ผักกาดขาวปลี คอสสลัด เบบี้คอส บร็อคโคลี่ บัตเตอร์เฮด โดยจากแผนผังโรงคัดบรรจุเดิม พบปัญหาในด้านกระบวนการผลิตที่ไม่เป็นระบบ ลังคัดบรรจุพืชผักมีจำนวนมากทำให้รูกำลังพื้นที่ในส่วนของกระบวนการขนถ่ายพืชผัก กีดขวางเส้นทางการทำงาน และพื้นที่ในโรงงานบางจุดไม่ถูกสุขลักษณะ อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนผลผลิต

ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงแผนผังโรงคัดบรรจุใหม่ โดยประยุกต์ใช้ความรู้ ในส่วนของทฤษฎีการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (systematic layout planning; SLP) และหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร (Good Manufacturing Practice; GMP) ช่วยให้ได้รูปแบบผังโรงงานที่เหมาะสมกับกระบวนการคัดบรรจุพืชผักของโรงงาน เพื่อให้ได้ตาม ข้อกำหนดและมาตรฐาน และเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการคัดบรรจุ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำทฤษฎีวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (SLP) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย ที่หลากหลายอุตสาหกรรม ได้แก่ วิทยาลัยพร ปราศจาก และพงษ์พัฒน์ ช่วยบุตดา (2560) ได้วิเคราะห์ทางเลือกผังโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาโรงงานผลิตท่อดักแอร์ ประยุกต์ใช้แนวคิด การวางผังโรงงานอย่างมีระบบในการวางผังโรงงานทางเลือก พิจารณาปัจจัยในการเลือกผังโรงงาน 4 ปัจจัย ได้แก่ ประสิทธิภาพการไหลวัสดุ, ระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุ, ค่าใช้จ่ายในการเคลื่อนย้าย และประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ โดยใช้โปรแกรม Expert Choice c ผลจากการศึกษาพบว่า การเลือกผังโรงงานที่ใช้ปรับปรุงคือผังโรงงานแบบ B สามารถลดระยะทางการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบของกระบวนการผลิตต่อตรงซึ่งมีปริมาณการผลิตมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 11.59, เพิ่มประสิทธิภาพพื้นที่ในการใช้งาน คิดเป็นร้อยละ 83.86 และสามารถแก้ปัญหาจุดตัดของเส้นทางการไหลวัสดุในผังโรงงาน 1 จุด

พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล และคณะ (2563) ได้วิเคราะห์การวางแผนผังโรงงาน แปรรูปผักและผลไม้ โดยประยุกต์ใช้หลักการวางแผนผังอย่างมีระบบ (SLP) สร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่พิจารณาจากความหนาแน่นการไหลของวัสดุ

และข้อกำหนดของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารการออกแบบแผนผังใหม่ทั้งหมด 3 แบบ ประเมินแผนผังทั้งสามแบบตามหลักการของดิลิป อาร์ ชูล โดยวัดค่าความสอดคล้อง กับค่าความใกล้ชิดใน RRL Chart ในรูปแบบของค่าผลรวมของความใกล้ชิดทั้งหมด สรุปได้ว่า แผนผังแบบที่ 3 เป็นแผนผังที่ดีที่สุด เพราะมีค่าผลรวมของความใกล้ชิดน้อยที่สุด และมีระยะทางการลำเลียงขนถ่ายโดยเฉลี่ยรวมทั้งหมดต่อวันน้อยที่สุด นอกจากนี้ทั้ง 3 ทางเลือกมีการไหลที่ต่อเนื่องมากขึ้น มีเส้นทางการไหลที่ตัดกันน้อยลง

ภาวดี ชำนินา และ อัฐพร ไกรอาบ (2563) ได้เสนอแนวทางการออกแบบ และการปรับปรุงผังโรงงาน ในกระบวนการผลิตปลาหมึกอบกรอบ ผงปลาหมึก และถั่วอบกรอบปรุงรส โดยการประยุกต์ทฤษฎีการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (SLP) มาตรฐานการผลิตผลิตภัณฑ์ (GMP) และการวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (HACCP) มาประยุกต์ในการออกแบบและพัฒนาแผนผังเชิงปฏิบัติการวางผัง โรงงานสำหรับอุตสาหกรรมอาหารภายใต้ข้อกำหนดตามมาตรฐานสมาคมผู้ค้าปลีกแห่งสหราชอาณาจักรด้านความปลอดภัยของอาหาร (BRC) พิจารณาจากปัจจัยดังนี้ ปัจจัยสารที่ก่อภูมิแพ้, จุดตัดในกระบวนการขนถ่าย และระยะทางการไหลของวัตถุดิบในกระบวนการผลิต จากการวิเคราะห์พบว่าผังโรงงานที่ 3 เหมาะสมที่สุด โดยการนำมาปรับปรุงร่วมกับพัฒนา แผนผังเชิงปฏิบัติการวางผังโรงงานสำหรับอุตสาหกรรมอาหารสามารถแก้ปัญหาด้าน Allergens ทำจุดสัมผัสระหว่างกระบวนการผลิตลดลง 5 จุด และระยะทางการไหลของกระบวนการ ผลิตปลาหมึกอบกรอบลดลงเหลือ 52 เมตร ระยะทางการไหลของกระบวนการผลิต ผงปลาหมึกลดลงเหลือ 72 เมตร และระยะทางการไหลของกระบวนการผลิตถั่วอบกรอบ ปรุงรสลดลงเหลือ 42 เมตร นอกจากนี้ยังแก้ปัญหาจุดตัดของเส้นทางการไหล ของวัตถุดิบลดลงเหลือ 3 จุด

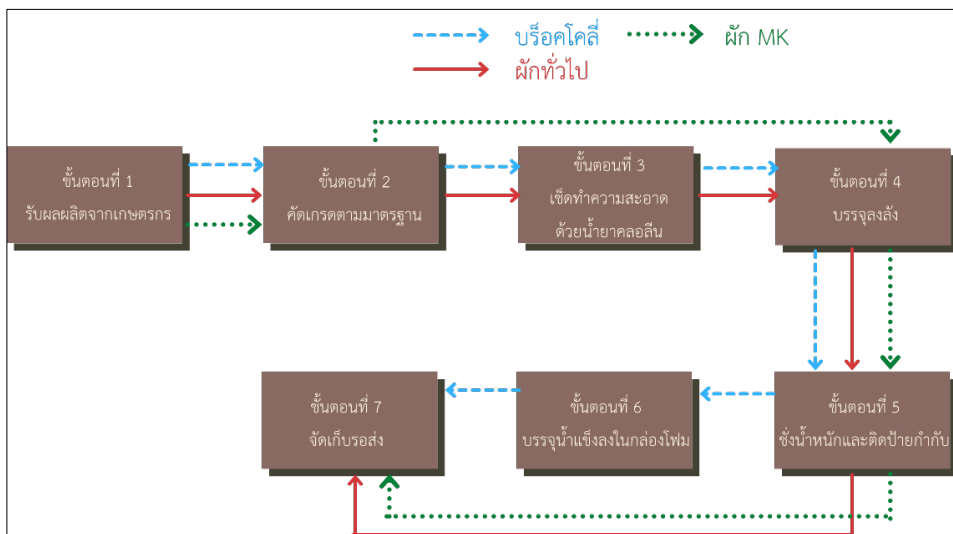
จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ทฤษฎีการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (SLP) สามารถแก้ปัญหา เรื่องของการวางผังโรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกมาใช้กับโรงคั ดบรรจุพีชผักและร่วมกับการประเมินผังด้วยตัวชี้วัดต่างๆ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงกระบวนการการคัดบรรจุพีชผักของโรงงาน การศึกษา กระบวนการไหลของพีชผัก และการวิเคราะห์สาเหตุพร้อมหาแนวทางการแก้ไข ปัญหา เพื่อนำเสนอผังโรงงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การปรับปรุงแผนผังโรงคั ดบรรจุพีชผัก โครงการหลวงขุนแปะ มีวิธีการดำเนินโครงการ ดังนี้

3.1 กระบวนการผลิตโรงคัดบรรจุพืชผัก

กระบวนการผลิตพืชผักแต่ละชนิดในโรงคัดบรรจุพืชผักศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนแปะ แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการคัดบรรจุ ได้แก่ ขั้นตอนกระบวนการคัดบรรจุผักทั่วไป ขั้นตอนกระบวนการคัดบรรจุผักMK และขั้นตอนกระบวนการคัดบรรจุบร็อคโคลี่ มีขั้นตอนการคัดบรรจุบางขั้นตอนที่คล้ายกัน ส่วนบร็อคโคลี่จะมีขั้นตอนที่เพิ่มเข้ามาคือการบรรจุน้ำแข็งลงในกล่องโฟม แสดงดังรูป



รูปที่ 1 ขั้นตอนการคัดบรรจุ

3.2 แผนภาพการไหล (Flow Diagram) ของกระบวนการคัดบรรจุ ก่อนปรับปรุง

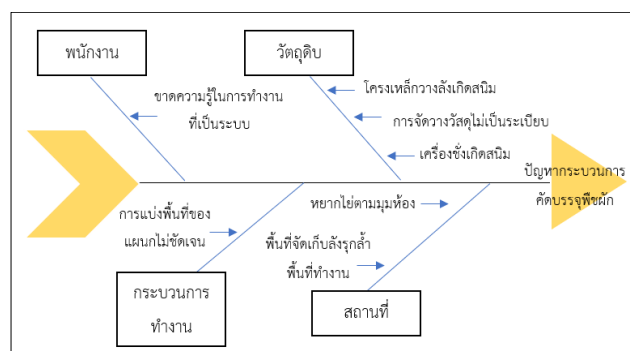
แผนภาพการไหลใช้วิเคราะห์และเปรียบเทียบการไหลของกระบวนการคัดบรรจุกะหล่ำปลี ผักกาดขาวปลี คอสลัด เบบี้คอส บัตเตอร์เฮด และบร็อคโคลี่ แสดงให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในแผนภาพการไหล ดังต่อไปนี้ การไหลของกระบวนการคัดบรรจุบร็อคโคลี่ที่มีเส้นทางขนถ่ายลงบรรจุพืชผักทับซ้อนผ่านสถานีงานภายในโรงคัดบรรจุของกระบวนการตั้งแต่รับผลผลิตจนพักผลผลิตและสำหรับตำแหน่งพื้นที่การจัดเก็บลังในผังโรงงานปัจจุบันจะไม่แสดงเส้นทางการไหลในแผนผัง เนื่องจากเป็นขั้นตอนการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ของกระบวนการคัดบรรจุพืชผัก ซึ่งตำแหน่งจุด 12, 13, 15, 16 ประกอบด้วย จุดพื้นที่จัดเก็บลังผักทั่วไป จุดพื้นที่จัดเก็บลังผักMK จุดพื้นที่จัดเก็บพาเลทและแฮนด์ลิฟท์ จุดพื้นที่จัดเก็บกล่องโฟม ตามลำดับ โดยการจัดตำแหน่งดังกล่าว ทำให้เกิดจุดการไหลทับซ้อนหลายจุด รายละเอียดแสดงดังรูป



รูปที่ 2 แผนภาพการไหล (Flow Diagram) ของกระบวนการคัดบรรจุพีซีพีซฝักทั้ง 3 ประเภท

3.3 วิเคราะห์สภาพปัญหา

วิเคราะห์สภาพปัญหาโดยใช้ แผนผังสาเหตุและผล ซึ่งทำให้มองเห็นถึง ปัญหาในโรงงานคัดบรรจุพีซีพีซฝักได้ชัดเจนขึ้น ดังนี้ ในด้านพนักงานขาดความรู้ ในการทำงานที่เป็นระบบ การหยอกล้อกันขณะทำงาน และด้านวัตถุดิบมีการจัดเก็บ วัสดุไม่เป็นระเบียบ ไม่มีการจัดเรียงตามป้ายชื่อวัสดุที่ติดไว้ภายในห้องจัดเก็บวัสดุอุปกรณ์ ซึ่งส่งผลเสียต่อการหยิบใช้งาน และภายในสถานีงานคัดบรรจุ ได้วางลังบรรจุพีซีพีซฝักมีการเกิดสนิม และในด้านกระบวนการทำงานไม่มีการแบ่งแยกสถานีงานที่ชัดเจน และด้านสถานที่ นั้นพื้นที่จัดเก็บลังรูล้ำพื้นที่ทำงาน ส่งผลให้เส้นทางขนถ่ายผลผลิตที่มากเกินไป มีสิ่งกีดขวางบริเวณเส้นทางดำเนินงานและยังมีหากไต่ตามมุมห้องที่อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อ ผลผลิต



รูปที่ 3 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ปัญหากระบวนการคัดบรรจุพีซีพีซฝัก

3.4 กำหนดวิธีการแก้ไขปัญหา

ในการกำหนดวิธีการแก้ปัญหา ใช้แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์-ปริมาณ เพื่อแสดงให้เห็นถึงกระบวนการผลิต และทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกิจกรรม เพื่อกำหนดความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมได้ดังนี้

3.4.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ - ปริมาณ (P-Q Chart)

แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรมผลิตภัณฑ์ (P) และปริมาณ (Q) มีลักษณะเส้นกราฟมีโค้งขึ้น แสดงให้เห็นกระบวนการผลิตจำนวนที่ไม่มาก ผลิตตามใบสั่งซื้อ เปลี่ยนแปลงได้ตลอด การผลิตไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงเลือกรูปแบบการวางผังโรงงานแบบกระบวนการผลิต (Process Layout) พิจารณาจากพีซผัก 6 ชนิด ได้แก่ กะหล่ำปลี ผักกาดขาวปลี คอสลัด เบบี๋คอส บัตเตอร์เฮด และบร็อคโคลี่ที่มีกระบวนการคล้ายกัน

3.4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกิจกรรม

3.4.2.1 การคำนวณจำนวนช่องความสัมพันธ์ทั้งหมด จากสมการ (1)

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (1)$$

เมื่อ N คือ จำนวนรวมของความสัมพันธ์ทั้งหมด

n คือ จำนวนแผนกทั้งหมดจำนวนกิจกรรม (n) = 17 กิจกรรม

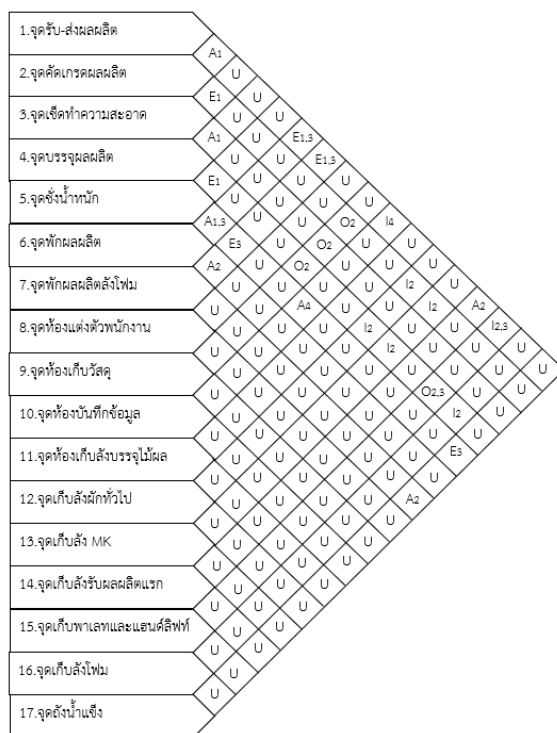
$$N = \frac{17(17 - 1)}{2} = 136$$

ดังนั้น จำนวนระดับความสัมพันธ์ทั้งหมด (N) คือ 136

3.4.2.2 เกณฑ์กำหนดคะแนนความสัมพันธ์ เพื่อป้องกันไม่ให้อำนาจคะแนนระดับ A สำหรับแต่ละคู่ของกิจกรรมมากเกินไป เพราะหากความสัมพันธ์ระดับ A ควรจะอยู่ติดกับกิจกรรมอื่น 2 กิจกรรมเท่านั้น

3.4.2.3 แผนภูมิความสัมพันธ์ (Relationship Chart) แสดงถึงความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรม ระดับความสัมพันธ์ตัวอักษร A, E, I, O, U, X การกำหนดระดับความสัมพันธ์ลงในแผนภูมิความสัมพันธ์ สามารถหาค่าความสัมพันธ์กันของแต่ละแผนกมากที่สุดในระดับ A มี 7 คู่แผนก คือ 1-2, 1-14, 3-4, 5-6, 6-7 และ 7-17 สัมพันธ์กันมากในระดับ E มี 6 คู่แผนก คือ 1-6, 1-7, 2-3, 4-5, 5-7 และ 5-17 สัมพันธ์กันปานกลางในระดับ I มี 7 คู่แผนก คือ 1-10, 1-15, 2-12,

2-13, 4-12, 4-13 และ 4-16 สัมพันธ์กันน้อยในระดับ O มี 4 คู่แผนก คือ 2-9, 3-9, 4-9 และ 4-15 ส่วนที่เหลือสัมพันธ์กันน้อยที่สุดในระดับ U มี 112 คู่แผนก แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภูมิความสัมพันธ์กระบวนการตัดบรรจุพืชผัก

4. ผลการวิจัย

จากแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม นำมาออกแบบแผนผังโรงคัดบรรจุใหม่ได้ทั้งหมด 5 ผังทางเลือก ภายใต้ข้อจำกัดเชิงปฏิบัติในการออกแบบ แผนผังโรงคัดบรรจุใหม่ ได้แก่ การออกแบบผังโรงงานโดยหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร (GMP) ข้อจำกัดโครงสร้างอาคารภายนอกและภายในที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้าง รากฐาน และพื้นอาคารได้ อีกทั้งไม่สามารถเพิ่มหรือลดพื้นที่ทั้งหมดในโรงงาน และไม่สามารถขยายโครงสร้างอาคารไปยังบริเวณโดยรอบโรงงานได้ ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มแผนผังโรงคัดบรรจุหลังการปรับปรุงออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการจัดวางโต๊ะคัดบรรจุแนวขนานจำนวน 2 แผนผัง และกลุ่มการปรับลดจำนวนถ้ำน้ำแข็งจำนวน 3 แผนผัง รายละเอียดดังนี้

4.1 ผังโรงงานหลังการปรับปรุง ผังที่ 1

การปรับปรุงด้วยการวิเคราะห์จากอัลกอริทึมวางแผนโรงงาน CORELAP โดยใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างสถานงาน เชิงคุณภาพจากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ แผนภูมิความสัมพันธ์กระบวนการคัดบรรจุพืชผักของแต่ละหน่วยงาน จากนั้นแปลงเป็นตัวเลขเชิงปริมาณเพื่อใช้จัดผังโรงงานเริ่มต้นนำมาประยุกต์ นอกเหนือจากการจัดวางโต๊ะคัดบรรจุแนวขนาน มีการรวมสถานงานของจุดพักผลผลิต ได้แก่ สถานงานที่ 6, 7 เนื่องจากจุดพักผลผลิตที่ 7 เป็นจุดพักผลผลิตกล่องโฟมของบรีอคโคลี่นั้น ในบางกรณีมีคำสั่งซื้อที่น้อย จะสามารถแบ่งพื้นที่ให้กับจุดพักผลผลิตผักชนิดอื่นๆได้ และสลับสถานงานโยกย้ายสถานงานที่ 5 จุดซังน้ำหนัก, สถานงานที่ 10 ห้องบันทึกข้อมูลไปบริเวณมุมของโรงคัดบรรจุเพื่อความสะดวกของการขนถ่ายไปยังจุดกระบวนการต่อไป

4.2 ผังโรงงานหลังการปรับปรุง ผังที่ 2

การปรับปรุงด้วยการวิเคราะห์จัดสถานงานที่มีความสัมพันธ์ โดยแผนภาพแสดงเส้นระดับความสัมพันธ์ นำมาใช้ในการปรับตำแหน่งงานหรือกิจกรรมต่างๆ ภายในโรงคัดบรรจุ นอกเหนือจากการจัดวางโต๊ะคัดบรรจุแนวขนาน มีการจัดวางตำแหน่งสถานงานให้เป็นระเบียบชิดตามผนังโรงคัดบรรจุ จัดเส้นทางการขนถ่ายให้มีระยะที่เหมาะสม มีการรวมสถานงานที่ 6, 7 ซึ่งเป็นจุดพักผลผลิตเพื่อรอขนส่ง เนื่องจากจุดพักผลผลิตที่ 7 จุดพักผลผลิตกล่องโฟมของบรีอคโคลี่ในบางกรณีมีคำสั่งซื้อที่น้อย เพื่อสามารถแบ่งพื้นที่ให้กับจุดพักผลผลิตผักชนิดอื่นๆ และรวมสถานงานที่ 12, 13 เป็นพื้นที่จัดเก็บลังบรรจุรวมของลังผักทั่วไปและMK อีกทั้งสลับสถานงานที่ 11, 9 คือ ห้องเก็บลังไม้ผล และห้องเก็บวัสดุอุปกรณ์ เพื่อลดระยะทางการไหล

4.3 ผังโรงงานหลังการปรับปรุง ผังที่ 3

การปรับปรุงด้วยการปรับลดจำนวนถังน้ำแข็ง การปรับเปลี่ยนสลับตำแหน่งสถานงานอ้างอิงตามความสัมพันธ์ของกิจกรรม โดยปรับตำแหน่งสถานงานตามคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม ได้แก่ จุดคัดบรรจุผัก จุดเช็ดทำความสะอาดผลผลิต จุดบรรจุผลผลิต เป็นต้น

4.4 ผังโรงงานหลังการปรับปรุง ผังที่ 4

ปรับปรุงด้วยการปรับลดจำนวนถังน้ำแข็ง การปรับเปลี่ยนสลับตำแหน่งสถานงานอ้างอิงตามความสัมพันธ์ของกิจกรรม โดยปรับตำแหน่งสถานงานตามคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม และปรับทางเข้าของกระบวนการผลิต โดยเข้าทางด้านที่ติดกับจุดพื้นที่เก็บลังรับผลผลิตแรก เพื่อความสะดวกต่อการหยิบใช้งานของเกษตรกรที่นำพืชผักมาจัดส่ง มีการรวมสถานงานที่ 6, 7 ซึ่งเป็นจุดพักผลผลิตเพื่อรอขนส่ง เนื่องจากจุดพักผลผลิตที่ 7 จุดพักผลผลิตกล่องโฟมของบรีอคโคลี่ในบางกรณีมีคำสั่งซื้อที่น้อย เพื่อสามารถ

แบ่งพื้นที่ให้กับจุดพักผลผลิตผักชนิดอื่น ๆ สามารถจัดเก็บลังบรรจุได้มากที่สุด โดยไม่กีดขวางเส้นทางการไหล

4.5 ผังโรงงานหลังการปรับปรุง ผังที่ 5

ปรับปรุงด้วยการปรับลดจำนวนถ้ำน้ำแข็งแล้ววิเคราะห์การจัดสถานีงานที่มีความสัมพันธ์นำมาใช้ในการปรับตำแหน่งงานหรือกิจกรรมต่างๆ ภายในโรงคัดบรรจุ โดยปรับปรุงด้วยวิธีการเพิ่มจุดรับ-ส่งผลผลิตเป็นสองทาง เพื่อความสะดวกในการรับ-ส่งพืชผักเข้าสู่โรงคัดบรรจุพืชผักโดยทางเข้าที่หนึ่งเป็นด้านที่ติดกับพื้นที่เก็บลังรับผลผลิตแรก และทางเข้าที่สองคือบริเวณประตูเล็กด้านข้างโรงคัดบรรจุเป็นพื้นที่รับผลผลิตของบรีดโคคลีโดยเฉพาะ พื้นที่คัดบรรจุผักพื้นที่ซึ่งทำความสะอาดผลผลิต มีการจัดระเบียบปรับเส้นทางขนถ่ายบริเวณโดยรอบสถานีงานที่ 6 อีกทั้งสลับตำแหน่งสถานีงานปรับให้สถานีงานที่มีคู่ความสัมพันธ์อยู่ใกล้กัน ได้แก่ จุดชั่งน้ำหนัก จุดถ้ำน้ำแข็ง จุดพักผลผลิตกล่องโฟม จุดเก็บพาเลท-แฮนด์ลิฟท์

จากการออกแบบผังโรงงานหลังการปรับปรุง จึงวิเคราะห์ข้อดี ข้อเสียของแต่ละผัง โดยนำเกณฑ์น้ำหนัก จำนวนผลผลิตของผักกาดขาวปลีเป็นตัวอย่าง การเปรียบเทียบพิจารณาเลือกผังทางเลือกที่เหมาะสมด้วยตัวชี้วัดดังนี้

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผังโรงงานหลังการปรับปรุงด้วยตัวชี้วัด

ตัวชี้วัด	ผังโรงงาน ปัจจุบัน	ผังโรงงานหลังการปรับปรุง				
		1	2	3	4	5
1.ระยะทางการไหลทั้งหมด (เมตร)	96.94	87.85	67.65	80.81	92.96	82.69
2.ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด (นาที)	24.18	23.56	23.07	23.38	24.07	23.41
3.ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง (บาท)	0	8,250	8,250	0	0	0
4.ค่าผลรวมความใกล้เคียง	152	98	120	114	146	108
5.จำนวนเกษตรกรที่รอบ การรับซื้อ (ราย)	5	6	6	5	5	5
6.ปริมาณผลผลิตผักกาดขาวปลี (กิโลกรัม)	3,700	4,440	4,440	3,700	3,700	3,700
7.จำนวนถ้ำน้ำแข็ง (ถ้ำ)	5	5	5	4	4	4
8.ต้นทุนในการส่งถ้ำน้ำแข็ง (บาท)	1,260	1,260	1,260	1,180	1,180	1,180

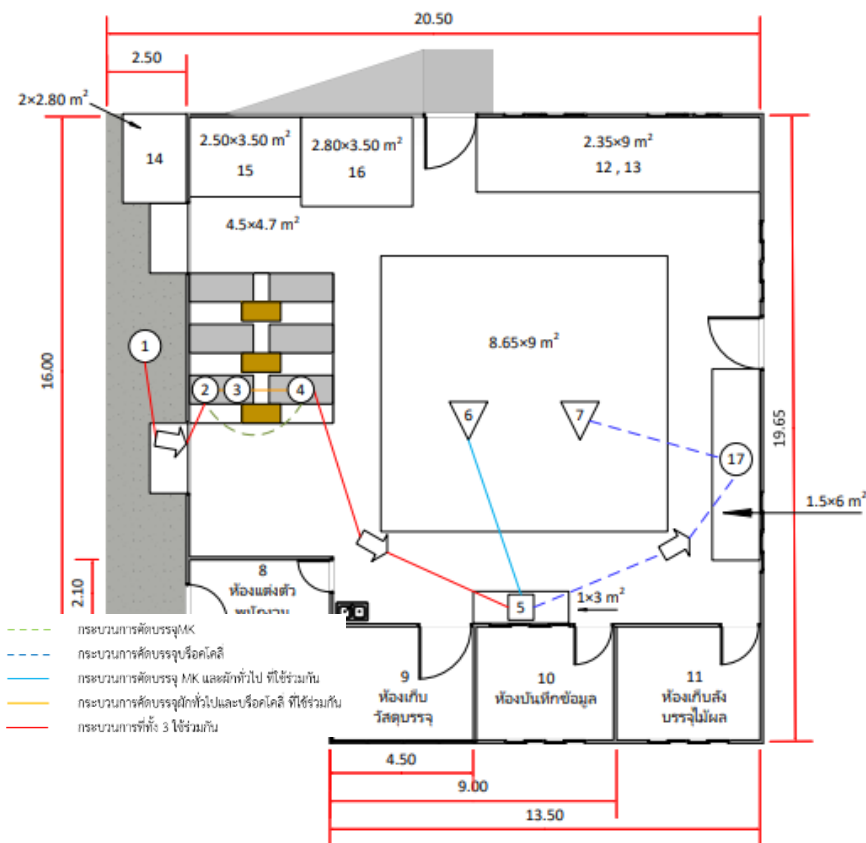
ตารางที่ 2 การประเมินผังโรงงานหลังการปรับปรุง

องค์ประกอบ	ผังโรงงานหลังการปรับปรุง				
	1	2	3	4	5
1.ระยะทางการไหล	3	5	3	2	3
2.ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด	2	5	4	1	3
3.ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง	2	2	5	5	5
4.ปริมาณผลผลิตผักกาดขาวปลี	5	5	3	3	3
5.การลดต้นทุนในการสั่งซื้อน้ำแข็ง	4	4	5	5	5
รวม	16	<u>21</u>	20	16	19

หมายเหตุ เกณฑ์การให้คะแนน 5 = ดีมาก, 4 = ดี, 3 = ปานกลาง, 2 = น้อย, 1 = น้อยที่สุด

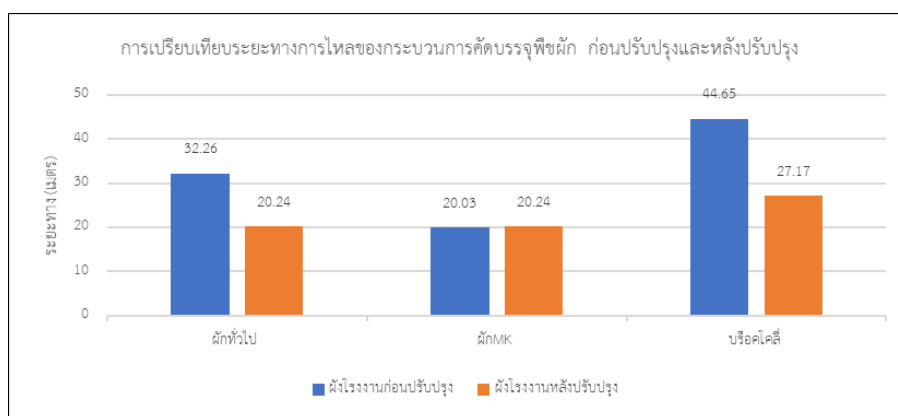
จากตารางที่ 1 การเปรียบเทียบกับตัวชี้วัดของผังโรงงานหลังการปรับปรุง แสดงให้เห็นว่าระยะทางการไหลของวัตถุดิบทั้งหมดมีระยะทาง ระยะเวลา ลดลงจากแผนผังโรงคัดบรรจุปัจจุบันทุกผังโรงงาน และค่าผลของความใกล้ชิดลดลงตามลำดับ โดยค่าผลของความใกล้ชิดแปรผกผันกับพื้นที่การทำงานที่เพิ่มขึ้น โดยในผังหลังการปรับปรุงที่ 1, 2 มีการจัดซื้อโต๊ะสแตนเลสเพิ่ม 1 ตัว ในกระบวนการคัดบรรจุสถานีงานที่ 2, 3, 4 ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลามากในกระบวนการคัด อีกทั้งลดจำนวนโครงเหล็กวางลังจากเดิม 5 ตัว ลดลงเป็น 3 ตัว โดย 1 โครงเหล็กวางลัง ใช้งานร่วมกับโต๊ะสแตนเลส 2 ตัว เพื่อลดระยะเวลาและเพิ่มจำนวนเกษตรกรที่มาส่งผลผลิตต่อรอบการรับซื้อมากขึ้น 1 รายเกษตรกร ในกรณีของผักกาดขาวปลีที่บรรจุผลผลิต จำนวนลังละ 10 กิโลกรัมนั้น ทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มจากเดิมเป็น 700 กิโลกรัมต่อวันพื้นที่ในจุดเก็บลังบรรจุผักทั่วไป, จุดเก็บลังบรรจุผักMK สามารถบรรจุลังได้เพียงพอต่อกระบวนการคัด เนื่องจากเดิมมีการจัดเก็บที่มากจนกีดขวางเส้นทางการดำเนินงาน ซึ่งผังหลังปรับปรุงที่ 2 มีการรวมพื้นที่ของจุดเก็บลังบรรจุผักทั่วไปและจุดเก็บลังบรรจุผักMK รวมเข้าด้วยกัน และจุดเก็บกล่องโฟมสามารถเพิ่มการจัดเก็บได้ในผังหลังการปรับปรุงที่ 1, 2 อีกทั้งจุดเก็บลังรับผลผลิตแรก สามารถบรรจุเพิ่มขึ้นทุกผังโรงงานหลังปรับปรุงเป็นจำนวน 160 ลัง และจุดพักผลผลิตผักกาดขาวปลี ผังโรงงานหลังการปรับปรุงผังที่ 1, 2, 4 มีการรวมกับจุดพักผลผลิตกล่องโฟมเป็นพื้นที่เดียวกัน เพื่อการใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากบางกรณีคำสั่งซื้อบรีคโคลี้น้อย ส่งผลให้การพักผลผลิตกล่องโฟมน้อย

เหลือพื้นที่ที่สามารถใช้พักผลผลิตแบบลังได้ โดยทุกผังมุ่งเน้นการแก้ปัญหาการจัดเก็บลังบรรจุที่เกิดขวางเส้นทางการขนถ่ายและการจัดระเบียบสถานีงาน วิธีการแก้ไขปรับพื้นที่และสลับตำแหน่งสถานีงานที่ 12 จุดเก็บลังบรรจุพักทั่วไป, สถานีงานที่ 13 จุดเก็บลังบรรจุพัก MK, สถานีงานที่ 14 จุดเก็บลังรับผลผลิตแรก, สถานีงานที่ 15 จุดเก็บพาเลทและแอนด์ลิฟท์, สถานีงานที่ 16 จุดเก็บกล่องโฟมจัดเก็บลังบรรจุแค่เพียงพอต่อการใช้งาน โดยผลจากการแก้ไขปัญหาก็สามารถจัดเก็บลังบรรจุได้โดยไม่เกิดขวางเส้นทางการขนถ่ายผลผลิต และในตารางที่ 2 การประเมินผังโรงงานหลังการปรับปรุงเป็นการประเมินหรือเปรียบเทียบผังทางเลือกโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน 5 ระดับดีมาก, 4 ระดับดี, 3 ระดับปานกลาง, 2 ระดับน้อย, 1 ระดับน้อยที่สุด ได้ข้อสรุปว่าผังหลังการปรับปรุงที่ 2 ได้รับคะแนนรวมสูงสุด 21 คะแนน เป็นผังทางเลือกที่เหมาะสมในการปรับปรุงแผนผังโรงคัดบรรจุพีซีพี โดยมีรายละเอียดของผังที่ได้หลังปรับปรุงดังรูปที่ 5

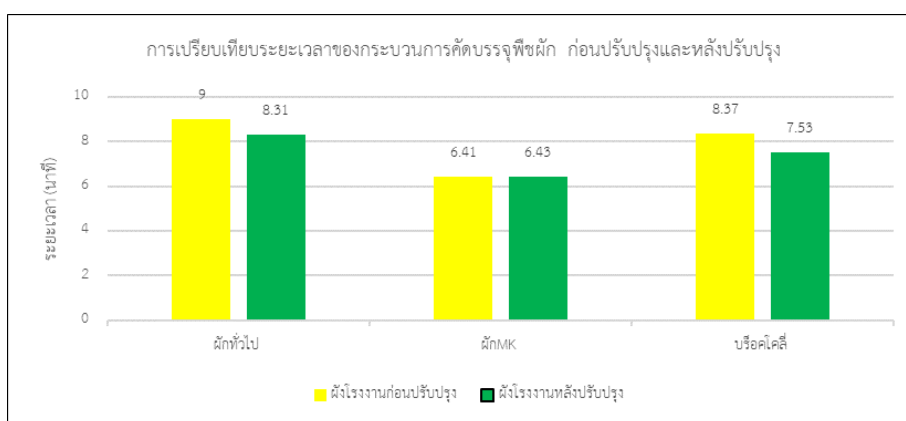


รูปที่ 5 ผังโรงงานหลังการปรับปรุง ผังที่ 2

สำหรับตำแหน่งพื้นที่ การจัดเก็บลังในผังโรงงานหลังปรับปรุงที่ 2 จะไม่มีแสดงเส้นทางการไหลในแผนผัง เนื่องจากเป็นขั้นตอนการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ของกระบวนการคัดบรรจุพืชผัก ซึ่งการจัดตำแหน่งจุด 12, 13, 15, 16 ดังกล่าวไม่ทำให้เกิดการทับซ้อนของเส้นทางการไหล โดยมีระยะทางการไหลทั้งหมด 67.65 เมตร ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด 23.07 นาที ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง 8,250 บาท ค่าผลรวมความใกล้ชิด 120 จำนวนเกษตรกรต่อรอบการรับซื้อ 6 ราย ปริมาณผลผลิตผักกาดขาวปลี 4,440 กิโลกรัม สามารถเก็บลังรับผลผลิตแรกได้ 160 ลัง เก็บลังบรรจุผักทั่วไปได้ 436 ลัง เก็บลังบรรจุผักจัดส่ง MK ได้ 300 ลัง และเก็บกล่องโฟมได้ 308 กล่อง



รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบระยะทางการไหลของกระบวนการคัดบรรจุพืชผัก



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบระยะเวลาของกระบวนการคัดบรรจุพืชผัก

จากกราฟเปรียบเทียบระยะเวลาของกระบวนการคัดบรรจุ ดังรูปที่ 6 กระบวนการคัดบรรจุผักทั่วไป เดิมมีระยะเวลาไหล 32.26 เมตร ปรับปรุงได้ 20.24 เมตร คิดเป็นร้อยละ 37.30 กระบวนการคัดบรรจุผักMK เดิมมีระยะเวลาไหล 20.03 เมตร ปรับปรุงได้ 20.24 เมตร คิดเป็นร้อยละ 1.04 เนื่องจากในกระบวนการเดิม มีการจัดวางสถานีงานที่มีความสะดวกแต่ก็ตขวางประตูเข้าออกโรงคัดบรรจุ กระบวนการคัดบรรจุบร็อคโคลี่ เดิมมีระยะเวลาไหล 44.65 เมตร ปรับปรุงได้ 27.17 เมตร คิดเป็นร้อยละ 39.10 สำหรับรูปที่ 7 แสดงกราฟเปรียบเทียบระยะเวลาของกระบวนการคัดบรรจุ โดยระยะเวลาของกระบวนการคัดบรรจุผักทั่วไป เดิมมีระยะเวลา 9.00 นาที หลังการปรับปรุงลดลงเป็น 8.31 นาที คิดเป็นร้อยละ 7.67 ระยะเวลาของกระบวนการคัดบรรจุผักMK เดิมมีระยะเวลา 6.41 นาที หลังการปรับปรุงลดลงเป็น 6.43 นาที คิดเป็นร้อยละ 0.31 ระยะเวลาของกระบวนการคัดบรรจุบร็อคโคลี่ เดิมมีระยะเวลา 8.37 นาที หลังการปรับปรุงลดลงเป็น 7.53 นาที คิดเป็นร้อยละ 10.03 และผลดังกล่าวเป็นผลที่ได้จากการหลังการปรับปรุงผังที่ 2

5. สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาข้อมูลทั่วไปและวิเคราะห์กระบวนการผลิตของแผนผังโรงคัดบรรจุพืชผัก โครงการหลวงขุนแปะ ด้วยการประยุกต์ทฤษฎีการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (SLP) และหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร (GMP) ภายใต้ข้อจำกัดของโรงงาน โดยทางคณะผู้จัดทำศึกษาการไหลของวัตถุดิบในกระบวนการผลิตของแผนผังโรงคัดบรรจุปัจจุบัน เพื่อกำหนดความสัมพันธ์ พิจารณาผังทางเลือกที่มีระยะทางการขนถ่ายที่สั้นที่สุด ระยะเวลาในกระบวนการผลิตที่น้อยที่สุด และค่าผลรวมความใกล้ชิดที่เหมาะสม แนะนำผังทางเลือกคือ ผังหลังการปรับปรุงที่ 2 สรุปผลที่ได้ดังนี้

1) การจัดวางตำแหน่งสถานีงานให้เป็นระเบียบชิดตามผนังโรงคัดบรรจุ จัดเส้นทางการขนถ่ายให้มีระยะที่เหมาะสม พื้นที่การจัดเก็บลังบรรจุของกระบวนการคัดบรรจุพืชผักสามารถเก็บลังรับผลผลิตแรกได้ 160 ลัง เก็บลังบรรจุผักทั่วไปได้ 436 ลัง เก็บลังบรรจุผักMK ได้ 300 ลัง และเก็บกล่องโฟมได้ 308 กล่อง

2) สามารถแบ่งพื้นที่จุดพักผลผลิตกล่องโฟมของบร็อคโคลี่ให้กับจุดพักผลผลิตผักชนิดอื่นๆได้ ไม่เกิดการทับซ้อนของเส้นทางการไหล โดยระยะทางกระบวนการไหลทั้งหมด 67.65 เมตร ลดลงร้อยละ 30.20 มีระยะเวลาในกระบวนการทั้งหมด 23.07 นาที ลดลงร้อยละ 4.59

3) ค่าผลรวมของความใกล้ชิดเท่ากับ 120 ซึ่งส่งผลให้มีพื้นที่การทำงานที่มากกว่า ผังโรงงานปัจจุบันและยังมีพื้นที่ว่างใช้สอยภายในโรงคัดบรรจุที่สามารถต่อเติมได้ในอนาคต

สามารถรับจำนวนเกษตรกรต่อรอบการรับซื้อ 6 ราย ส่งผลต่อการเพิ่มกำลังการผลิตได้ปริมาณ 700 กิโลกรัม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการหลวงขุนแปะที่ได้อนุเคราะห์สถานที่และข้อมูลในการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- วลัยพร ปราศจาก และ พงศ์พัฒน์ ช่วยบุตดา. (2560). การปรับปรุงผังโรงงานด้วยหลักการออกแบบผังโรงงานอย่างเป็นระบบ กรณีศึกษา: โรงงานผลิตดักท์แอร์. (โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
- พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล และคณะ. (2563). การออกแบบแผนผังทางเลือกสำหรับโรงงานแปรรูปผักและผลไม้. วารสารวิชาการศรีปทุม ชลบุรี. 16(4). 28-38.
- ปภาวดี ชำนินา และ อัฐพร ไกรอาบ. (2563). แนวทางการพัฒนาระบบการออกแบบและวางผังโรงงานสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร กรณีศึกษา: โรงงานผลิตปลาหมึกอบกรอบ. (โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอท บนซัลไฟด์คาร์บอนไอโอโทรดภายใต้การรีดักชันแบบไฟฟ้าเคมี

ศิวกร บวรสินธุชล*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ 254 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

*E-mail: sivakorn.bov@gmail.com , เบอร์โทรศัพท์: +66 63461 1456

บทคัดย่อ

ช่วงหลายปีที่ผ่านมาวัสดุแกรฟีนควอนตัมดอท (Graphene Quantum Dots) ได้ถูกนำมาใช้งานในด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมในแขนงต่าง ๆ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอทซึ่งมีศูนย์มิติ (0-D) ให้ได้โครงสร้างที่มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานทางด้านเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมี Electrochemical Sensor โดยจะทำการศึกษาผลของเวลาที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอท จากผลการทดสอบสัมฤทธิ์ฐานวิทยาแสดงให้เห็นว่าขนาดของสารที่เล็กส่งผลให้ประสิทธิภาพของการเร่งปฏิกิริยาดำเนินไปเร็วขึ้นตามไปด้วย การประยุกต์ใช้แกรฟีนควอนตัมดอทที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ที่นำมาใช้ในงานเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Sensor) สารตัวอย่างทั้งหมดที่ดัดแปลงมาเพื่อประยุกต์ใช้งาน จากผลการทดสอบพบว่ามีความตอบสนอง แต่อย่างไรก็ตามสารตัวอย่างที่ดัดแปลงมา ยังตอบสนองของสัญญาณได้น้อยกว่าซัลไฟด์คาร์บอนไอโอโทรดที่ไม่ได้ดัดแปลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากสารกระจายตัวในตัวทำละลายได้ไม่ดี มีขนาดอนุภาคใหญ่ เกาะกันเป็นก้อน ทำให้เกิดการอุดตันที่หน้าขั้ว ทำให้ขั้วรับส่งอิเล็กตรอนได้ไม่ดี

คำสำคัญ แกรฟีนควอนตัมดอท ซัลไฟด์คาร์บอนไอโอโทรด กราฟีนแบบพิมพ์สกรีน ไซคลิกโวลแทมเมทรี

Transformation graphene quantum dot structure on Ag electrodes under electrochemical reduction

Sivakorn. Bovornsintuchon*

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Address: 254 Phayathai Road, Wangmai, Pathumwan, Bangkok 10330

*E-mail: sivakorn.bov@gmail.com , เบอร์โทรศัพท์: +66 63461 1456

Abstract

Graphene quantum dots (GQDs) are now used in a variety of technological and innovative domains. Therefore, we investigated the impact of time on the structure modifications of GQDs in order to turn zero-dimensional (0-D) GQDs into structures suited for the use of electrochemical sensors. Morphological research revealed that electrocatalysis was more effective when GQDs were smaller in size. Graphene quantum dots were used in electrochemical sensors. According to research, all of them are appropriate for sensor applications. However, compared to the unmodified carbon electrodes, the changed samples were less sensitive. This could be due to inadequate solvent dispersion and a high particle size agglomeration that causes obscurity at the front of the pole and reduced transmission performance.

Keywords: Graphene quantum dot (GQDs), Graphene screen print electrode, Cyclic voltammetry (CV)

1. บทนำ

ช่วงหลายปีที่ผ่านมาวัสดุแกรฟีนควอนตัมดอท (Graphene Quantum Dots) ได้รับความนิยมนและพัฒนาขึ้นอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะพัฒนาในด้านการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ เนื่องจากสารตั้งต้นมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก จึงมีความเป็นพิษต่ำสามารถเข้ากับเซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้ดี ละลายน้ำหรือกระจายตัวดีในน้ำ สังเคราะห์ง่าย มีเสถียรภาพทางความร้อนสูง และนำไฟฟ้าได้ดี (Geim, 2009) นอกจากนี้ยังสามารถเรืองแสงได้หรือฟลูออเรสเซนซ์ (Zheng, 2015) รวมถึงคุณสมบัติในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนได้ดีอีกด้วย (Li, 2012) จากคุณสมบัติข้างต้นที่กล่าวมานั้นแกรฟีนควอนตัมดอทจึงถูกนำมาใช้งานในด้าน เทคโนโลยีและนวัตกรรมในแขนงต่าง ๆ เช่น เซนเซอร์ การพัฒนาระบบนำส่งยา (drug delivery systems) การถ่ายภาพทางชีวภาพ (bioimaging) และการตรวจวัดทางชีวภาพ (biosensors) เป็นต้น

ซึ่งแกรฟีนควอนตัมดอท (GQDs) เป็นวัสดุนาโนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นนั้น จะมีโครงสร้างวัสดุเป็นระบบ ศูนย์มิติ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงนาโนเมตร ประมาณ 1-10 นาโนเมตร³ อย่างไรก็ตาม เมื่อนำแกรฟีนควอนตัมดอท มาประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ นั้น ขนาดอนุภาคที่เหมาะสมอาจจะใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร ซึ่งเป็นขนาดอนุภาคที่นิยมนำมาใช้ในการศึกษานี้จะเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอทจากโครงสร้างจากศูนย์มิติ (0-D) ให้อยู่ในรูปของ หนึ่งมิติ (1-D) สองมิติ (2-D) และสามมิติ (3-D) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในด้านเซนเซอร์ ในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก โดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนแกรฟีน (Screen-Printed Graphene Electrode) ซึ่งในปัจจุบันในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ แกรฟีนควอนตัมดอทให้อยู่ในรูป 3D นั้นจะมีด้วยกันสองวิธีหลักๆ คือ วิธีการ Hydrothermal synthesis และ carbonized แต่ทั้งสองวิธีที่กล่าวมานั้นจะใช้ อุณหภูมิและความดันค่อนข้างสูงและยังต้องมีการกำจัดแอมโมเนียออกจากตัวแกรฟีนควอนตัมดอทก่อนที่จะนำมาใช้งาน

คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอท (GQDs) ซึ่งมีศูนย์มิติ (0-D)โดยใช้วิธีการไฟฟ้าเคมีซึ่งง่ายและใช้เวลาในการสังเคราะห์ไม่นาน เปลี่ยนแปลงโครงสร้างให้ได้โครงสร้างที่มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานทางด้านเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมี Electrochemical Sensor ในการตรวจจับไอออนของโลหะได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะทำการศึกษามวลของเวลาในการสังเคราะห์แกรฟีนควอนตัมดอทโดยวิธีการไฟฟ้าเคมีที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอทและวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอทและนำแกรฟีนควอนตัมดอทในช่วงเวลาต่างๆและนำมาทดลอง Cyclic

voltammetry เพื่อจะดูความสามารถในการนำไฟฟ้าและมาประยุกต์ใช้กับขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนแกรฟีนต่อไป

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้าง (Structure)

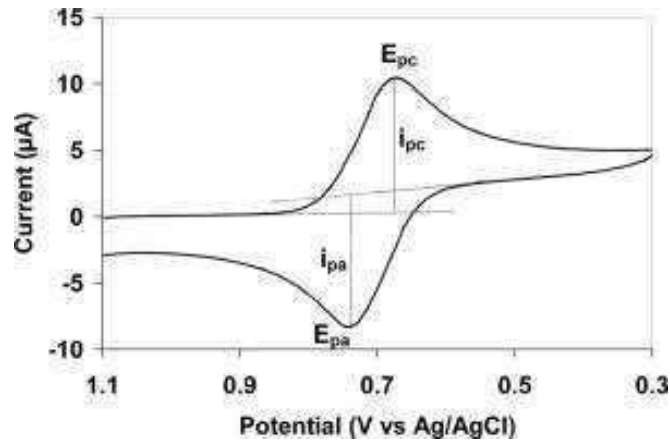
แกรฟีนควอนตัมดอทจัดเป็นวัสดุนาโนคาร์บอน ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมีโครงสร้างวัสดุเป็นระบบศูนย์มิติ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 นาโนเมตร (Liu, 2011) มีรูปร่างเป็นทรงกลม (circular) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยแกรฟีนควอนตัมดอทจะประกอบไปด้วยแผ่นแกรฟีนตั้งแต่ 1 ถึง 10 ชั้นโดยมีระยะห่างภายในระนาบ (graphitic in-plane latticespacing) อยู่ในช่วง 0.18 ถึง 0.24 นาโนเมตร และมีระยะห่างระหว่างระนาบ (graphitic inter-layer spacing) 0.33 นาโนเมตร

2.2 สมบัติเชิงไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Properties)

สมบัติเชิงไฟฟ้าเคมีหรือการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของแกรฟีนควอนตัมดอทนั้นจะขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของอะตอม คาร์บอนที่เป็นโครงสร้างหลัก ตัวแกรฟีนควอนตัมดอทมีขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 นาโนเมตร มีพื้นที่ผิวมาก อีกทั้งตัวแกรฟีนควอนตัมดอทยังมีพื้นที่บริเวณขอบ (edge site) มากจึงทำให้สามารถถ่ายโอนอิเล็กตรอนกับโมเลกุลต่างๆ ได้ดีเนื่องจากในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนกับโมเลกุลต่างๆนั้น ส่วนใหญ่จะเกิดการถ่ายโอนที่ บริเวณของขอบแกรฟีนควอนตัมดอทนั่นเอง (Shinde, 2013) จากข้อดีตรงนี้แกรฟีนควอนตัมดอทจึงมีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานทางเซนเซอร์ได้ดีนั่นเอง

2.3 ไชคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry:CV)

ไชคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry) เป็นเทคนิคหนึ่งที่น่ามาใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ(Quantitative analysis)ทางด้านเคมี เป็นเทคนิคที่ค่อนข้างง่ายรวดเร็ว โดยผลการวิเคราะห์จะแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ที่ใส่เข้าไปให้ขั้วไฟฟ้าและกระแสที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 1 โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นตรงตำแหน่ง E_{pc} จะเป็นกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยารีดักชันเรียกว่า กระแสแคโทดิกสูงสุด (Cathodic peak current) และ กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นตรงตำแหน่ง E_{pa} จะเป็นกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเรียกว่า กระแสแอนอดิกสูงสุด (Anodic peak current) (ธานินทร์ แดงกวารัมย์, 2013)



รูปที่ 1 ไซคลิกโวลแทมเมตริกกราฟ

2.4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแกรฟีนควอนตัมดอทโดยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี

เป็นการสังเคราะห์แกรฟีนควอนตัมดอทโดยใช้หลักการทางไฟฟ้าเคมีในการการเปลี่ยนโครงสร้างของคาร์บอนที่ทำการเคลือบที่ ทองแดง (Electro deposition) โดยในกระบวนการนี้เกิดจากอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล (OH) และอนุมูลอิสระของออกซิเจน (O) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำและพันธะเดี่ยวของคาร์บอนที่ ขั้วแอโนดทำหน้าที่เป็นเหมือนกรรไกรในการตัดสารเริ่มต้นที่ใช้สังเคราะห์ให้ได้เป็นแกรฟีนควอนตัมดอท (Lu et al., 2009) นอกจากนี้สารละลายอิเล็กโทรไลต์กึ่งหนืด (supporting electrolyte) ยังสามารถแตกตัวและเข้าไปแทรกอยู่ในชั้นของคาร์บอนทำให้เกิดการแยกออกของชั้นคาร์บอนจนมีขนาดเล็กกลงและเกิดเป็นแกรฟีนควอนตัมดอท (Li et al., 2013; Zheng et al., 2015) ซึ่งแกรฟีนควอนตัมดอทที่เกิดขึ้นนี้มีช่วงการกระจายตัวของขนาดที่แคบ ซึ่งแสดงถึงความ เป็นเนื้อเดียวกันของสารผลิตภัณฑ์

2.5 ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน (screen printed electrodes)

ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนมีลักษณะคล้ายกับขั้วไฟฟ้าที่ใช้กันทั่วไปคือ ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้าสามขั้ว คือ ขั้วไฟฟ้าใช้งาน ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง และขั้วไฟฟ้าช่วย และใช้เทคนิคการพิมพ์คาร์บอนสกรีนลงบนวัสดุรองรับ ซึ่งการผลิตขั้วไฟฟ้าแบบพิมพ์สกรีนนี้มักออกแบบให้มีขนาดเล็กเพื่อให้ พกพาหรือเก็บรักษาได้อย่างสะดวกเพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์สารที่สนใจ สารเคมีที่ใช้สำหรับ การวิเคราะห์มีปริมาณที่ลดลง สามารถใช้แล้วทิ้งได้ ทำให้ลดการปนเปื้อนของสารได้

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สัญลักษณ์	ที่มา
1. แอมโมเนียม ซัลเฟต (Ammonium Sulfate)	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Thomas Baker
2. แกรฟีนควอนตัมดอท (GQDs from west acetic)	GQDs	บริษัท คริสตัลโลด์ จำกัด
3. ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver Nitrate)	AgNO_3	

ตารางที่ 2 โลหะที่ใช้เป็นอิเล็กโทรด

อิเล็กโทรด	ที่มา
1. ฟอยล์ทองแดง (ความหนา 0.1 mm, 99.9999%)	Alfa Aesar
2. ฟอยล์แพทินัม (ความหนา 0.1 mm, 99.9999%)	Alfa Aesar
3. แท่งแพทินัม (ความยาว 76 mm, เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm)	Metrohm

3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

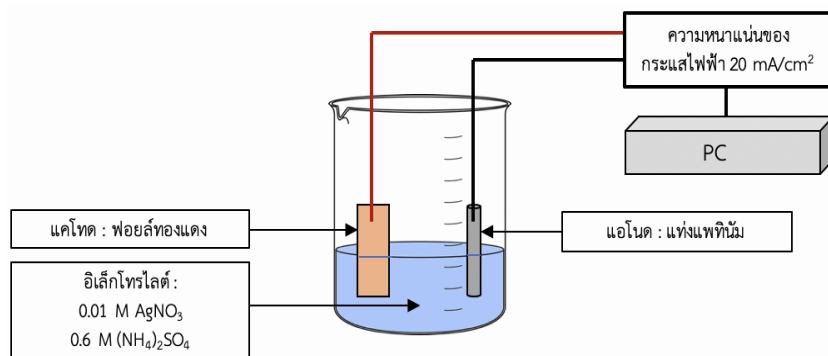
3.2.1 การเตรียมอิเล็กโทรด

นำฟอยล์ทองแดง ($10 \times 25 \text{ mm}^2$) ตามที่แสดงในตารางที่ 2 ชัดด้วย กระดาษทราย 800 G และทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นนำอิเล็กโทรดที่ชัดแล้วไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

3.2.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาฟอยล์ทองแดง

ตัวเร่งปฏิกิริยาฟอยล์ทองแดง ถูกดีโพสิท (Deposit) เพื่อเพิ่มความสามารถในการนำไฟฟ้า ใน 0.01 M AgNO_3 และ $0.6 \text{ M } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ดังแสดงในตารางที่ 1

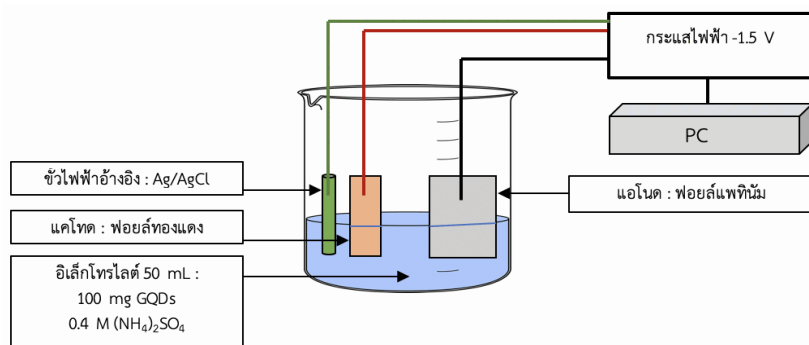
ซึ่งใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์ โดยมีแท่งแพทินัมซึ่งใช้เป็นแอโนด และฟอยล์ทองแดงซึ่งใช้เป็นแคโทด ดังรูปที่ 2 และใช้ความหนาแน่น ของกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 20 mA/cm^2 เป็นเวลา 20 วินาที เพื่อให้ AgNO_3 มาเกาะที่บริเวณผิวของทองแดง



รูปที่ 2 การวางตำแหน่งอิเล็กโทรดสำหรับเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาฟอยล์ทองแดง

3.3 การทดลองการเปลี่ยนโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอทด้วยวิธีเคมีไฟฟ้า

ตัวเร่งปฏิกิริยาฟอยล์ทองแดงถูกจุ่มลงไป 100 mg GQDs และ $0.4 \text{ M } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์ โดยมีฟอยล์แพทินัมซึ่งใช้เป็นแอโนด ฟอยล์ทองแดงซึ่งใช้เป็นแคโทด และขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference Electrode: Ag/AgCl) เป็นขั้วไฟฟ้าที่ใช้เทียบศักย์ไฟฟ้า แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ -1.5 V โดยเปรียบเทียบที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 15, 30, 45 และ 60 นาที โดยกระแสไฟฟ้าจะทำปฏิกิริยายากกลับ GQDs ที่ละลายอยู่ใน $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ แล้วเปลี่ยนโครงสร้างจากศูนย์มิติ (0-D) กลายเป็น (3-D)



รูปที่ 3 การวางตำแหน่งอิเล็กโทรดสำหรับการทดลองการเปลี่ยนโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอทด้วยวิธีอิเล็กโทรเคมีคอล

3.4 วิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอท

3.4.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (Scanning electron microscope-energy dispersive X-ray spectroscopy : SEM-EDX)

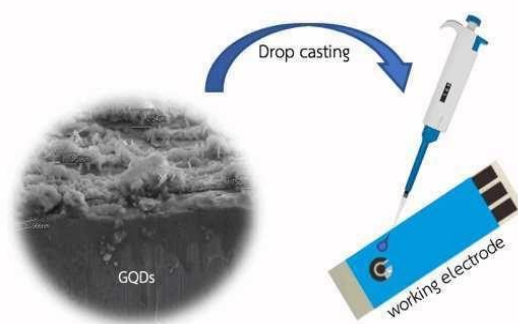
นำแกรฟีนควอนตัมดอทที่ได้จากการทดลองที่เวลาต่าง ๆ (15, 30, 45 และ 60 นาที) ไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของ Hitachi mode S-3400N และเครื่อง X-ray spectroscopy แบบกระจายพลังงาน (EDX) เพื่อตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพื้นผิวและองค์ประกอบของธาตุ ตามลำดับ

3.4.2 เทคนิครามานสเปกโทรสโกปี (Raman Spectroscopy)

นำแกรฟีนควอนตัมดอทที่ได้จากการทดลองที่เวลาต่าง ๆ (15, 30, 45 และ 60 นาที) ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์ของ Waltham, USA โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นที่ 532 นาโนเมตร และใช้เอาต์พุตเลเซอร์คือ 10 mW เพื่อตรวจสอบโครงสร้างของโมเลกุล

3.5 การประยุกต์ใช้งานทางด้านเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมี Electrochemical Sensor

นำ GQD ที่เปลี่ยนโครงสร้างโดยวิธีเคมีไฟฟ้า จำนวน 2 mg ละลายใน DMF ปริมาตร 1 mL จากนั้น sonicated เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หยดสารจำนวน 1 uL ลงบนหน้าขั้ว working electrode ปลอຍให้แห้ง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นหยดสารจำนวน 1 uL ลงบนหน้าขั้วอีกครั้ง ปลอຍให้แห้ง ที่อุณหภูมิห้องนำขั้วไฟฟ้าที่ดัดแปรมาทดสอบด้วยสาร $[Fe(CN)]^{3-/4-}$ ที่ความเข้มข้น 5 mM เพื่อวัดหาค่าการนำไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 4 การทดสอบเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมี Electrochemical sensor

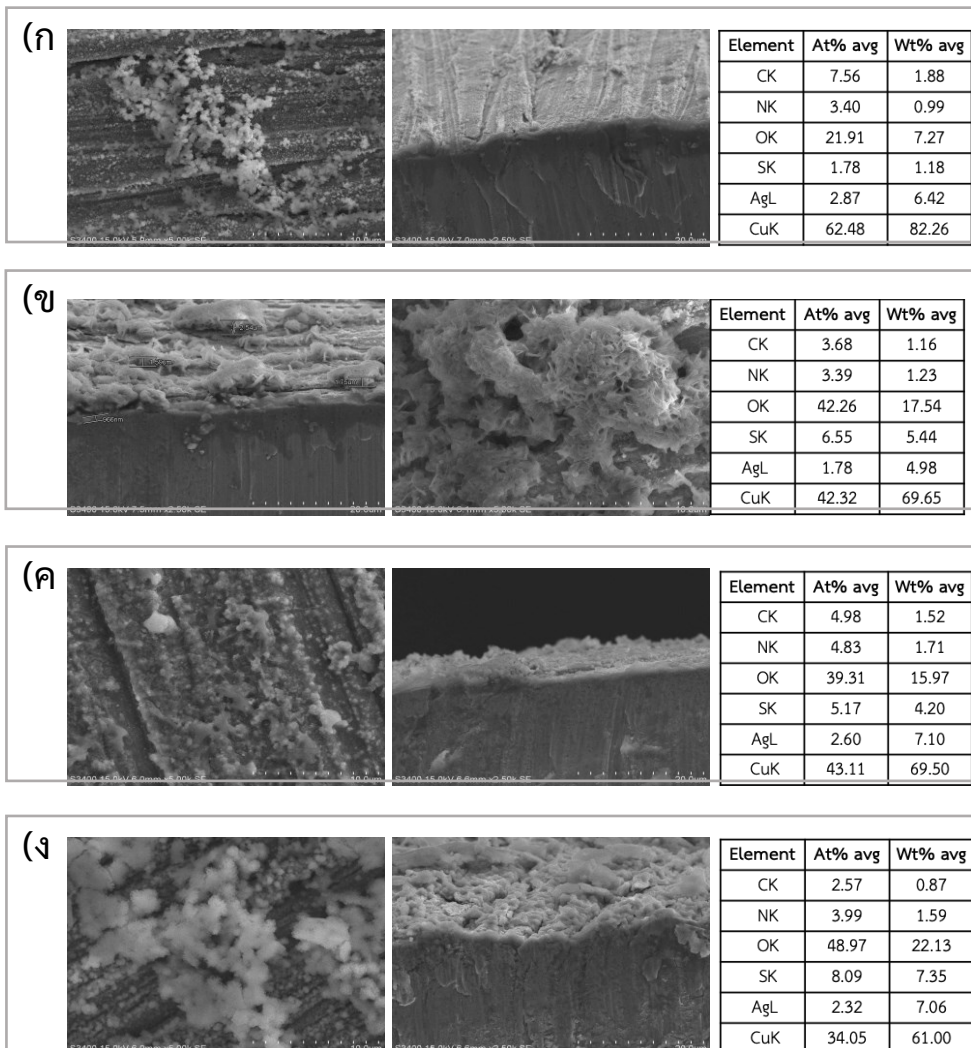
4. ผลการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของเวลาที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอท ได้ทำการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบและโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอท และนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมี โดยการแปลผลการศึกษาจะกำหนดชื่อของตัวอย่างดังนี้

1. O-S-1 คือ แกรฟีนควอนตัมดอทที่ได้จากการทดลองที่เวลา 15 นาที
2. O-S-2 คือ แกรฟีนควอนตัมดอทที่ได้จากการทดลองที่เวลา 30 นาที
3. O-S-3 คือ แกรฟีนควอนตัมดอทที่ได้จากการทดลองที่เวลา 45 นาที
4. O-S-4 คือ แกรฟีนควอนตัมดอทที่ได้จากการทดลองที่เวลา 60 นาที

4.1 ผลของเวลาที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอท

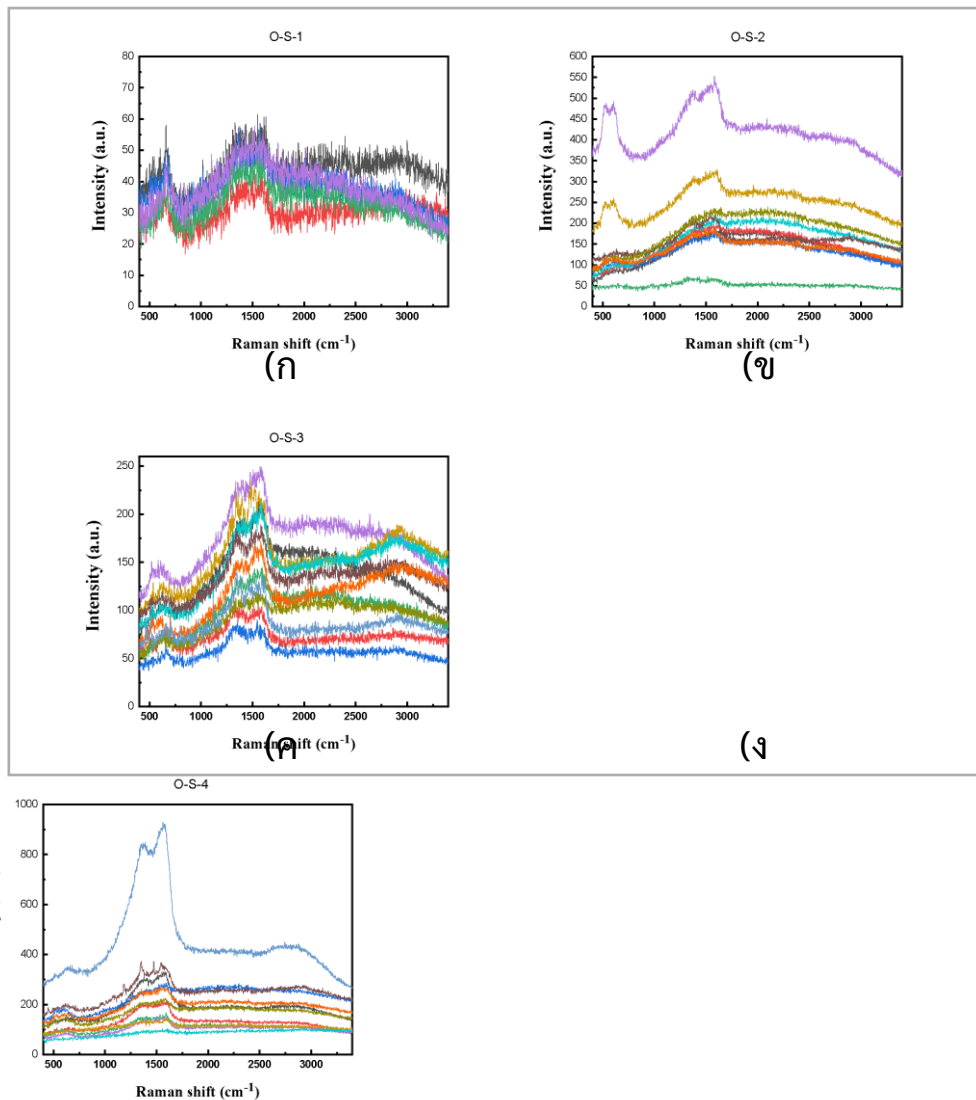
ผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงในรูปที่ 5 โดยเราจะดู GQDs ที่มีขนาดเล็กเนื่องจากจะทำให้ประสิทธิภาพของการเร่งปฏิกิริยาด้วยไฟฟ้าดีขึ้น (Piriya Pinthong, 2022) จากผลการทดสอบสัณฐานวิทยาของสารตัวอย่างพบว่าสารตัวอย่าง S-O-2 มีขนาดเล็กไม่เกาะตัวเป็นก้อน รองลงมาเป็นสารตัวอย่าง S-O-3 ส่วนสารตัวอย่าง S-O-2 และ S-O-4 มีขนาดใหญ่และมีความเกาะตัวเป็นก้อน และโครงสร้างไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทำให้พบว่าในช่วงเวลา 30-45 นาทีเป็นช่วงที่ดีที่สุดในการดเปลี่ยนโครงสร้าง GQDs ไปเป็นแบบ 3-D ดีที่สุด



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ : SEM-EDX (ก) ตัวอย่าง O-S-1 (ข) ตัวอย่าง O-S-2 (ค)
ตัวอย่าง O-S-3 (ง) ตัวอย่าง O-S-4

ผลของรามานในรูปที่ 6 ซึ่งอธิบายว่าความเป็นระเบียบของสารตัวอย่างสังเกตจากสองจุดสูงสุดที่มีโครงสร้างแกรไฟต์จากแถบ D และ G ประมาณ 1350 และ 1580 cm^{-1} (Piriya Pinthong, 2022) จากผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างทั้งหมด พบว่าความเข้มแถบ G สูงบ่งชี้ว่าสารมีความเป็นระเบียบสูง ซึ่งทั้งสี่ตัวอย่างมีองค์ประกอบของคาร์บอนตามที่เรากำลังต้องการแต่ลักษณะในการรวมตัวจะต่างกัน จากกราฟจะเห็นว่าตัวอย่าง O-S-3 จะโครงสร้างจะมีความเป็นระเบียบมากที่สุด

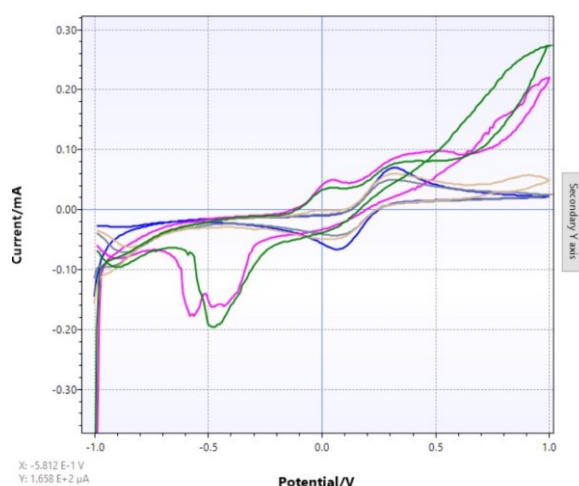


รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี (ก) ตัวอย่าง O-S-1
(ข) ตัวอย่าง O-S-2 (ค) ตัวอย่าง O-S-3 (ง) ตัวอย่าง O-S-4

4.2 การประยุกต์ใช้แกรฟีนควอนตัมดอทที่ได้จากการเปลี่ยนโครงสร้าง ในเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Sensor)

นำ GQD ที่เปลี่ยนโครงสร้างโดยวิธีเคมีไฟฟ้า จำนวน 2 mg ละลายใน DMF เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วหยดสารจำนวน 1 μ L ลงบนหน้าขั้ว working electrode พบว่าสารค่อนข้างมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ ไม่ค่อย dispersed และจากผลการทดสอบพบว่าสารตัวอย่าง O-S-1 และ

O-S-4 ให้จุดสูงสุดของกราฟที่มีลักษณะคล้ายกัน สารตัวอย่าง O-S-2 และ O-S-3 ให้จุดสูงสุดของกราฟที่มีลักษณะคล้ายกัน ดังรูปที่ 7 จากค่าความต่างศักย์ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Anodic peak current: E_{pa}) พบว่าคาร์บอนอิเล็กโทรดที่ไม่ได้ดัดแปลงได้ค่า E_{pa} สูงที่สุด รองลงมาเป็น สารตัวอย่าง O-S-3, O-S-1, O-S-2 และ O-S-4 ตามลำดับ จากตรงนี้สรุปได้ว่า ตัวอย่าง แกรฟีนควอนตัมดอท ทั้งสี่ตัวอย่างนั้นมีขนาดที่ใหญ่เกินไปจึงทำให้การนำไฟฟ้าที่วัดโดย Cyclic voltammetry เกิดการนำไฟฟ้าไม่ดีเมื่อเทียบกับขั้วที่ไม่ได้หดยดแกรฟีนควอนตัมดอท เข้าไปผสม



รูปที่ 7 ผลการประยุกต์ใช้งานทางด้านเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมี Electrochemical Sensor: กราฟสีน้ำเงินคือคาร์บอนอิเล็กโทรดที่ไม่ได้ดัดแปลง, สีชมพูคือสารตัวอย่าง O-S-1 ที่ดัดแปลงมาเป็นคาร์บอนอิเล็กโทรด, สีเทาคือสารตัวอย่าง O-S-2 ที่ดัดแปลงมาเป็นคาร์บอนอิเล็กโทรด, สีส้มคือสารตัวอย่าง O-S-3 ที่ดัดแปลงมาเป็นคาร์บอนอิเล็กโทรด และสีเขียวคือ สารตัวอย่าง O-S-4 ที่ดัดแปลงมาเป็นคาร์บอนอิเล็กโทรด

5. สรุปและอภิปรายผล

จากผลการทดสอบสัญญาณวิทยาของสารตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าในการกำหนดช่วงเวลาการทดลองปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ตั้งแต่เวลา 15,30,45,60 นาที พบว่า ลักษณะโครงสร้างของแกรฟีนควอนตัมดอทที่ระยะเวลา 15 และ 60 นาทีที่มีลักษณะโครงสร้างที่ค่อนข้างคล้ายกันจะยังมีลักษณะโครงสร้างเปลี่ยนไปเล็กน้อย(ยังมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบดอท 0-มิติ) เนื่องจากว่าในเวลา 15 นาทีมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันน้อยเกินไปทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดได้น้อยจึงไม่สามารถเปลี่ยนโครงสร้างได้มาก

และในขณะที่เวลา 60 นาทีนั้นเมื่อปฏิกิริยาผ่านไปสัฟกอิเล็กตรอนจะหยุดเคลื่อนที่จากขั้วแอโนดไปที่แคโทด เนื่องจากความเข้มข้นของไอออนบวกรอบๆแอโนดสูงจึงดึงอิเล็กตรอนที่แอโนดไม่ให้เคลื่อนที่ไปที่ขั้วแคโทด และในขณะเดียวกันนั้น ความเข้มข้นไอออนลบรอบๆขั้วแคโทดสูงจึงผลักอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่เข้ามาไม่ให้เข้ามาใกล้แคโทด แต่ในขณะที่เวลา 30,45 นาที นั้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแกรฟีนควอนตัมดอทไปเป็นโครงสร้างลักษณะผลึกใหญ่คล้ายกัน เนื่องจากว่าเป็นเวลาที่เหมาะสมในการให้อิเล็กตรอนวิ่งเข้าไปในปริมาณที่เหมาะสมกับการเปลี่ยนโครงสร้างนั่นเอง

จากการประยุกต์ใช้แกรฟีนควอนตัมดอทที่ได้จากการเปลี่ยนโครงสร้างในเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Sensor) สารตัวอย่างทั้งหมดที่ดัดแปลงมาเพื่อประยุกต์ใช้งานมีสัญญาณตอบสนอง แต่อย่างไรก็ตามสารตัวอย่างที่ดัดแปลงมาจึงตอบสนองได้น้อยกว่าขั้วของสารคาร์บอนอิเล็กโทรดที่ไม่ได้ดัดแปลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากสารกระจายตัวในตัวทำละลายได้ไม่ดี มีขนาดอนุภาคใหญ่ เกะกะกันเป็นก้อน ทำให้เกิดการบดบังที่หน้าขั้ว ทำให้ขั้วรับส่งอิเล็กตรอนได้ไม่ดี จึงแนะนำว่าให้ทำสารตัวอย่างคาร์บอนมาทำให้ขนาดเล็กลงและมีความเป็น Homogeneous มากกว่านี้เพื่อที่จะได้เพิ่มการกระจายตัวและส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าดีขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก ศ.ดร. จุঞ্জัย ปันประนต (อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก) และบริษัท คริสตัลไลต์ จำกัด ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ตลอดจนงบประมาณสนับสนุนในงานวิจัยนี้ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจศึกษาต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- ธานินทร์ แต่งกวารัมย์, ม. ถ. (2013). การพัฒนาเคมีคอลเซนเซอร์สำหรับวัดตะกั่วในน้ำผิ่่งด้วยขั้วไฟฟ้าปิสมัทอะมัลกัม-ท่อคาร์บอนนาโนปรับแต่งด้วยโคโดซานแบบเชื่อมไข้ว. *มหาวิทยาลัยแม่โจ้*, 1-133.
- Geim, A. K. (2009). Graphene: status and prospects. *Science* 324(5934), 1530-1534.
- Lerato L. Mokoloko, R. P. (2022). The Transformation of 0-D Carbon Dots into 1-, 2- and 3-D Carbon Allotropes: A Minireview. *Nanomaterials* , 2515.

- Li, Q. Z. (2012). Nitrogen-doped colloidal graphene quantum dots and their size-dependent electrocatalytic activity for the oxygen reduction reaction. *Journal of the American Chemical Society* 134(46), 18932–18935.
- Liu, R. W. (2011). Bottom-up fabrication of photoluminescent graphene quantum dots with uniform morphology. *Journal of the American Chemical Society* 133(39), 15221–15223.
- Pan, D. Z. (2010). Hydrothermal route for cutting graphene sheets into blue-luminescent graphene quantum dots. *Advanced Materials* 22(6), 734–738.
- Piriya Pinthong, e. a. (2022). Room Temperature Nanographene Production via CO₂ Electrochemical Reduction on the Electrodeposited Bi on Sn Substrate. *Nanomaterials*, 3389.
- Rungkiat Nganglumpoon, e. a. (2022). Growing 3D-nanostructured carbon allotropes from CO₂ at room temperature under the dynamic CO₂ electrochemical reduction environment. www.elsevier.com/locate/carbon, 241-255.
- Shinde, D. B. (2013). Electrochemical resolution of multiple redox events for graphene quantum Dots. *Angewandte Chemie - International Edition* 52(9), 2482–2485.
- Zheng, X. T. (2015). Glowing graphene quantum dots and carbon dots : properties, syntheses, and biological applications. *Small* 11(14), 1620–1636.

การพัฒนาเครื่องวิเคราะห์ค่าสีเมล็ดกาแฟแบบพกพา ด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว

ธิติวัดน์ ตาคำ¹, นราวิชญ์ ความหมั่น^{1*}, วันเพ็ญ จิตรเจริญ² และวชิระ หล่อประดิษฐ์³

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
200 หมู่ 17 ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
200 หมู่ 17 ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000

³สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
41/1 หมู่ 7 ตำบลแม่งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

*Email : Naravittom@rmutl.ac.th, 08-4151-7164

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาเครื่องวิเคราะห์ค่าสีเมล็ดกาแฟแบบพกพาด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว เพื่อตรวจวัดความเข้มของสีเมล็ดกาแฟให้ได้มาตรฐานการส่งออกของอุตสาหกรรมกาแฟพิเศษ และ 2) เพื่อศึกษาผลการทดลองใช้เครื่องวิเคราะห์ค่าสีเมล็ดกาแฟแบบพกพาด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว เทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน โดยมีการใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นเมล็ดกาแฟที่ผ่านการผลิต ด้วยกระบวนการพิเศษ โดยงานวิจัยนี้ได้มีการผลิตเครื่องวิเคราะห์ค่าสีเมล็ดกาแฟแบบพกพา และเปรียบเทียบกับเครื่องมือวิเคราะห์ค่าสีแบบมาตรฐาน รวมถึงการใช้แบบบันทึกค่าสีในการบันทึกข้อมูลสีแบบ RGB โดยใช้ค่าทางสถิติที่ใช้ในการวัดค่าความเข้ากันได้ของสี คือค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสีเมล็ดกาแฟ โดยใช้เครื่องมือ Color Matching Tool

ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาเครื่องวิเคราะห์ค่าสีเมล็ดกาแฟแบบพกพาสามารถนำไปใช้งานได้จริง และค่าสีที่ได้จากเครื่องมือดังกล่าวไปใช้งานพบว่าความเข้ากัน(Matching) ของค่าสีที่ได้เมื่อเทียบกับเครื่องวัดสีมาตรฐาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88.6 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เครื่องวิเคราะห์ค่าสีแบบพกพา, เทคโนโลยีสมองกลฝังตัว, กาแฟ

The Development of Hand-Held Coffee Color Analyzer Embedded Technology

Thitiwat Ta-Kham¹, Naravit Khwamman^{1*}, Wanphen Jitjareon²
and Wachira Lawpradit³

¹ Department of Information Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang,
200 Moo 17 Pichai Subdistrict, Mueang District, Lampang, 52000

² Department of Food Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang,
200 Moo 17 Pichai Subdistrict, Mueang District, Lampang, 52000

³ Department of Information Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Tak,
41/1 Moo 7 Mai Ngam Subdistrict, Mueang District, Tak, 63000

*Email : Naravittom@rmutl.ac.th, 08-4151-7164

ABSTRACT

The purposes of the research were to develop a hand-held coffee color analyzer embedded technology in order to analyze the contrast of coffee color for the specialty coffee industry, and to compare embedded-technology hand-held coffee color analyzer with the standard device. In this research, the sample group was coffee beans which were produced by specialty process. Researchers developed the hand-held coffee color analyzer and compared results to the standard devices. In addition, color record papers were used to record RGB color values. Statistical calculation used was the color matching percentage by the color matching tool.

The research findings showed that the development of a hand-held coffee color analyzer was practical to use. It showed the color matching value of 88.6% by mean values when compared to the standard device.

Keywords: Hand-Held Color Analyzer, Embedded-technology, Coffee

1. บทนำ

กาแฟเป็นผลผลิตที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ธุรกิจผลิตกาแฟของประเทศไทยมีแนวโน้มเติบโตสูงขึ้น โดยข้อมูลการจัดตั้งธุรกิจการผลิตกาแฟในปี 2561 มีจำนวน 57 ราย เพิ่มขึ้น 37% เมื่อเทียบกับปี 2560 และมีธุรกิจที่ดำเนินกิจการอยู่ จำนวน 258 ราย มูลค่าทุน 3,675.43 ล้านบาท (Department of Business Development, 2019) โดยคาดว่าในปี พ.ศ. 2566 ตลาดเครื่องดื่มกาแฟของประเทศไทยจะมีแนวโน้มการเติบโตอย่างต่อเนื่อง มีมูลค่าตลาดที่ 64,517 ล้านบาท โดยกลุ่มลูกค้าหนุ่มสาววัยทำงานจะเป็นกลุ่มลูกค้าที่มีความต้องการประสบการณ์ในการดื่มกาแฟพิเศษทั้งที่บ้านและที่ทำงาน ดังนั้น ผู้ผลิตจำเป็นต้องพัฒนาสินค้าที่มีใช้วัตถุดิบคุณภาพสูง การนำเสนอรสชาติใหม่ออกสู่ตลาด โดยเฉพาะรสชาติที่แสดงออกถึงความพรีเมียมของกาแฟ (Khamsuri, 2019) กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ต้องอาศัยกรรมวิธีการผลิตหลายขั้นตอน โดยได้มีการจำแนกปัจจัยหลักที่จะส่งผลต่อคุณภาพกาแฟในแต่ละแก้ว ตามขั้นตอนการแปรรูปกาแฟทั้งหมดเป็นช่วง ๆ ได้แก่ การปลูก การคั่ว การบด และการสกัดหรือการชง เป็นต้น

สีเมล็ดกาแฟเป็นคุณลักษณะหนึ่งในการบ่งบอกคุณภาพและรสชาติของกาแฟ โดยเมล็ดกาแฟที่ได้จากวิธีเปียกจะมีสีเขียวอมเทา ซึ่งสื่อถึงคุณภาพที่ดีและสดใหม่ หากเมล็ดมีสีเหลืองจะสื่อถึงความเก่าและคุณภาพที่ด้อยลง การคั่วก็สะท้อนคุณภาพของกาแฟได้ด้วยเช่นกัน เช่น หากนำกลุ่มเมล็ดกาแฟที่มีเมล็ดกาแฟสีซีดหรือไม่สุกแก่ปะปน จะได้กาแฟคั่วที่มีสีน้ำตาลไม่สม่ำเสมอ หากกลุ่มเมล็ดดิบมีเมล็ดกาแฟที่มีสีแดงหรือสีน้ำตาลหรือสีดำปะปน จะได้กาแฟคั่วที่กลิ่นไม่ดีและรสชาติเปรี้ยวแบบหมักดอง เป็นต้น (พัชนี สุวรรณวิศลกิจ, 2559) คุณภาพด้านสีของเมล็ดกาแฟดิบ สีของเมล็ดกาแฟดิบเป็นลักษณะสำคัญสำหรับการจัดกลุ่มเมล็ดกาแฟดิบ ซึ่งขึ้นกับปัจจัยสำคัญหลายประการ เช่น สายพันธุ์ แหล่งปลูก การแปรรูป การเก็บรักษา ความชื้น สารอินทรีย์ และเยื่อหุ้มเมล็ด (silver skin) เมล็ดกาแฟอาจมีสีน้ำเงินอมเทาหรือสีฟ้า (grayish blue) สีเขียวปนเทา (grayish green) สีเขียวอมเทาน้ำตาล สีน้ำตาล และสีเหลือง ซึ่งเป็นเฉดสีที่ใช้เรียกกันตามมาตรฐานสากล ซึ่งสีที่แสดงให้เห็นว่าเป็นเมล็ดกาแฟดิบมีคุณภาพสูงคือสีน้ำเงินอมเทาหรือสีฟ้า (grayish blue) (Franca & Oliveira, 2008) โดยที่ Sivetz and Desrozier (1979) และ Freitas (2001) รายงานว่ากาแฟอบที่สีฟ้าถึงสีเขียวอมเทา (blue to gray green) คือเมล็ดกาแฟดิบมีคุณภาพสูง Mendes et. al. (2001) และ Bicho (2005) รายงานว่าสีของเมล็ดกาแฟดิบจะพัฒนาระหว่างการแปรรูป เมล็ดกาแฟที่ผ่านการแปรรูปด้วยวิธีการแบบแห้งและแบบเปียกจะมีค่า a^* แตกต่างกัน โดยเมล็ดกาแฟที่แปรรูปแบบเปียกจะมีสีเขียวเป็นหลัก ส่วนเมล็ดกาแฟที่ผ่านการแปรรูปแบบแห้งจะมีสีเหลือง แสดงให้เห็นว่าในอุตสาหกรรมกาแฟสามารถใช้ค่า a^*

ในการบอกค่าความแตกต่างในด้านสี (โดยใช้ค่าสีเขียวและสีเหลือง) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการบ่งชี้ชนิดของการแปรรูปเมล็ดกาแฟดิบ นอกจากนี้ยังได้บ่งชี้ว่าความแตกต่างในการผสมผสานสีของค่า a^* มีความเชื่อมโยงกับการแปรรูปเมล็ดกาแฟดิบ สายพันธุ์กาแฟ และอายุของเมล็ดกาแฟ

ผลการศึกษาคูณภาพด้านสีของเมล็ดกาแฟดิบ พบว่าทุกปัจจัยหลักและปัจจัยด้านความสัมพันธ์แต่ละด้าน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสิ่งทดลอง ($p \leq 0.05$) ปัจจัยด้านกรรมวิธีหมักมีค่าสีของเมล็ดกาแฟดิบ L^* และ b^* อยู่ในช่วง 41.89-42.83 และ 16.46-16.65 ไม่แตกต่างกัน แต่มีค่า a^* (แสดงถึงความเป็นสีเขียวไปจนถึงสีแดง) แตกต่างกันใน ช่วง 1.93-2.20 โดยการหมักด้วยวิธียีสต์มีค่า a^* ต่ำสุด แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นสีเขียวมากที่สุด ปัจจัยด้านพื้นที่ปลูกมีค่าสีของเมล็ดกาแฟดิบ L^* a^* b^* อยู่ในช่วง 41.70-43.01, 2.05 และ 15.93-17.14 ตามลำดับ โดยพื้นที่ปลูกจังหวัดลำปาง มีค่า L^* (แสดงถึงความสว่างจากสีดำไปสีขาว) และค่า b^* (ที่แสดงถึงความเป็นสีน้ำเงินไปจนถึงสีเขียว) ต่ำสุด แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นสีน้ำเงินและสีเขียวมากกว่าจังหวัดเชียงราย และปัจจัยด้านความสูงเหนือระดับน้ำทะเลมีค่าสีของเมล็ดกาแฟดิบ L^* a^* b^* อยู่ในช่วง 42.25-42.46, 1.79-2.31 และ 15.89-17.19 ตามลำดับ โดยระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 1,000 เมตร มีค่า a^* และ b^* ต่ำสุด แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นสีเขียวและสีน้ำเงินมากที่สุดที่ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลต่ำกว่า 1,000 เมตร

การวัดคุณภาพสีเมล็ดกาแฟปัจจุบันที่นิยมใช้มักเป็นเครื่องมือมาตรฐานที่มีราคาแพง ร้านค้าหรือผู้ประกอบการขนาดเล็ก หรือผู้บริโภคที่ต้องการค่ากาแฟเองบางส่วน จึงใช้วิธีการเทียบสีจากกระดาษโปสเตอร์ ซึ่งอาจมีข้อผิดพลาดอันอาจเกิดจากเครื่องพิมพ์ได้ ผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนาเครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟอย่างง่าย โดยใช้อุปกรณ์สมองกลฝังตัว และเซนเซอร์ที่มีราคาถูก เพื่อวัดค่าสีเมล็ดกาแฟที่ให้ค่าสีในระบบ RGB สำหรับให้ผู้ใช้นำไปเทียบกับค่าสีมาตรฐานของเมล็ดกาแฟตัวต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1.1 พัฒนาเครื่องวิเคราะห์ค่าสีเมล็ดกาแฟแบบพกพาด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว เพื่อตรวจวัดความเข้มของสีเมล็ดกาแฟให้ได้มาตรฐานการผลิตกาแฟพิเศษ

1.2 เพื่อศึกษาผลการทดลองใช้เครื่องวิเคราะห์ค่าสีเมล็ดกาแฟแบบพกพาด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว เทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

เทคโนโลยีสมองกล เป็นระบบที่มีการทำงานร่วมกันระหว่างฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง โดยระบบฝังตัวมีความสามารถในการประมวลผลได้เช่นเดียวกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยมีส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนในการประมวลผล และยังสามารถในการติดตั้งระบบปฏิบัติการได้อีกด้วย โดยระบบสมองกลสามารถนำไปใช้ได้อย่างแพร่หลาย ตั้งแต่การควบคุมหลอดไฟไปจนถึงการทำงานบนยานอวกาศ (สัญญา อุทธโยธา และพิชิต ทนันทชัย, 2558)

ระบบเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว เป็นระบบการประมวลผลที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ เป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ฝังไว้ในอุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องเล่นอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการประมวลผลให้กับอุปกรณ์นั้นๆ ผ่านซอฟต์แวร์ โดยระบบฝังตัวถูกนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในยานพาหนะ เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ ฮาร์ดแวร์ ระบบเครือข่ายเน็ตเวิร์ค เทคโนโลยีการสื่อสาร เทคโนโลยีเครื่องกลและของเล่นต่างๆ (ยุทธนา ไวประเสริฐ และคณะ, 2559) องค์ประกอบทางฮาร์ดแวร์ของระบบสมองกลฝังตัวประกอบไปด้วย 1) อุปกรณ์อินพุต 2) อินเทอร์เฟซอินพุต 3) พอร์ตอินพุต 4) ไมโครฟังก์ชันงาน 5) พอร์ตเอาต์พุต 6) อินเทอร์เฟซเอาต์พุต 7) อุปกรณ์เอาต์พุต (เจษฎา พรหมเกษ, 2554)

ระบบสี RGB Color Model คือ ระบบสีจากอุปกรณ์ต่างๆ เช่น กล้อง จอภาพ เป็นต้น ซึ่งระบบสีประกอบด้วยแม่สี 3 สี คือ แดง (Red), เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) เมื่อนำมาผสมผสานกันทำให้เกิดสีต่างๆ บนจอภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ถึง 16.7 ล้านสี โดยเก็บข้อมูลของสี 3 สี ๆ ละ 8 Bit ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตาเรามองเห็นปกติ สีที่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มของสีต่างๆ ทั้ง 3 สี โดยถ้าสีมีความเข้มมาก เมื่อนำทั้ง 3 สีมาผสมกันจะทำให้เกิดเป็นสีขาว จึงเรียกระบบสีนี้ว่าแบบ Additive หรือการผสมสีแบบบวก ในขณะที่ เครื่องมือวัดสี (Color Measure Instrument) ใช้หลักการเปรียบเทียบแถบสีมาตรฐาน โดยใช้เครื่องมือวัดสีและแสดงออกมาเป็นตัวเลข โดยเครื่องมือมีหลากหลายชนิด เช่น เครื่องวัดค่าความดำ (Densitometer) ใช้วัดความเข้มของแสงจากการสะท้อนจากวัตถุทึบแสง หรือโปร่งแสง, เครื่องมือ Colorimeter เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเข้มของแสงที่สะท้อนจากวัตถุที่มีลักษณะทึบแสง หรือวัตถุที่แสงสามารถส่องผ่าน โดยใช้ sensor 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน ซึ่งใกล้เคียงกับการมองเห็นของมนุษย์, เครื่องมือ Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าสีการสะท้อนแสง หรือการแสงส่องผ่าน โดยใช้ความยาวคลื่นแสง

ตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร แล้วนำไปนำเสนอด้วยกราฟ โดยแสดงความยาวคลื่นเป็นแกนนอน และค่าการสะท้อนแสงหรือค่าแสงส่องผ่านเป็นแกนตั้ง (ไพโรจน์ คล้ายเพ็ชร, 2556)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยุทธนา ไวประเสริฐ และคณะ (2559) ศึกษาการพัฒนาชุดเชื่อมต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมด้วยระบบสมองกลฝังตัว โดยการพัฒนาโหนดอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมด้วยระบบสมองกลฝังตัวสำหรับการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้า เครื่องขยายเสียง วิทยุสื่อสารหรือวงจรต่าง ๆ โดยจะต่อวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์เข้ากับโหนดอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมด้วยระบบสมองกลฝังตัว ซึ่งในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ใช้สมองกลฝังตัว เบอร์ ATmega328 เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมดของงานวิจัยซึ่งจะส่งสัญญาณพัลส์วิตช์มอดูเลชันมาควบคุมโหนดอิเล็กทรอนิกส์ให้นำกระแสมากหรือน้อยตามสัญญาณพัลส์ และยังมีตัวตรวจจับกระแส, ตัวตรวจจับแรงดัน และตัวตรวจจับอุณหภูมิมาทำการวัด เพื่อรายงานผลให้ผู้ใช้งานได้ทราบผ่านจอแสดงผลแบบผลึกเหลวผลการทดสอบประสิทธิภาพโหนดอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมด้วยระบบสมองกลฝังตัวสามารถทดสอบกับแหล่งจ่ายขนาด 30 โวลต์ กระแส 22.97 แอมป์ หรือคิดเป็นกำลังงานเท่ากับ 689.04 วัตต์ ซึ่งสูงกว่าขอบเขตที่กำหนด การผลิตสัญญาณพัลส์วิตช์มอดูเลชัน มีความแม่นยำร้อยละ 99.99 การวัดกระแสมีความแม่นยำร้อยละ 98.2 การวัดแรงดันมีความแม่นยำร้อยละ 99.37 การวัดอุณหภูมิมีความแม่นยำร้อยละ 82.22 เนื่องจากคุณสมบัติของตัวเทอร์มิสเตอร์ที่ถูกสร้างจากโลหะสองชนิดที่แตกต่างกันที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิต่ำ

ณัฐพงศ์ พลสมย และคณะ (2562) ศึกษาการพัฒนาระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะควบคุมผ่านพลิเคชั่นแบบสมองกลฝังตัว โดยผลวิจัยพบว่า การพัฒนาองค์ประกอบของระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะควบคุมผ่านพลิเคชั่นแบบสมองกลฝังตัวมีองค์ประกอบของระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะควบคุมผ่านพลิเคชั่นแบบสมองกลฝังตัวประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 แอปพลิเคชั่นควบคุมการเปิด-ปิด ปลั๊กไฟ ประกอบด้วย (1) ส่วนแสดงสถานะการทำงานของปลั๊ก (2) ส่วนการตั้งเวลาเปิดปลั๊กไฟ (3) ส่วนการตั้งเวลาปิดปลั๊กไฟ และ (4) ส่วนการบันทึกข้อมูลการ เปิด-ปิด ปลั๊กไฟ องค์ประกอบโครงสร้างสมองกลฝังตัว ประกอบด้วย อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ได้แก่ Relay Module, บอร์ด Arduino ซอฟต์แวร์ ได้แก่ Arduino IDE สำหรับ เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ประกอบด้วย NETPIE CLOUD PLATFORM ทั้งนี้ผลการประเมินความเหมาะสมองค์ประกอบของระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะควบคุมผ่านพลิเคชั่นแบบสมองกลฝังตัว พบว่า

ผลการประเมินความเหมาะสมองค์ประกอบของระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะควบคุมผ่านฟลิคเซ็นแบบสมองกลฝังตัว ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นโดยรวมอยู่ในระดับมาก

พงศธร ตันตระกูลบัณฑิตย์ และคณะ (2563) ศึกษาการใช้เทคโนโลยี NodeMCU ในการควบคุมโรงเพาะเห็ดในประเทศไทย โดยได้พัฒนาเทคโนโลยี NodeMCU ในการควบคุมโรงเพาะเห็ดโดยระบบควบคุมอัตโนมัติ และควบคุมโดยมนุษย์ และสร้างแอปพลิเคชันที่สามารถปรับอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสมสำหรับทุก ๆ การเจริญเติบโตของเห็ดในแต่ละช่วงเวลาในโรงเห็ดได้ และศึกษาการรับรู้การใช้งานเทคโนโลยี NodeMCU ของเกษตรกรโดยใช้โมเดลการยอมรับเทคโนโลยีโดยใช้พารามิเตอร์ “สองพี่น้อง” เป็นกรณีศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งหลังจากที่ติดตั้งเทคโนโลยี NodeMCU ในการควบคุมโรงเพาะเห็ดและพัฒนาแอปพลิเคชันในสมาร์ตโฟนสำหรับเกษตรกรแล้ว พบว่าเทคโนโลยีนี้สามารถรักษาอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมให้กับโรงเพาะเห็ดได้โดยอัตโนมัติหรือควบคุมโดยเกษตรกรผ่านแอปพลิเคชันในสมาร์ตโฟน งานวิจัยนี้จึงเป็นตัวอย่างหนึ่งในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี NodeMCU ในการควบคุมโรงเพาะเห็ดในอนาคตได้โดยการประยุกต์ใช้โมเดลการยอมรับเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภูมิพัฒน์ กำคำ และคณะ (2561) ศึกษาการออกแบบและพัฒนาระบบสมองกลฝังตัว สำหรับโรงเรือนเพาะปลูกแคนตาลูป โดยทำการออกแบบและพัฒนาระบบสมองกลฝังตัว สำหรับโรงเรือนเพาะปลูกแคนตาลูปและศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโต และผลผลิตของแคนตาลูปพันธุ์ชั้นเลิศ 227 ระหว่างการปลูกในโรงเรือนที่เพิ่มแสงสว่างจากหลอดไฟฟ้า (โรงเรือนหลังที่ 1) กับโรงเรือนที่ใช้แสงธรรมชาติ (โรงเรือนหลังที่ 2) ระบบสมองกลฝังตัวพัฒนาขึ้นจากบอร์ดอาดูอิน์ ยูโน อาร์3 ทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์แสงดิจิทัลบอร์ดนาฬิกา และโซลิตสเตรีย การพัฒนาเฟิร์มแวร์ควบคุมการทำงานของระบบประกอบด้วย 2 ฟังก์ชัน คือ (1) เพิ่มแสงสว่างภายในโรงเรือน เมื่อแสงธรรมชาติต่ำกว่าค่าที่กำหนด และ (2) เลือกปริมาณการจ่ายสารละลายธาตุอาหารต่อวัน การทดลองปลูกครั้งที่ 1 พบว่า โรงเรือนหลังที่ 1 สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 49 - 52 วันหลังปลูก น้ำหนักผลเฉลี่ย 1,020 กรัม และความหวานเนื้อตรงกลางเฉลี่ย 14.2 องศาบริกซ์ โรงเรือนหลังที่ 2 สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 49 - 52 วัน หลังปลูก น้ำหนักผลเฉลี่ย 897 กรัม และความหวานเนื้อตรงกลางเฉลี่ย 14.8 องศาบริกซ์ การทดลองปลูกครั้งที่ 2 พบว่า โรงเรือนหลังที่ 1 สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 49 - 53 วันหลังปลูก น้ำหนักผลเฉลี่ย 1,366 กรัม และความหวาน เนื้อตรงกลางเฉลี่ย 8.8 องศาบริกซ์ โรงเรือนหลังที่ 2 สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 49 - 53 วันหลังปลูก น้ำหนักผล เฉลี่ย 1,324 กรัม และความหวานเนื้อตรงกลางเฉลี่ย 9.8 องศาบริกซ์

ธนสาร ช่างนาว่า และสันต์ จันทร์สมศักดิ์ (2560) ได้ทำการศึกษาการพัฒนากระบวนการเทียบสีขององค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมบนฐานการทำงาน ของระบบสีอาร์จีบี พบว่าองค์ประกอบทางกายภาพของสถาปัตยกรรม ที่ปรากฏขึ้นภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อบริบทของการรับรู้สีที่หลากหลาย โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการพัฒนากระบวนการศึกษา สีในงานสถาปัตยกรรมที่สัมพันธ์กับการรับรู้สี งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ระบบการทำงาน ในรูปแบบดิจิทัลจากการใช้ข้อมูลภาพถ่ายสามารถบันทึกการรับรู้สีได้โดยผ่านที่ว่างและช่วงเวลา เมื่อนำมาวิเคราะห์เทียบค่าสีในระบบอาร์จีบี (RGB color system) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำให้ได้ค่าสีขององค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่สามารถแยกค่าระดับสีและรูปแบบสีที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับการมองเห็น จากผลการศึกษาพบว่าภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน การทำงานในรูปแบบดิจิทัลผ่านภาพถ่ายมีประสิทธิภาพในลักษณะภาพรวม เทียบเคียงได้กับรูปแบบสีในระบบแพนโทน (Pantone) นอกเหนือจากนั้นการเทียบสี ในรูปแบบดิจิทัลยังช่วยลดระยะเวลาในการเทียบสี และการทำงานร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยให้การวิเคราะห์รูปแบบสีทำได้ง่ายขึ้น และมีความยืดหยุ่นในการใช้เก็บข้อมูลหน้างาน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ยากต่อการเก็บข้อมูลอีกด้วย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือการวิจัย

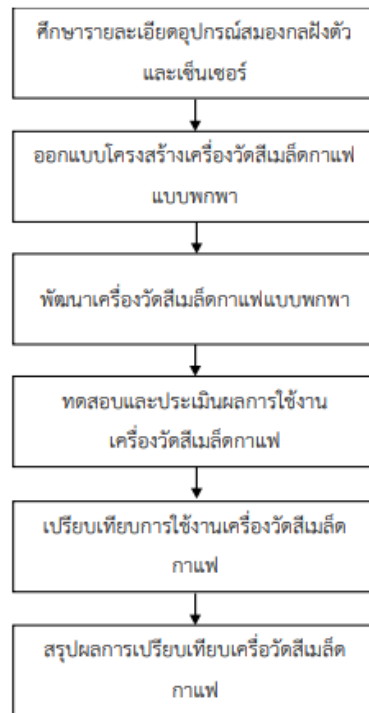
เครื่องมือวัดสีกาแพแบบมาตรฐาน Colorimeter MiniScan EZ 4500 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับเปรียบเทียบผลจากการวัดสีกาแพมาตรฐาน และแบบบันทึกผลการวัดสีกาแพ เพื่อใช้บันทึกผลการวัดสีกาแพ

2. กลุ่มเป้าหมาย

เมล็ดกาแพที่ผ่านกระบวนการผลิตแบบพิเศษ

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ใช้การดำเนินงานวิจัยการพัฒนาเครื่องวิเคราะห์ค่าสีเมล็ดกาแพแบบพกพาด้วยเทคโนโลยี ยีสมองกล้องฝังตัว ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากภาพที่ 3 ทีมวิจัยดำเนินการศึกษารายละเอียด และการทำงานของอุปกรณ์สมองกลฝังตัวและเซ็นเซอร์ที่จำเป็นต่อการดำเนินงาน เช่น Node MCU ESP32 เป็นต้น หลังจากศึกษารายละเอียดอุปกรณ์ ทีมวิจัยได้ดำเนินการออกแบบโครงสร้างเครื่องฉายรูปและวัดสีเมล็ดกาแฟโดยใช้โปรแกรม SolidWorks ในการออกแบบและสร้างโมเดลต้นแบบของอุปกรณ์ ในขั้นตอนต่อไปทีมวิจัยดำเนินการสร้างอุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบไว้ พร้อมกับนำอุปกรณ์สมองกลฝังตัวมาสร้างเป็นชิ้นงาน เมื่อตัวอุปกรณ์ต้นแบบแล้วได้ดำเนินการทดสอบอุปกรณ์เพื่อปรับปรุง และแก้ไขข้อผิดพลาด ก่อนดำเนินการเปรียบเทียบการใช้งานในการวิเคราะห์สีของเมล็ดกาแฟ โดยเปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน Colorimeter MiniScan EZ 4500 และบันทึกผลค่าสีที่อ่านได้แบบ RGB ลงบนแบบบันทึกผลการวัดสีเมล็ดกาแฟ แล้วดำเนินการเปรียบเทียบความเหมือนของสีแบบ RGB โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ แล้วดำเนินการสรุปผลการพัฒนาและเปรียบเทียบผลที่ได้

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสีเมล็ดกาแฟ โดยใช้เครื่องมือ Color Matching Tool (Color Tools.Net,2021) ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\text{Color Matching Percentage} = 100 - \left(\left(\frac{(\Delta R + \Delta G + \Delta B)}{765} \right) \times 100 \right) \quad (1)$$

เมื่อ Color Matching Percentage คือ ระดับความเข้าคู่กันของค่าสีเมล็ดกาแฟ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน ΔR คือ ผลต่างของค่าเลขฐานสิบของสีแดง ΔG คือ ผลต่างของค่าเลขฐานสิบของสีเขียว ΔB คือ ผลต่างของค่าเลขฐานสิบของสีน้ำเงิน

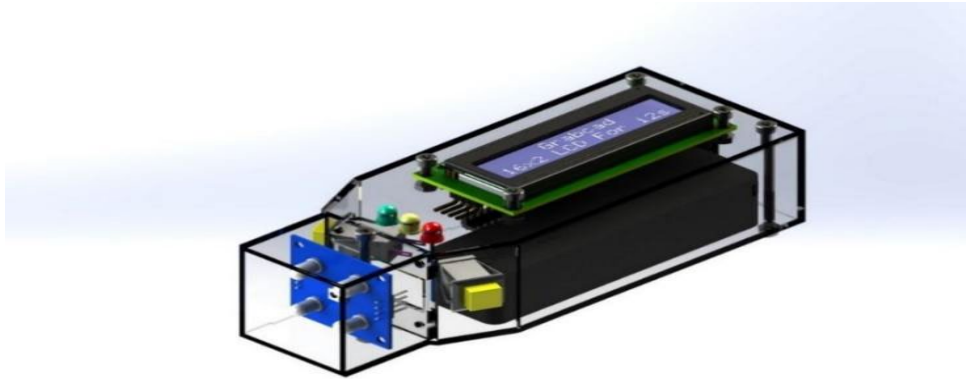
4. ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาเครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟแบบพกพาด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว

1.1 ศักยภาพและเอื้อยดของอุปกรณ์สมองกลฝังตัวและเซ็นเซอร์ โดยมีรายการอุปกรณ์ที่ต้องใช้งานดังต่อไปนี้

- 1) NodeMCU esp32 1 ตัว
- 2) LCD Monitor 12x2 12C 1 ตัว
- 3) หลอด LED สีแดง, สีน้ำเงิน และสีเหลือง สีละ 1 หลอด
- 4) Sensor สี TCS3200 1 ตัว
- 5) Power Bank 1 ชิ้น
- 6) Switch Power (เปิด-ปิด) 1 ตัว
- 7) Botton Push (ปุ่มใช้งาน) 1 ตัว

1.2 ออกแบบโครงสร้างเครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟแบบพกพา โดยใช้โปรแกรม SolidWorks พร้อมด้วยอุปกรณ์แบบพกพาด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว ได้ผลดังภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 ต้นแบบ 3 มิติเครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟแบบพกพาโดยใช้โปรแกรม SolidWorks

ITEM NO.	PART NAME	DESCRIPTION	QTY.
1	LED	Red,Green,Yellow	3
2	LCD 1.6x2 12C		1
3	Switch power		1
4	Power bank		1
5	Node MCU Esp32		1
6	Botton push		2
7	TCS3200	Colors sensor	1

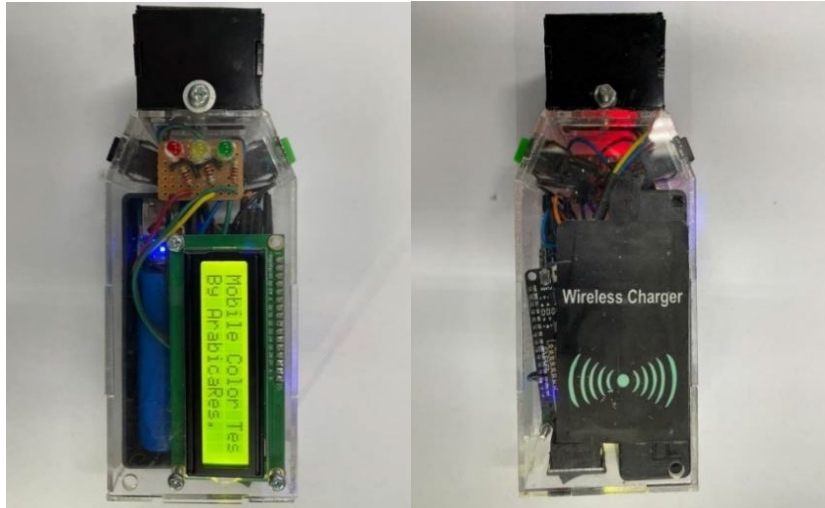
	Rajamangala University of Technology Lanna Lampang 1, Phisahu, Mueang Lampang District, Lampang 52000	SI METRIC A4	PROJECT : เครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟ PART NAME : ROB Color sensor PART NO : A0
	DRAWN BY : CHAKRIT C. DATE: 22/04/2021	UNIT : MM SCALE : 1 : 2 SHEET NO : 1/8	

ภาพที่ 5 ต้นแบบส่วนประกอบเครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟแบบพกพาโดยใช้โปรแกรม SolidWorks

จากภาพที่ 4 แสดงให้เห็นแบบจำลองของอุปกรณ์เครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟแบบพกพา 3 มิติ เพื่อให้สะดวกต่อการพกพาและใช้งานในภาพที่ 5 แสดงถึงองค์ประกอบของอุปกรณ์ รวมถึงการวางส่วนประกอบ และอุปกรณ์ก่อนการสร้างชิ้นงานจริง

1.3 พัฒนาเครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟแบบพกพา โดยมีการตัดชิ้นงานโดยใช้เครื่อง Laser Cut โดยวัสดุที่ใช้คือแผ่นอะคริลิกขนาด 2.75 มิลลิเมตร และดำเนินการใส่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้การทำงานทั้งหมดลงในเครื่อง ได้แก่ 1) หลอด LED 3 สี 2) จอ LCD 3) สวิตช์เปิด-ปิด 4)

เพาเวอร์แบงค์ 5) NodeMCU Esp32 6) ปุ่มกดใช้งาน 7) เซนเซอร์วัดสี TCS3200 และดำเนินการประกอบชิ้นงาน ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ต้นแบบเครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟ

2. การเปรียบเทียบเครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟแบบพกพา กับเครื่องวัดสีมาตรฐาน รุ่น MiniScan EZ 4500

ทดสอบและประเมินผลการใช้งานเครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟ โดยทดสอบการใช้งานเครื่องวัดสีแบบพกพา โดยใช้ชนิดตัวอย่างกาแฟชุดเดียวกันกับเครื่องวัดสีมาตรฐาน รุ่น MiniScan EZ 4500 มาทำการวัดสี จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบโดยใช้สมการคำนวณดังสมการ (1) ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบความเข้ากันของค่าสีระหว่างเครื่องวัดสีแบบพกพา และเครื่องวัดสีมาตรฐาน MiniScan EZ 4500

ลำดับ	วัสดุตัวอย่าง	ค่าสีที่วัดได้						ค่าความเข้ากัน (%)
		Colorimeter MiniScan EZ			เครื่องวัดสีแบบพกพา			
		R	G	B	R	G	B	
ประเภท : สารกาแฟ								
1	สารกาแฟ #1	121	101	65	118	97	41	96
2	สารกาแฟ #2	125	104	68	79	99	61	91
3	สารกาแฟ #3	108	94	69	106	79	44	95
4	สารกาแฟ #4	119	98	64	86	106	55	93
5	สารกาแฟ #5	124	102	68	76	107	64	93
ประเภท : กาแฟเชอรั								
1	กาแฟเชอรั #1	22	19	18	80	93	79	75
2	กาแฟเชอรั #2	37	34	32	71	90	69	83
3	กาแฟเชอรั #3	32	27	26	75	95	78	79
4	กาแฟเชอรั #4	30	27	25	54	97	91	79
5	กาแฟเชอรั #5	40	34	31	50	97	90	83
ประเภท : กาแฟกะลา								
1	กาแฟกะลา #1	96	59	31	98	91	56	92
2	กาแฟกะลา #2	91	57	32	158	74	34	89
3	กาแฟกะลา #3	98	64	38	85	94	63	91
4	กาแฟกะลา #4	118	81	43	109	98	52	95
5	กาแฟกะลา #5	96	61	36	98	88	50	94
ประเภท : กาแฟคั่ว								
1	กาแฟคั่ว #1	75	53	39	69	103	78	88
2	กาแฟคั่ว #2	70	50	36	78	100	68	88
3	กาแฟคั่ว #3	76	52	37	100	91	60	89
4	กาแฟคั่ว #4	65	45	34	70	93	71	88
5	กาแฟคั่ว #5	76	52	37	99	77	60	91

จากตารางที่ 1 ผลการทดสอบการใช้งานเครื่องวัดสีแบบพกพา โดยใช้ชนิดตัวอย่างกาแฟชุดเดียวกันกับเครื่องวัดสีมาตรฐาน รุ่น MiniScan EZ 4500 โดยพบว่าเครื่องวัดสีแบบพกพาที่พัฒนาขึ้น สามารถวัดสีได้ครบทุกตัวอย่างและมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัดสีมาตรฐาน ดังภาพที่ 7 โดยเมื่อนำค่าสีที่ได้ไปเทียบกับจากเครื่องมือเทียบสีตามแนวทางของ เสกสรร วินยางค์กุล และคณะ (2563) พบว่าความเข้ากัน (Matching) ของค่าสีที่ได้เมื่อเทียบกับเครื่องวัดสีมาตรฐาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88.6 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 7 การวัดสีเมล็ดกาแฟจากเครื่องวัดต้นแบบ

5. อภิปรายผลการวิจัย

ในการวิจัยพัฒนาเครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟแบบพกพา ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ 1) พัฒนา เครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟแบบพกพา และ 2) การเปรียบเทียบเครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟแบบพกพากับเครื่องวัดสีมาตรฐาน รุ่น MiniScan EZ 4500 โดยผลค่าความเข้ากันของสีอยู่ที่ 88.6% แสดงให้เห็นถึงความสามารถของอุปกรณ์อยู่ในระดับดีมาก สอดคล้องกับ เสกสรรค วินยางค์กุล และคณะ (2563) ที่ได้ทำงานวิจัยการวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ โดยใช้การประมวลผลภาพแบบฮิสโทแกรม สำหรับการแบ่งระดับเกรดของการคั่วเมล็ดกาแฟ พบว่าการแบ่งระดับเกรดของการคั่วเมล็ดกาแฟ ค่าสีมาตรฐาน RGB และนามาหาค่าเฉลี่ย H ได้ผลดังนี้ คือ ระดับสีอ่อน มีค่า $H = 76.513$ ระดับสีกลาง มีค่า $H = 57.966$ และระดับเข้ม มีค่า $H = 41.420$ การคั่วเมล็ดกาแฟจะมีค่าความเข้มของสีที่ลดลงตามระดับ ซึ่งสอดคล้องกับเครื่องวัดสีเมล็ดกาแฟแบบพกพาโดยอาศัยสีแบบ RGB ในการวัด โดยคุณภาพสีของเมล็ดกาแฟ จะลดลงตามลักษณะการคั่วเช่นเดียวกัน

6. ข้อเสนอแนะ

หากมีความต้องการนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้งานจริง ควรมีการควบคุมเรื่องแสงที่ตกกระทบกับพื้นผิวของวัตถุ เพื่อป้องกันค่าแสงที่ผิดพลาดที่เกิดจากทิศทางของแสงและเงา

ในอนาคตงานวิจัยนี้จะดำเนินการพัฒนาเครื่องมือที่มีความยืดหยุ่นในการวัดสีให้มากขึ้น โดยมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องวัดสีเมล็ดกาแพแบบตั้งโต๊ะ เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ และยังสามารถเลือกจุดที่ต้องการวัดค่าสีได้จากหน้าจอการทำงาน เพื่อความแม่นยำในการบันทึกภาพ และเปรียบเทียบสี

7. เอกสารอ้างอิง

เจษฎา พรหมเกษ. (2554). ระบบวัดและแสดงผลชนิดฝังตัวของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ณัฐพงศ์ พลสยาม, กาญจนา ดงสงคราม และเกียรติภูมิ กุภาพันท์. (2562). การพัฒนาระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะควบคุมผ่านพลิเคชั่นแบบสมองกลฝังตัว. วารสารโครงการวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ, 5 (2) กรกฎาคม - ธันวาคม : หน้า 84-93.

ธนสาร ช่างนาวา และสันต์ จันทร์สมศักดิ์. (2560). การพัฒนากระบวนการเทียบสีขององค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมบนฐานการทำงานของระบบสีอาร์จีบี. การจัดประชุมวิชาการประจำปี 2560 (Built Environment Research Associates Conference 2017: BERAC 8), (น.145). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพมหานคร
พงศธร ตันตระบัณฑิตย์, มณีรัตน์ วงษ์ชัย และโอฬาริก สุรินดี. (2563). โมเดลการยอมรับเทคโนโลยี: หลักฐานการใช้เทคโนโลยี NodeMCU ในการควบคุมโรงเพาะเห็ดในประเทศไทย. วารสารการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 12(1) ม.ค.-มี.ค. : หน้า 42-54.

พีชนี สุวรรณวิศลกิจ. (2559). การพัฒนาศักยภาพของเกษตรกรผู้ผลิตกาแพอราบิก้าในภาคเหนือเพื่อเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันภายใต้สถานการณ์การค้าเสรี. เชียงใหม่ : ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมที่สูง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพโรจน์ คล้ายเพชร. (2556). วิธีการวัดสีแผ่นพิมพ์ธนบัตรด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์สีพื้น (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ภูมิพัฒน์ กำคำ, ชัชวาล มงคล และสถาพร ดียิ่ง. (2561). การออกแบบและพัฒนาระบบ
 สมองกลฝังตัว สำหรับโรงเรือนเพาะปลูกแคนตาลูป. *วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*
 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, 8(2) July - December : หน้า 65-77.
- ยุทธนา ไวประเสริฐ, พงษ์สวัสดิ์ อำนาจกิติกร, นราธิป วงษ์ปิ่น, วีรชัย สว่างทุกข์, ณัฐสินี
 ตั้งศิริไพบูลย์ และธนวรกฤต โอฟารธนพร. (2559) การพัฒนาชุดเชื่อมต่อวงจร
 อิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมด้วยระบบสมองกลฝังตัว. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยี*
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 9(2) กรกฎาคม – ธันวาคม หน้า 107-120.
- สัญญา อุทธโยธา และพิชิต ทนันทชัย. (2558). *พัฒนาระบบควบคุมการยกตะกอก*
ของกึ่งท่อผ้าระบบดื่อบบีแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยเทคนิคการกระจายงานแบบแยก
อิสระด้วยระบบสมองกลฝังตัว. การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่
*7,(น. 40).*มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง, ตรัง.
- เสกสรรค์ วินยางค์กุล, กมลพรรณ จันทรา, และนันทชัย เต่าจาตีบ. (2563).
 การวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ โดยใช้การประมวลผลภาพแบบฮิสโทแกรม
 สำหรับการแบ่งระดับเกรดของการคั่วเมล็ดกาแฟ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, (22)3 กันยายน-ธันวาคม : หน้า 10-20.
- Bicho, N. C. C. (2005). *Qualidade e segurança alimentar no café verde e*
aclimação do género Coffea em condições de stress ambiental [Food
quality and safety in green coffee and acclimation of the Coffea genus in
environmental stress conditions]. Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- Color Tools.Net. (2021). *Color Matcher Tool*. Retrieved 20 June 2021 from
https://www.colortools.net/color_matcher.html
- Department of Business Development. (2019). *Coffee Production Business*. Retrieved
 26 November 2020 from [https://www.dbd.go.th/download/document_file](https://www.dbd.go.th/download/document_file/Statisic/2562/T26/T26_201901.pdf)
 /Statisic/2562/T26/T26_201901.pdf
- Franca, A.S. and Oliveira, L.S. (2008). *Chemistry of defective coffee beans*. in Koeffler,
 E.N. (Ed.) *Food Chemistry Research Developments* (p. 105-138). Nova
 Publishers, New York. 297 p.
- Freitas, M.L.G. (2001). *A última impressão é a que fica-Introdução à classificação*
edegustação de café (The last impression stays..Introduction to coffee
 classification and cupping) Sindicafé MG, 74 p. (in Portuguese).

- Khamsuri, C. (2019). *Coffee Beverages in Thailand*. Retrieved 10 october 2020 from http://fic.nfi.or.th/upload/market_overview/JUN2019Thailand_Coffee.pdf
- Mendes, L. C., A. C. Menezes, M. Aparecida, and A. P. Silva. (2001). Optimization of the roasting of robusta coffee (*C. canephora* Conillon) using acceptability tests and RSM. *Food Quality and Preference* 12(2):153-162.
- Sivetz, M. and N.W., Desrosier. (1979). *Coffee Technology*. Westport Connecticut, The Avi Publishing Company, Inc., Connecticut. 716 p.

การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ

อภิชัย ชื่อสัตย์สกุลชัย^{1*} ยพรัตน์ อิมพิทักษ์¹ และนมิตา ชื่อสัตย์สกุลชัย¹

¹ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก 41/1 หมู่ 7 ตำบลไม้งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

* apisue@gmail.com, 0817275731

บทคัดย่อ

สื่อวีดิทัศน์เป็นสื่อเพื่อการเรียนรู้ประเภทหนึ่งที่จะช่วยให้ผู้ชมสามารถได้เรียนรู้และเข้าใจเนื้อหาได้อย่างรวดเร็วผ่านการนำเสนอในรูปแบบของภาพและเสียง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสื่อวีดิทัศน์เพื่อการเรียนรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์เริ่มจากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ สร้างแบบประเมินความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์และสร้างแบบประเมินความพึงพอใจสื่อวีดิทัศน์ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นดำเนินการจัดเตรียมวัสดุและองค์ประกอบสำหรับการผลิตสื่อวีดิทัศน์ แล้วบันทึกวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์และตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมร่วมกับผู้เชี่ยวชาญ ดำเนินการประเมินผลสื่อวีดิทัศน์จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 32 คน จากการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง โดยดำเนินการประเมินความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์และประเมินความพึงพอใจสื่อวีดิทัศน์ ผลการศึกษาได้ดำเนินการพัฒนาสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จำนวน 2 สูตร ได้แก่ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบน้ำจำนวน 1 สูตร และการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบแห้งจำนวน 1 สูตร ผลการประเมินความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากกลุ่มตัวอย่าง พบว่า กลุ่มตัวอย่างได้รับความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และผลการประเมินความพึงพอใจสื่อวีดิทัศน์ พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจสื่อวีดิทัศน์โดยรวมในระดับมากที่สุด โดยมีความพึงพอใจด้านเนื้อหาความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์และด้านการนำเสนอภาพและเสียงประกอบเนื้อหาในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: สื่อวีดิทัศน์ ปุ๋ยอินทรีย์ สื่อเรียนรู้ ประเมินความรู้ ความพึงพอใจ

The development of the organic bio-fertilizer video media

Apichai Suesatsakulchai ^{1*} Yoparat Impitak ¹ Namida Suesatsakulchai ¹

¹ Rajamangala University of Technology Lanna Tak 41/1 moo 7 Mai Ngam, Muang Tak Thailand 63000

* apisue@gmail.com, 0817275731

Abstract

Video content for learning is a significant media that enhances the viewers to learn and comprehend quickly through visual and auditory presentations. The objective of this study was to document a video media for learning the organic bio-fertilizer production process. The development process in this research for organic fertilizer production including, data collecting related to organic bio-fertilizer production, design a knowledge and satisfaction assessment form for organic bio-fertilizer production in collaboration with specialists, materials and components for producing video media were prepared, and the video content for the organic bio-fertilizer process was produced and verified particularly with experts. The evaluation of the video media was conducted with a purposive sample group of 32 participants. The evaluation included assessing organic bio-fertilizer production knowledge and evaluating satisfaction with the video media. The study resulted in the development process of two formulas for organic fertilizer production. The first formula was liquid organic bio-fertilizer production and the second formula was dry organic bio-fertilizer production. The evaluation of organic fertilizer production knowledge among the sample group revealed a statistically significant increase in knowledge at a significance level of 0.05. The evaluation of satisfaction with the video media showed that the sample group had the highest overall satisfaction level. The participants expressed high satisfaction with the content and knowledge of organic bio-fertilizer production, as well as the visual and auditory presentation of the content.

Keywords: Video media, Organic fertilizer, Learning materials, Knowledge assessment, Satisfaction

1. บทนำ

ปัจจุบันการเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารความรู้ต่าง ๆ สามารถเผยแพร่ได้หลากหลายรูปแบบ สื่อวีดิทัศน์จัดเป็นสื่อประเภทหนึ่งที่ได้รับคามนิยมสำหรับการเผยแพร่ข่าวสารความรู้จากผู้สื่อสารไปยังกลุ่มเป้าหมายขนาดใหญ่ได้ การผลิตสื่อวีดิทัศน์จึงได้รับความนิยมใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารเพื่อสร้างการรับรู้และสร้างความเข้าใจได้ดีขึ้น เช่น การผลิตสื่อวีดิทัศน์เพื่อการเรียนรู้เกี่ยวกับหนังสือพิมพ์ เป็นสื่อวีดิทัศน์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการอนุรักษ์และสืบสานภูมิปัญญาท้องถิ่น (สุวรรณณี ห้วยหงษ์ทอง, 2564) หรือวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์พิพิธภัณฑการแพทย์แผนไทยอภัยภูเบศร จัดเป็นสื่อวีดิทัศน์เพื่อสร้างการรับรู้การแพทย์แผนไทยและพิพิธภัณฑการแพทย์แผนไทยอภัยภูเบศร (บุรณี อติศรพันธ์กุล และคณะ, 2562) สื่อวีดิทัศน์นอกจากจะใช้เป็นสื่อเพื่อเผยแพร่ข่าวสารแล้ว สื่อวีดิทัศน์ยังนิยมใช้เป็นสื่อเพื่อการเรียนรู้ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้เรียน เช่น การใช้สื่อวีดิทัศน์เพื่อส่งเสริมพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหารของสตรีมีครรภ์ (ศิริพร พรแสน และสุภาพัทตร์ หาญกล้า, 2564) การใช้สื่อวีดิทัศน์เพื่อการเรียนรู้ด้วยตนเองสำหรับผู้ป่วยไตเสื่อม (จอมพล รัตนา และธนตล ภูสีฤทธิ, 2563)

ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืช ประเทศไทยมีทรัพยากรดินที่อุดมสมบูรณ์ เกษตรกรสามารถสร้างรายได้จากการปลูกพืชได้อย่างต่อเนื่อง แต่การใช้ทรัพยากรดินอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ธาตุอาหารในดินลดลง การใช้ปุ๋ยเคมีสามารถช่วยเพิ่มธาตุอาหารได้อย่างรวดเร็ว แต่การใช้ปุ๋ยเคมีเป็นระยะเวลานานอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของดินและยังลดปริมาณอินทรีย์ในดินซึ่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติของดิน (ชัยสิทธิ์ ทองจุก และคณะ, 2561) ปุ๋ยอินทรีย์ คือ ปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ หมัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์ (พระราชบัญญัติปุ๋ย, 2550) ปุ๋ยอินทรีย์มีประโยชน์ต่อการปรับปรุงบำรุงดินทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี (นริลักษณ์ ชูวรเวช, ม.ป.ป.) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรเพื่อการปรับปรุงดินให้มีคุณภาพดีขึ้น รวมถึงผลผลิตที่เกษตรกรได้รับยังคงมีคุณภาพเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว การให้ความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์กับเกษตรกรรุ่นใหม่จะเป็นหนึ่งในความรู้ที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงดินในแปลงเกษตรของตนเองได้

โครงการนำลูกหลานกลับบ้าน สานต่ออาชีพการเกษตร เป็นโครงการของกรมส่งเสริมสหกรณ์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำลูกหลานเกษตรกรกลับบ้าน สานต่ออาชีพการเกษตร สมาชิกในโครงการคือลูกหลานเกษตรกรที่ไม่ได้ประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับด้านการเกษตรโดยตรง

โครงการจึงจัดกิจกรรมให้ความรู้ทางการเกษตร และสนับสนุนความรู้การใช้เทคโนโลยีการผลิต การแปรรูป และการตลาด เพื่อเป็นการให้ความรู้กับสมาชิกในโครงการ การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์ เพื่อการเรียนรู้ เรื่องการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ จะเป็นเครื่องมือหนึ่งสำหรับการให้ความรู้การผลิตปุ๋ย อินทรีย์ให้กับสมาชิกของโครงการ เพื่อให้สมาชิกได้รับความรู้พื้นฐาน และนำไปประยุกต์ใช้ ในกิจกรรมทางการเกษตรของตนเองได้ต่อไป

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง ปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ หมัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์ และไม่ใช่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ (พระราชบัญญัติปุ๋ย, 2550) ปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่มีความสำคัญ ต่อการปรับปรุงดินและเป็นแหล่งธาตุอาหารที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต ปุ๋ยอินทรีย์สามารถ อุดมไปด้วยสารอินทรีย์ในดิน จุลินทรีย์ในปุ๋ยอินทรีย์จะเจริญเติบโตซึ่งส่งผลโดยตรงและโดยอ้อม ต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณของสัตว์เล็กซึ่งเป็นสัญลักษณ์ที่บ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปุ๋ยอินทรีย์สามารถแบ่งได้เป็น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยอินทรีย์น้ำ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559) โดยจากการศึกษาของอภิษฐา ศรีแสงอ่อน และคณะ (2565) พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากมูลสัตว์ในการปลูกข้าวสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้เมื่อเปรียบ เทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและสามารถช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้ การศึกษาของ อภิษฐา เตชะเขวงกุล และคณะ (2565) พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากมูลสัตว์ร่วมกับปุ๋ยเคมี สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ร้อยละ 25 โดยยังคงมีธาตุอาหารสำหรับพืชอย่างเพียงพอ

2. สื่อวีดิทัศน์

วีดิทัศน์ หมายถึง สื่อภาพและเสียงที่มีความเคลื่อนไหวไปตามเรื่องราวเนื้อหา ที่ผู้ผลิตได้วางแผน การถ่ายทำ ผ่านกระบวนการผลิต และเผยแพร่ (เมธาวิ แก้วสนิท และกรกฎ จำเนียร, 2559) สื่อวีดิทัศน์จัดเป็นสื่อดิจิทัลสมัยใหม่ที่สามารถนำเสนอเรื่องราวในรูปแบบของภาพ และเสียงเพื่อให้ผู้ชมสามารถเข้าใจเรื่องราวได้อย่างรวดเร็ว (ทักษิณา สุขพัทธ์, 2560) สามารถสร้างได้โดยการประกอบขึ้นจากทั้งข้อความ เสียง ภาพนิ่ง และภาพเคลื่อนไหว หรือแอนิเมชันรวมกัน (ชุตินันต์ เกิดวิบูลย์เวช, 2560) นอกจากนี้สื่อวีดิทัศน์ยังจัดเป็นสื่อการเรียนรู้ ที่ได้รับความนิยมใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้เรียน ผู้เรียนจะเกิดการรับรู้ และเข้าใจเนื้อหาที่สื่อต้องการสื่อสาร โดยการศึกษาของศิวพร อึ้งวัฒนา สุกฤตา ใจชมชื่น

และวิลาวัณย์ เตือนราษฎร์ (2565) พบว่า สื่อวีดิทัศน์ที่ประกอบด้วยภาพ เสียง เนื้อหาที่มีความน่าสนใจ สามารถรับชมเพื่อทบทวนซ้ำได้ มีส่วนช่วยให้ผู้เรียนเกิดการสรุปความคิดรวบยอด จดจำรายละเอียดได้ และมีทักษะปฏิบัติได้อย่างถูกต้อง การศึกษาของศิริพร พรแสน และสุภาพัทตร์ หาญกล้า (2564) พบว่า การใช้สื่อวีดิทัศน์เพื่อส่งเสริมพฤติกรรมการบริโภคอาหารของสตรีตั้งครรภ์ มีส่วนช่วยส่งเสริมให้สตรีมีครรภ์เกิดความรู้ความเข้าใจ และสามารถนำไปปฏิบัติตามได้อย่างถูกต้องเหมาะสมเพิ่มมากขึ้น การศึกษาของจอมพล รัตนา และธนดล ภูสีฤทธิ (2563) พบว่า การใช้สื่อวีดิทัศน์เพื่อการเรียนรู้ด้วยตนเองสำหรับผู้ป่วยไตเสื่อม ได้รับความรู้และความเข้าใจในเรื่องอาหาร การใช้ยา และการบำบัดทดแทนไตเพิ่มมากขึ้น สื่อวีดิทัศน์ นอกจากจะเป็นเครื่องมือสำหรับการเผยแพร่ ข้อมูลข่าวสารแล้วยังใช้เป็นสื่อให้ความรู้เพื่อให้ผู้รับชมได้รับความรู้ความเข้าใจเพิ่มมากขึ้น

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสื่อวีดิทัศน์เพื่อการเรียนรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ เพื่อให้เกษตรกรได้รับความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ และสามารถผลิตและใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อให้เกิดประโยชน์ในแปลงเกษตรของตนเอง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์ มีดังนี้

1.1) รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ สูตรการผลิตปุ๋ยและวัสดุสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของขั้นตอนการผลิตปุ๋ยและสูตรการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

1.2) จัดเตรียมวัสดุสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และจัดเตรียมสถานที่สำหรับการบันทึกวีดิทัศน์ จากนั้นดำเนินการบันทึกวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ และจัดลำดับความถูกต้อง คุณภาพของภาพและเสียงของสื่อวีดิทัศน์ ตรวจสอบลำดับความถูกต้องของสื่อวีดิทัศน์และปรับแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

1.3) ดำเนินการสร้างแบบประเมินความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของแบบประเมินจากค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อคำถามจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

1.4) ดำเนินการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของแบบประเมินจากค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อคำถามจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

2. การประเมินผลการใช้สื่อวีดิทัศน์ เป็นการนำเสนอสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ให้กับกลุ่มตัวอย่าง โดยกลุ่มตัวอย่างคือสมาชิกในโครงการนำลูกหลานเกษตรกรกลับบ้าน

สานต่ออาชีพการเกษตร จังหวัดตาก จำนวน 32 คน จากการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงสมาชิกที่มีความพร้อมและสามารถเข้าร่วมโครงการได้ โดยการประเมินผลการใช้สื่อวีดิทัศน์แบ่งได้ดังนี้

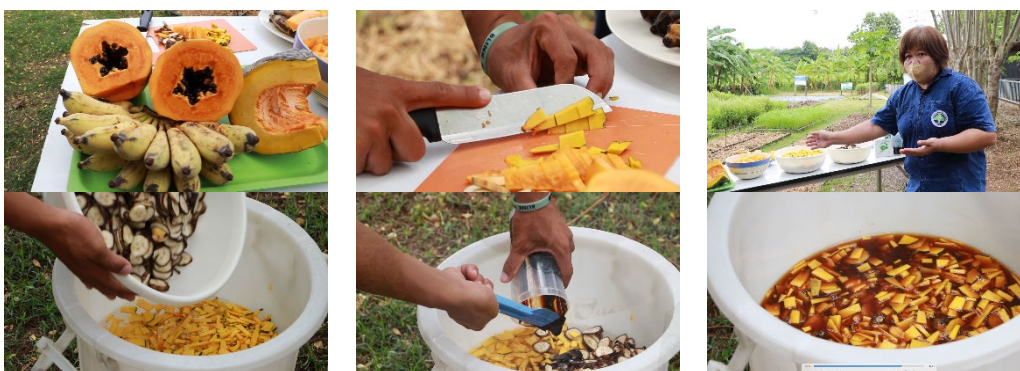
2.1) การประเมินผลการเรียนรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ โดยกลุ่มตัวอย่างจะประเมินความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ก่อนการรับชมสื่อวีดิทัศน์ จากนั้นกลุ่มตัวอย่างจะรับชมสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์และประเมินความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากแบบประเมินความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อีกครั้ง การประเมินผลการเรียนรู้ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของกลุ่มตัวอย่างจะประเมินผลโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อนและหลังการรับชมสื่อวีดิทัศน์ด้วยค่าสถิติ t-test

2.2) การประเมินผลความพึงพอใจการนำเสนอเนื้อหาของสื่อวีดิทัศน์ โดยกลุ่มตัวอย่างจะประเมินความพึงพอใจการนำเสนอเนื้อหาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของสื่อวีดิทัศน์ภายหลังจากการรับชมสื่อวีดิทัศน์และการประเมินความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ การประเมินความพึงพอใจจะประเมินผลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

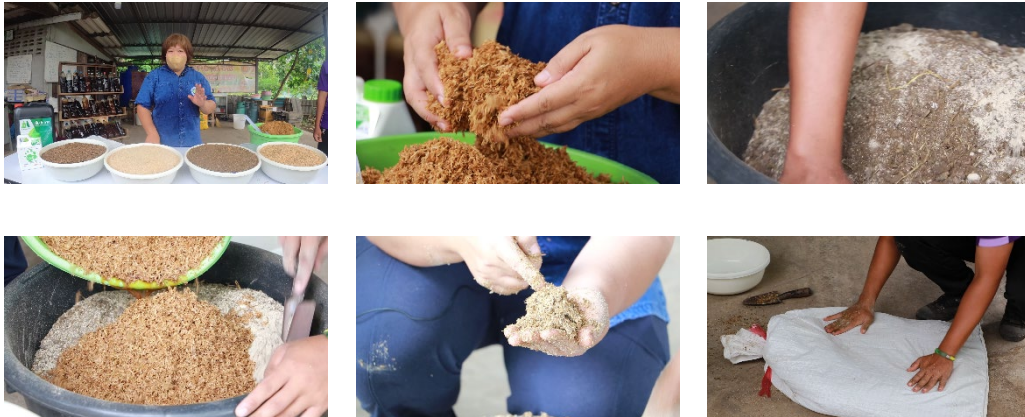
4. ผลการวิจัย

1. สื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์

ผลจากการรวบรวมข้อมูลการผลิตปุ๋ยอินทรีย์พบว่า การผลิตปุ๋ยอินทรีย์สามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดน้ำและการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดแห้ง ปุ๋ยอินทรีย์แต่ละรูปแบบจะมีสูตรการผลิตที่คล้ายคลึงกัน โดยมีวัสดุที่แตกต่างกันตามท้องถิ่นและฤดูกาล จากผลการศึกษานี้จึงได้พัฒนาสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดน้ำจำนวน 1 สูตรและสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดแห้งจำนวน 1 สูตร ดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 1 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดน้ำ



รูปที่ 2 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดแห้ง

2. การประเมินผลการใช้สื่อวีดิทัศน์

2.1) การประเมินผลการเรียนรู้จากสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์

กลุ่มตัวอย่างจะทำแบบประเมินความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ก่อนการรับชมสื่อวีดิทัศน์ จากนั้นจะรับชมสื่อวีดิทัศน์และกลุ่มตัวอย่างจะทำแบบประเมินความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ภายหลังการรับชมสื่อวีดิทัศน์อีกครั้ง จากนั้นสรุปผลการประเมินความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อนและหลังการรับชมสื่อวีดิทัศน์ด้วยใช้ค่าสถิติ t-test ผลการประเมินดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากการรับชมสื่อวีดิทัศน์

	ค่าเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	t	df	p
ก่อนรับชมสื่อวีดิทัศน์	11.25	1.52	14.86	31	0.00
หลังรับชมสื่อวีดิทัศน์	15.25	1.22			

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินการเรียนรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ก่อนและหลังการรับชมสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ได้ค่าสถิติทดสอบที่ เท่ากับ 14.86 ที่ องศาอิสระเท่ากับ 31 และค่า p มีค่าเท่ากับ 0.00 มีค่าน้อยกว่า 0.05

จึงสรุปได้ว่าการรับชมสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ทำให้กลุ่มตัวอย่างได้รับความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.2) การประเมินผลความพึงพอใจสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์

กลุ่มตัวอย่างประเมินผลความพึงพอใจจากการรับชมสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากแบบประเมินความพึงพอใจ และสรุปผลการประเมินความพึงพอใจโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ดังแสดงในตาราง ที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจการรับชมสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์

รายการ	ค่าเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบน	ผล การประเมิน
		มาตรฐาน	
1. ด้านเนื้อหาความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์	4.27	0.611	มากที่สุด
1.1 ท่านได้รับประโยชน์จากเนื้อหาความรู้ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์	4.31	0.535	มากที่สุด
1.2 การนำเสนอเนื้อหาที่มีความกระชับและ สามารถเข้าใจง่าย	4.31	0.592	มากที่สุด
1.3 ท่านสามารถทำความเข้าใจในเนื้อหาได้ อย่างรวดเร็ว	4.19	0.644	มาก
1.4 ท่านสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ ใช้กับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์สูตรอื่นได้	4.28	0.683	มากที่สุด
2. ด้านการนำเสนอภาพและเสียง ประกอบเนื้อหา	4.21	0.610	มากที่สุด
2.1 ระยะเวลาของการนำเสนอความรู้เหมาะสม	4.28	0.634	มากที่สุด
2.2 เสียงบรรยายในการนำเสนอมีความชัดเจน และน่าสนใจ	4.22	0.420	มากที่สุด
2.3 การนำเสนอภาพมีความชัดเจนและน่าสนใจ	4.03	0.692	มาก
2.4 การนำเสนอภาพทำให้เข้าใจเนื้อหาการผลิต ปุ๋ยอินทรีย์	4.31	0.644	มากที่สุด
รวม	4.24	0.610	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจการรับชมสื่อวีดิทัศน์ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ โดยรวมในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย=4.24, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=0.610) โดยกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อสื่อวีดิทัศน์ในด้านเนื้อหาความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยรวมในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย=4.27, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=0.611) และด้านการนำเสนอ ภาพและเสียงประกอบเนื้อหาโดยรวมในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย=4.21, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=0.610)

ด้านเนื้อหาความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อ ประโยชน์ที่ได้รับจากเนื้อหาความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย=4.31, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=0.535) สื่อวีดิทัศน์นำเสนอเนื้อหาได้อย่างกระชับ ทำความเข้าใจง่ายในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย=4.31, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=0.592) กลุ่มตัวอย่างสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้กับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์สูตรอื่นได้ในระดับ มากที่สุด (ค่าเฉลี่ย=4.28, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=0.683) และกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจ ต่อการทำความเข้าใจเนื้อหาในสื่อวีดิทัศน์ได้อย่างรวดเร็วในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย=4.19, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=0.644)

ด้านการนำเสนอภาพและเสียงประกอบเนื้อหา กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจ ต่อการนำเสนอภาพที่ทำให้เข้าใจเนื้อหาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย=4.31, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=0.644) ความเหมาะสมของระยะเวลาการนำเสนอ ของสื่อในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย=4.28, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=0.634) ความชัดเจนและความน่าสนใจของเสียงบรรยายของสื่อในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย=4.22, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=0.420) และกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อการนำเสนอภาพ ที่มีความชัดเจนและน่าสนใจในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย=4.03, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=0.632)

5. สรุปและอภิปรายผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสื่อวีดิทัศน์เพื่อการเรียนรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ การดำเนินงานแบ่งได้ 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการผลิตสื่อวีดิทัศน์และขั้นตอน การประเมินผลการใช้สื่อวีดิทัศน์ การผลิตสื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดแห้ง และชนิดน้ำชนิดละ 1 สูตร จากนั้นประเมินผลการใช้สื่อวีดิทัศน์ โดยผลการประเมิน การเรียนรู้จากสื่อวีดิทัศน์พบว่า กลุ่มตัวอย่างได้รับความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และผลการประเมิน

ความพึงพอใจสื่อวีดิทัศน์พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจสื่อวีดิทัศน์โดยรวมในระดับมากที่สุด โดยสามารถอภิปรายผลการศึกษาได้ ดังนี้

1. ผลการประเมินการเรียนรู้จากสื่อวีดิทัศน์ กลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยจากการประเมิน หลังการรับชมสื่อวีดิทัศน์สูงกว่าก่อนการรับชมสื่อวีดิทัศน์ สอดคล้องกับการศึกษาของศิวพร อึ้งวัฒนา สุกฤตา ใจชมชื่น และวิลาวัลย์ เตือนราษฎร์ (2565) และการศึกษาของจอมพล รัตนา และธนดล ภูสีฤทธิ์ (2563) การรับชมสื่อวีดิทัศน์ที่มีภาพ เสียง เนื้อหาที่ครบถ้วนชัดเจน สามารถทบทวนได้ หลายครั้ง ช่วยให้เข้าใจเนื้อหาได้ง่ายและเร็วขึ้น และสื่อวีดิทัศน์ที่มีการนำเสนอที่น่าสนใจมีส่วนช่วยจูงใจให้อยากเรียนรู้และจดจำได้นาน ส่งผลให้ผลการประเมินหลังการรับชมสื่อวีดิทัศน์สูงกว่าก่อนรับชมสื่อวีดิทัศน์

2. ผลการประเมินความพึงพอใจ กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อสื่อวีดิทัศน์ โดยรวมในระดับมากที่สุด โดยกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในด้านเนื้อหาความรู้ การผลิต ปุ๋ยอินทรีย์ในระดับมากที่สุด และด้านการนำเสนอภาพและเสียงประกอบเนื้อหาในระดับมากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของศิวพร อึ้งวัฒนา สุกฤตา ใจชมชื่น และวิลาวัลย์ เตือนราษฎร์ (2565) การศึกษาของศิริพร พรแสน และสุภาพัทตร์ หาญกล้า (2564) และการศึกษาของจอมพล รัตนา และธนดล ภูสีฤทธิ์ (2563) สื่อวีดิทัศน์ที่มีประโยชน์ต่อผู้เรียน ผู้เรียนสามารถปฏิบัติตามสื่อได้ มีการนำเสนอเนื้อหาที่ชัดเจนสามารถเข้าใจง่าย ช่วยให้ผู้เรียนจดจำขั้นตอนและรายละเอียดได้ ส่งผลให้สื่อวีดิทัศน์การผลิตปุ๋ยอินทรีย์สามารถนำไปใช้เพื่อการถ่ายทอดความรู้ให้กับเกษตรกรและผู้สนใจทั่วไป

การศึกษานี้ประเมินผลการเรียนรู้จากสื่อวีดิทัศน์จากกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงซึ่งเป็นเกษตรกร รุ่นใหม่และกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนไม่มาก การศึกษาในครั้งถัดไปควรนำสื่อวีดิทัศน์ เพื่อการเรียนรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ไปถ่ายทอดและประเมินความรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์กับเกษตรกร เกษตรกรรุ่นใหม่ รวมถึงผู้สนใจการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อประเมินคุณภาพ การถ่ายทอดความรู้ของสื่อวีดิทัศน์ นอกจากนี้ ผู้เรียนยังสามารถนำความรู้ ไปใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตในแปลงเกษตรของตนเองได้

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทว.) ประจำปี พ.ศ.2565

7. เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2559). *การจัดการดินและปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ*. กรุงเทพมหานคร: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- จอมพล รัตนา และชนดล ภูสีฤทธิ. (2563). การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์เพื่อการเรียนรู้ด้วยตนเอง สำหรับผู้ป่วยไตเสื่อม คลินิกชะลอไตเสื่อม โรงพยาบาลหนองคาย. *วารสารเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา*. 3(9), 54-61.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุก, เกียรติศักดิ์ สนศรี, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และธรรมธวัช แสงงาม. (2561). ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ*. 1(1), 47-56.
- ชุดิสนันต์ เกิดวิบูลย์เวช. (2560). *สื่อดิจิทัลใหม่..สื่อแห่งอนาคต (ฉบับปรับปรุง)*. กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- ทักษิณา สุขพัทธ์. (2560). รูปแบบสื่อมัลติมีเดียเพื่อการสร้างสรรค์ศิลปะนิทรรศการ. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์*. 12(2), 130-143.
- นริลักษณ์ ชูรวเวช. (ม.ป.ป.). เรื่องควรรู้เกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์. เอกสารวิชาการ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://lib.doa.go.th/multim/e-book/EB00008.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล : 3 เมษายน 2566).
- บุรณี อติศรพันธ์กุล, ประภาภรณ์ แสดงสุวรรณ, รุ่งทิวา เสาร์สิงห์, ประยุทธิ นิภา และสุวิตรี วงศ์โพธิ์. (2562). การผลิตวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ เรื่อง พิพิธภัณฑการแพทย์แผนไทยอภัยภูเบศร. *วารสารการอาชีวและเทคนิคศึกษา*. 9(17), 20-26.
- พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 (ฉบับที่ 2). (2550). ราชกิจจานุเบกษา, 125(7)
- เมธาวี แก้วสนิท และกรกฎ จำเนียร. (2559). การออกแบบสื่อวีดิทัศน์เพื่ออนุรักษ์วัฒนธรรม "รำไท่น-นกพิทิต" ถ่ายทอดแก่กลุ่มเยาวชน. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต*. 12(2), 57-80.
- ศิริพร พรแสน และสุภาพัทธ์ หาญกล้า. (2564). การใช้สื่อวีดิทัศน์เพื่อส่งเสริมพฤติกรรมการบริโภคอาหารของสตรีตั้งครรภ์ที่มารับบริการฝากครรภ์ โรงพยาบาลกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี. *วารสารโรงพยาบาลมหาสารคาม*. 18(2), 97-104.
- ศิวพร อึ้งวัฒนา, สุกฤตา ใจชมชื่น และวิลาวัลย์ เตือนราชภูร์. (2565). การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์เพื่อการเรียนรู้ด้วยตนเองเรื่องการตรวจร่างกายตามระบบต่อทักษะปฏิบัติและความพึงพอใจของนักศึกษาพยาบาล. *พยาบาลสาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*. 49(2), 112-127.

- สุวรรณณี ห้วยหงษ์ทอง. (2564). การผลิตสื่อวีดิทัศน์เพื่อการเรียนรู้เกี่ยวกับหนังสือประวัติศาสตร์ ศึกษาคณะเพชรบูรณ์. *Journal of Information and Learning*. 33(1), 80-90.
- อภิชนา ศรีแสงอ่อน, คณิดา ตังคณานุรักษ์, ดาวจรัส เกตุโรจน์ และสุธี จรรยาสุทธิวงศ์. (2565) การลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการปลูกข้าวโดยใช้การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่และการใช้มูลไก่อาร่วมกับปุ๋ยเคมี. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*. 22(1), 145-155.
- อภิศรา เตชะเขวงกุล, คณิดา ตังคณานุรักษ์, ดาวจรัส เกตุโรจน์ และสุธี จรรยาสุทธิวงศ์. (2565). การใช้ประโยชน์มูลสัตว์เพื่อเป็นทางเลือกของการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเข้มข้นในการเกษตรของชุดดินรือเสาะ. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*. 22(1), 156-167.

การเพิ่มสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน สำหรับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

อัศวิน ยอดรักษ์^{1*} ฉัตรชัย นมมล¹ และ สุรพิชญ์ ทับเที่ยง²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

² ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

*E-mail. aswin.y@eng.kmutnb.ac.th, Tel. +669 2637 5959

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุแบบท่อลูกฟูกและแนวคิดของการบ้อนวัสดุเข้าระบบอบแห้งหลายรอบ (อบแห้ง 1 รอบและ 2 รอบ) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบกระแสนสำหรับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีความชื้นสูง โดยกากถั่วเหลืองถูกนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับทดสอบการอบแห้ง ผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกากถั่วเหลืองและสมรรถนะของเครื่องอบแห้งได้ถูกศึกษา ผลการศึกษาจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้ท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุแบบท่อผิวเรียบ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณความชื้นของกากถั่วเหลืองลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งและตามการลดลงของอัตราการป้อนกากถั่วเหลือง การใช้ท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุแบบท่อลูกฟูกส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรสูงสุดมีค่า $1543 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{m}^3 \text{ h}$ ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งรอบที่ 1 เมื่อใช้ท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุแบบท่อลูกฟูกที่อุณหภูมิอบแห้ง 160°C และอัตราการป้อนกากถั่วเหลือง $36 \text{ kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$

คำสำคัญ เครื่องอบแห้งแบบกระแสน, ท่อลูกฟูก, วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร, อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร

Increasing Performance of Impinging Stream Dryer for Agricultural Waste

Aswin Yodru^x ^{1*} Chatchai Nimmol ¹ and Surapit Tabtiang ²

¹Department of Material Handling and Logistic Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800, Thailand.

²Department of Social and Applied Science, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800, Thailand.

*E-mail. aswin.y@eng.kmutnb.ac.th, Tel. +669 2637 5959

Abstract

In this research, a hot air and corrugated feeding pipes, and multi-pass drying concept (one-pass and two-pass drying) was applied to increase the energy efficiency of impinging stream dryer for high-moisture agricultural waste. Okara was used as the test material. The effects of various operating parameters on the change in moisture content of okara and the dryer performance were evaluated. Comparison was also made with the smooth feeding pipe results. It was found that the final moisture content of okara decreased with an increase in drying temperature and a decrease in okara feed rate. Using the hot air and the corrugated feeding pipes for the drying system, the volumetric water evaporation rate of the dryer was clearly enhanced. In addition, the highest volumetric water evaporation rate was found to be $1543 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{m}^3 \text{ h}$ occurred during the one-pass drying when using a corrugated feeding pipes at drying temperature of 160°C and okara feeding rate of $36 \text{ kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$

Keywords: Agricultural Waste Materials, Corrugated Feeding Pipes, Impinging Stream Dryer, volumetric water evaporation rate

1. บทนำ

กากถั่วเหลือง (okara) ที่เหลือจากกระบวนการผลิตอาหารเป็นวัสดุที่มีความชื้นที่ผิวสูงมากและมักเน่าเสียอย่างรวดเร็ว หนึ่งในวิธีที่มีความเหมาะสมในการชะลอการเน่าเสียและสามารถนำกากถั่วเหลืองไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้แก่การอบแห้ง (drying) ในอดีตการอบแห้งกากถั่วเหลืองทำได้โดยเครื่องอบแห้งลมร้อนหลายรูปแบบเช่น การใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) เครื่องอบแห้งแบบโรตารี (rotary dryer) หรือเครื่องอบแห้งแบบสเปาท์เทตเบด (spouted-bed dryer) (Wachiraphansakul and Devahastin, 2005; Wachiraphansakul and Devahastin, 2007) ซึ่งล้วนแล้วแต่ใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งทั้งสิ้น แต่การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลักษณะดังกล่าวยังคงมีข้อจำกัดกล่าวคือกากถั่วเหลืองแห้งที่ได้มักจับตัวกันเป็นก้อนในระหว่างการอบแห้ง รวมถึงใช้เวลาในการอบแห้งนาน ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งมาก ในทางทฤษฎีประสิทธิภาพทางความร้อนซึ่งสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้งสามารถเพิ่มขึ้นโดยการทำให้อากาศอบแห้งมีลักษณะเป็นอนุภาคเพื่อเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัสดุที่นำมาอบแห้งกับอากาศร้อน การเพิ่มระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัสดุกับอากาศร้อน รวมถึงการลดความต้านทานในการถ่ายเทมวลและความร้อนที่ผิวของวัสดุลง โดยกลไกที่กล่าวนี้สามารถทำได้ด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสน (impinging stream dryer: ISD) ในที่นี้จะทำการลดความชื้นของกากถั่วเหลืองด้วยการใช้เครื่องอบแห้งแบบกระแสนที่มีการใช้ท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุที่แบบท่อลูกฟูก (corrugated pipes) ซึ่งผิวท่อมีลักษณะเป็นคลื่น โดยรูปแบบของท่อลักษณะนี้ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient) ได้อย่างชัดเจน (Ağra et al., 2011; Xiao-wei et al., 2011; García et al., 2012) รวมถึงใช้การป้อนกากถั่วเหลืองเข้าระบบหลายรอบ (multi-pass drying) หลังการพัฒนาระบบอบแห้งแล้วเสร็จ ผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งจะถูกศึกษา

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบกระแสนพิจารณาจากการประเมินอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร (volumetric water evaporation rate) โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้ (Tamir, 1994)

$$N_v = W_p(X_i - X_o)/V_r \quad (1)$$

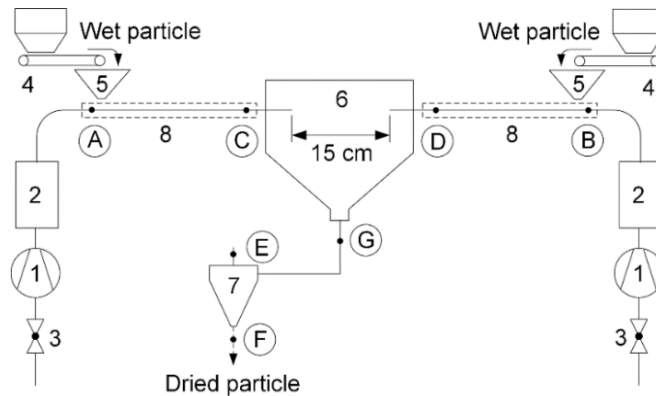
เมื่อ N_v คือ อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร ($\text{kg}_{\text{water}}/\text{m}^3 \text{ h}$)
 X_i คือ ความชื้นของวัสดุทางเข้าของระบบอบแห้ง, $\text{kg}/\text{kg d.b.}$
 X_o คือ ความชื้นของวัสดุทางออกของระบบอบแห้ง, $\text{kg}/\text{kg d.b.}$
 W_p คือ อัตราป้อนวัสดุ, $\text{kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$
 V_r คือ ปริมาตรของระบบอบแห้ง, m^3

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

แผนผังของเครื่องอบแห้งแบบกระแสนแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ได้แก่ พัดลมแรงดันสูง (high-pressure blowers) จำนวน 2 ชุด ชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (electric heaters) จำนวน 2 ชุด โกลบวาล์ว (globe valves) สายพานป้อนวัสดุ (belt feeder) จำนวน 2 ชุด ห้องอบแห้ง (drying chamber) และไซโคลน (cyclone) ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวเชื่อมต่อกันด้วยระบบท่อ

ห้องอบแห้งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.254 m ไซโคลน และระบบท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.050 m ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ห้องอบแห้งมีลักษณะเป็นภาชนะที่ประกอบด้วยส่วนบนที่เป็นทรงกระบอกและส่วนล่างที่เป็นทรงกรวย ด้านบนปิดทึบ ในขณะที่ด้านล่างของส่วนที่เป็นกรวยเป็นช่องทางออกของวัสดุอนุภาคและอากาศร้อน ห้องอบแห้งเชื่อมต่อกับท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุ (feeding pipes) ที่ผนังด้านข้างทั้งสองด้านซึ่งอยู่ในแนวตรงข้ามกัน (ท่อ A-C และ ท่อ B-D) ปลายของท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุยื่นเข้าไปภายในห้องอบแห้ง โดยระยะห่างระหว่างปลายทั้งสองด้านของท่อดังกล่าวหรือระยะชน (impinging distance) ถูกกำหนดไว้ที่ 15 cm ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งทั้งหมด ถูกหุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว เพื่อลดความร้อนสูญเสีย อากาศร้อนที่ใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้ง ถูกจ่ายเข้าสู่ห้องอบแห้ง แต่ละด้านด้วยพัดลมแรงดันสูงขนาด 2 ตัว (Crelec, HB-629, Shanghai, China) โดยพัดลมดังกล่าวสามารถสร้างอัตราการไหลของอากาศได้ $5.2 \text{ m}^3/\text{min}$ ที่ความดัน 280 mbar อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ป้อนเข้าสู่ห้องอบแห้ง (จุด A และ B) สร้างจากชุดทำความร้อนแบบใช้ไฟฟ้าขนาด 15 kW จำนวน 2 ชุด ที่ควบคุมด้วยชุดควบคุมแบบ PID (DHC, DHC1T-D, Wenzhou, China) ปริมาณกากแก้วเหลืองที่เข้าสู่เครื่องอบแห้งควบคุม ด้วยสายพานป้อนวัสดุที่สามารถปรับความเร็วได้



- (1) high-pressure blowers, (2) electric heaters, (3) globe valves,
 (4) belt feeders; (5) hoppers, (6) drying chamber, (7) cyclone, (8) feeding pipes.

รูปที่ 1 แผนผังของเครื่องอบแห้งแบบกระแสวน

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

กากถั่วเหลืองถูกใช้เป็นวัสดุในการทดลองอบแห้ง ก่อนนำมาทดลอง กากถั่วเหลือง ต้องได้รับการนำน้ำส่วนเกินออก จากนั้นจะนำมาร้อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดของรูเปิดประมาณ 2 x 2 mm กากถั่วเหลืองที่ได้จึงมีลักษณะเป็นผงคล้ายอนุภาคซึ่งถือเป็นกากถั่วเหลืองที่มีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุทดลองในงานวิจัยนี้ กากถั่วเหลืองที่พร้อมนำไปทดลองจะมีความชื้นประมาณ 311 ถึง 355% (d.b.)

3.3 เงื่อนไขการทดลอง

การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาเงื่อนไขการทดลองที่เหมาะสมโดยใช้ท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุ แบบท่อเรียบ โดยพิจารณาจากความชื้นสุดท้ายของกากถั่วเหลืองที่ได้จากการอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้งที่ใช้คือ 110 130 และ 150°C และอัตราการป้อนกากถั่วเหลือง (feeding rates, W_p) ที่ใช้คือ 15 30 และ 45 $\text{kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$ ผลการศึกษาพบว่า เงื่อนไขที่กำหนดเบื้องต้นสามารถลดความชื้นของกากถั่วเหลืองลงได้ในระดับหนึ่งซึ่งยังไม่ต่ำพอ ดังนั้น จึงกำหนดเงื่อนไขการทดลองใหม่ โดยเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งและลดอัตราการป้อนกากถั่วเหลือง โดยในที่นี่การทดลองอบแห้งดำเนินการที่อุณหภูมิอบแห้ง 120 140 และ 160°C และอัตราการป้อนกากถั่วเหลือง 12 24 และ 36 $\text{kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$ โดยอัตราการป้อนกากถั่วเหลือง ที่ป้อนเข้าสู่ระบบในแต่ละด้านของห้องอบแห้งกำหนดให้มีค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการป้อนแต่ละค่าที่ข้างต้น การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกทดลองโดยป้อนกากถั่วเหลืองผ่านเครื่องอบแห้ง 1 รอบ (one-pass drying) ส่วนที่สองทดลองโดยป้อนกากถั่วเหลืองผ่านเครื่องอบแห้ง 2 รอบ (two-pass

drying) กากถั่วเหลืองที่ผ่านการอบแห้งรอบที่ 1 จะถูกป้อนกลับเข้าสู่ระบบการอบแห้งอีกครั้ง ความเร็วของอากาศที่เข้าสู่ระบบอบแห้ง (วัดที่จุด A และ B ในรูปที่ 1) ที่กำหนดให้มีค่าคงที่เท่ากับ 25 m/s การทดลองกระทำทั้งกรณีท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุ (ท่อ A-C และ ท่อ B-D) เป็นท่อเรียบและท่อลูกฟูก โดยท่อลูกฟูกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทำจากท่อเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.050 m ที่นำมาผ่านกระบวนการกดขึ้นรูปให้ผิวท่อมีลักษณะเป็นคลื่น ตลอดความยาว 2 m โดยมีระยะพิตช์ระหว่างยอดคลื่น (1 cm) เท่ากันตลอดทั้งความยาวท่อ รูปที่ 2 แสดงลักษณะของท่อเรียบ (smooth pipes) และท่อลูกฟูกที่ใช้ในงานวิจัย



(1) ท่อเรียบ

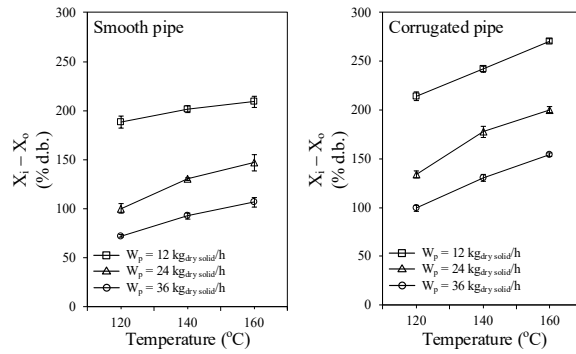
(ข) ท่อลูกฟูก

รูปที่ 2 ลักษณะของท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุ

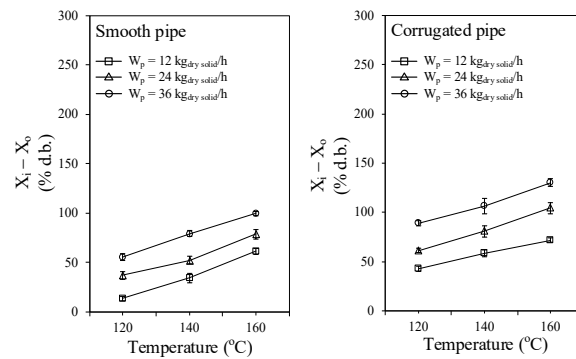
4. ผลการวิจัย

4.1 การลดลงของความชื้นของกากถั่วเหลือง

เมื่อพิจารณาความชื้นที่ลดลง ($X_i - X_o$) ของกากถั่วเหลือง ดังรูปที่ 3 พบว่า สำหรับการอบแห้งรอบที่ 1 การใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงและอัตราการป้อนกากถั่วเหลืองต่ำ จะส่งผลให้ความชื้นของกากถั่วเหลืองลดลงมากกว่า ($X_i - X_o$ มีค่ามากกว่า) เมื่อเทียบกับการใช้อุณหภูมิต่ำและอัตราการป้อนกากถั่วเหลืองสูง ทั้งนี้เป็นผลจากความชื้นสุดท้ายของกากถั่วเหลืองที่ได้มีค่าต่ำกว่าด้วยเหตุผลที่กล่าวข้างต้น



(ก) One-pass drying



(ข) Two-pass drying

รูปที่ 3 ผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งและอัตราการป้อน ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกากถั่วเหลือง

สำหรับการอบแห้งรอบที่ 2 แนวน้ำของผลที่ได้จะคล้ายกับผลที่ได้ในการอบแห้งรอบที่ 1 เฉพาะในกรณีของอุณหภูมิอบแห้ง อย่างไรก็ตาม ในกรณีของอัตราการป้อนกากถั่วเหลือง ผลที่ได้จะมีลักษณะตรงข้าม กล่าวคือ การใช้อัตราการป้อนกากถั่วเหลืองสูง จะส่งผลให้ความชื้นของกากถั่วเหลืองลดลงมากกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะในการอบแห้งรอบที่ 2 กากถั่วเหลืองซึ่งมีอัตราการป้อนสูงที่เข้าสู่ระบบ (หลังผ่านการอบแห้งรอบที่ 1) ยังคงมีความชื้นสูงอยู่ อันเป็นผลจากความชื้นระเหยออกจากกากถั่วเหลืองในปริมาณน้อย (ต่างจากกรณีใช้อัตราการป้อนต่ำที่ความชื้นส่วนใหญ่ระเหยออกออกไประหว่างการอบแห้งรอบที่ 1) แนวน้ำของปรากฏการณ์ที่สังเกตพบมีลักษณะคล้ายกัน ทั้งกรณีใช้ท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุแบบท่อเรียบและท่อลูกฟูก

การใช้ท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุแบบท่อลูกฟูกมีแนวโน้มทำให้ความชื้นของกากถั่วเหลืองลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ท่อเรียบในทำนองเดียวกับค่าความชื้นสุดท้ายของกากถั่ว

ลิ่ง หากพิจารณาอิทธิพลของรอบการอบแห้งที่มีต่อความชื้นสุดท้ายของกากถั่วเหลือง จะพบว่า ความชื้นของกากถั่วเหลืองที่อบแห้งรอบที่ 2 ลดลงน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ กากถั่วเหลืองที่อบแห้งรอบที่ 1 ในทุกเงื่อนไขการอบแห้ง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความชื้น ของกากถั่วเหลืองส่วนใหญ่ได้ระเหยออกไปในระหว่างการอบแห้งรอบที่ 1 ความแตกต่างของปริมาณความชื้นที่สังเกตนี้จะได้ชัดเจนที่อัตราการป้อนกากถั่วเหลืองต่ำ โดยที่สภาวะดังกล่าว ความชื้นของกากถั่วเหลืองจะเหวออกในระหว่างการอบแห้งรอบที่ 1 ในปริมาณมาก

ตารางที่ 1 แสดงอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร

ชนิดท่อ	T (°C)	W _p (kg _{dry solid} /h)	N _v (kg _{water} /m ³ h)	
			One-pass drying	One-pass drying
ท่อเรียบ	120	12	665 ± 22.1 ^a	45 ± 8.5 ^a
		24	704 ± 33.9 ^{ab}	246 ± 27.0 ^c
		36	763 ± 11.0 ^{cd}	555 ± 32.0 ^f
	140	12	710 ± 11.5 ^{abc}	114 ± 15.2 ^b
		24	917 ± 11.7 ^e	350 ± 25.1 ^d
		36	980 ± 32.1 ^f	793 ± 30.6 ^h
	160	12	737 ± 19.6 ^{bc}	204 ± 10.6 ^c
		24	1035 ± 60.1 ^g	524 ± 30.1 ^f
		36	1128 ± 49.9 ^h	995 ± 22.9 ^j
ท่อลูกฟูก	120	12	712 ± 15.0 ^{abc}	142 ± 10.0 ^b
		24	891 ± 24.3 ^e	409 ± 17.1 ^e
		36	994 ± 30.1 ^{fg}	889 ± 28.1 ⁱ
	140	12	807 ± 10.5 ^d	194 ± 10.3 ^c
		24	1202 ± 61.0 ⁱ	545 ± 30.3 ^f
		36	1307 ± 35.6 ^j	1063 ± 75.1 ^k
	160	12	903 ± 7.9 ^e	239 ± 7.5 ^c
		24	1335 ± 19.9 ^j	695 ± 36.6 ^g
		36	1543 ± 15.3 ^k	1300 ± 40 ^l

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันหมายความว่าค่าที่ระบุไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2 อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร

สำหรับอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร (ดังตารางที่ 1) พบว่า อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้นทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนและอุณหภูมิผิวของกากถั่วเหลืองมีค่ามาก แรงขับเคลื่อนสำหรับการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวล (ความชื้น) จึงมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (unhindered rate drying period) ความชื้นของกากถั่วเหลืองจึงลดลงมากกว่า ด้วยเหตุที่อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรแปรผันตามค่าความชื้นของกากถั่วเหลืองที่ลดลง ความชื้นของกากถั่วเหลืองที่ลดลงมากจึงส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรมีค่ามากด้วย ผลที่ได้ข้างต้นสอดคล้องกับผลการอบแห้งกากถั่วเหลืองและข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสดวนของ Sathapornprasath et al. (2007) และ Choicharoen et al. (2010) ตามลำดับ รวมถึงยังสอดคล้องกับผลการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมของ Nimmol et al. (2012) นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนกากถั่วเหลือง ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณความชื้นที่เข้ามาในระบบอบแห้งพร้อมกับกากถั่วเหลืองมีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ความชื้นที่ระเหยออกจากกากถั่วเหลืองมีปริมาณมากขึ้น แม้ว่าการเพิ่มอัตราการป้อนกากถั่วเหลืองทำให้ศักยภาพของอากาศร้อนในการระเหยความชื้นที่อยู่ภายในกากถั่วเหลืองลดลง แต่ปรากฏการณ์เกิดขึ้นเป็นสิ่งบ่งชี้ว่าเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นยังมีขีดความสามารถมากพอที่ในการระเหยความชื้นที่เข้ามาในระบบพร้อมกับกากถั่วเหลืองภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งดังกล่าวได้อีก แนวโน้มผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งและอัตราการป้อนกากถั่วเหลืองต่ออัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรที่กล่าวข้างต้นมีลักษณะคล้ายกันทั้งกรณีใช้ท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุแบบท่อเรียบและแบบท่อลูกฟูก จะพบว่า อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรของเครื่องอบแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ในช่วง 665 ถึง 1543 $\text{kg}_{\text{water}}/\text{m}^3\text{h}$ สำหรับการอบแห้งรอบที่ 1 และ 45 ถึง 1300 $\text{kg}_{\text{water}}/\text{m}^3\text{h}$ สำหรับการอบแห้งรอบที่ 2 โดยพบว่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรสูงสุดมีค่า 1543 $\text{kg}_{\text{water}}/\text{m}^3\text{h}$ เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งรอบที่ 1 เมื่อใช้ท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุแบบท่อลูกฟูก ที่อุณหภูมิอบแห้ง 160°C และอัตราการป้อนกากถั่วเหลือง 36 $\text{kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$

5. สรุปและอภิปรายผล

จากการประยุกต์ใช้ท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุที่แบบท่อลูกฟูกกับเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำสำหรับการอบแห้งกากถั่วเหลือง พบว่า การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงและอัตราการป้อนกากถั่วเหลืองต่ำส่งผลให้ความชื้นของกากถั่วเหลืองลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำและอัตราการป้อนกากถั่วเหลืองสูง ในทำนองเดียวกัน การใช้ท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุแบบท่อลูกฟูกช่วยให้ความชื้นของกากถั่วเหลืองลดลงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ท่อเรียบ โดยพบว่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรสูงสุด ($1543 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{m}^3 \text{ h}$) เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งรอบที่ 1 เมื่อใช้ท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุแบบท่อลูกฟูกที่อุณหภูมิอบแห้ง 160°C และอัตราการป้อนกากถั่วเหลือง $36 \text{ kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถยืนยันได้ว่า การใช้ท่อลำเลียงอากาศร้อนและวัสดุที่แบบท่อลูกฟูกและการใช้แนวคิดของการป้อนวัสดุเข้าระบบอบแห้งหลายรอบเป็นวิธีการที่มีศักยภาพสำหรับการนำไปขยายผลหรือต่อยอดสู่รูปแบบการอบแห้งอื่นได้ในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณวิศวกรรมศาสตรมหาวิทาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้สนับสนุนการทำงานวิจัย รวมไปถึงภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลหิตศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่สนับสนุนปัจจัยพื้นฐานที่จำเป็นต่อการทำงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- Ağra, Ö., Demir, H., Atayılmaz, Ş.Ö., Kantaş, F., Dalkılıç, A.S., 2011, "Numerical investigation of heat transfer and pressure drop in enhanced tubes," International Communiacion in Heat and Mass Transfer, 38(10), pp. 1384-1391.
- Choicharoen K., Devahastin, S., Soponronnait, S., 2010, "Performance and energy consumption of an impinging stream dryer for high-moisture particulate materials," Drying Technology, 28, pp. 20–29.

- García, A., Solano, J.P., Vicente, P.G., Viedma, A., 2012, "The influence of artificial roughness shape on heat transfer enhancement: Corrugated tubes, dimpled tubes and wire coils," *Applied Thermal Engineering*, 35, pp. 196-201.
- Tamir, A., 1994, *Impinging-stream reactors*, Elsevier, Amsterdam.
- Wachiraphansakul, S., Devahastin, S., 2005, "Drying kinetics and quality of soy residue (okara) dried in a jet spouted bed dryer", *Drying Technology*, 23(6), pp. 1229-1242.
- Wachiraphansakul, S., Devahastin, S., 2007, "Drying kinetics and quality of okara dried in a jet spouted bed of sorbent particles", *LWT – Food Science and Technology*, 40(2), pp. 207-219.
- Xiao-wei, L., Ji-an, M., Zhi-xin, Li., 2011, "Roughness enhanced mechanism for turbulent convective heat transfer," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(9-10), pp. 1775-1781.

การศึกษากระบวนการผลิตซินแก๊สจากขยะมูลฝอย ด้วยกระบวนการพลาสมาแก๊สซิฟิเคชัน

ศุภกร สว่างไสว* และอนรรักษ์ ปิติรักษ์สกุล

¹มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

*noname.wp@outlook.com, 063-004-0604

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบเกี่ยวกับกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal solid waste) โดยการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาในรูปแบบเบตนิ่งแบบอากาศไหลขึ้น (Fixed bed updraft gasifier) เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเครื่องปฏิกรณ์ 0.1 เมตร และมีความสูง 1.3 เมตร โดยใช้เซรามิกและถ่านหินเป็นเบต นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อกระบวนการผลิตซินแก๊สจากเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งองค์ประกอบของ syngas มีไฮโดรเจน (H_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นองค์ประกอบหลัก ในการดำเนินการทดลอง โดยการเตรียมขยะมูลฝอยซึ่งมีองค์ประกอบคือ ข้าวสวย 25 %wt., ขยะพลาสติก 25 %wt., เศษกระดาษ 25 %wt. และใบไม้แห้ง 25 %wt. โดยมีอัตราการป้อนขยะมูลฝอย 1.2 กก./ชม. และให้ความร้อนด้วยพลาสมาทอร์ดที่ด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา จากนั้นนำตัวอย่าง syngas ไปวัดองค์ประกอบโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas chromatography) ซึ่งองค์ประกอบของ syngas เฉลี่ยที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสประกอบด้วย H_2 15.98 %vol, CO 28.15 %vol, CO_2 46.72 %vol และ CH_4 9.15 %vol

คำสำคัญ: ขยะมูลฝอยชุมชน เครื่องปฏิกรณ์พลาสมา ซินแก๊ส

A Study on syngas production from municipal solid waste by Plasma Gasification Process

¹*Suppakorn Swangswai

¹King Mongkut's University of Technology North Bangkok
²1518 Pracharat 1 Road, Wong Sawang, Bang Sue, Bangkok 10800

*noname.wp@outlook.com, 063-004-0604

Abstract

The purpose of this research is to study and design a municipal solid waste disposal process by designing a plasma reactor in the form of A fixed bed updraft gasifier with an internal diameter of 0.1 m and a height of 1.3 m, using ceramic and coal as a bed. It was also intended to produce syngas from a plasma gasification reactor. The constituents of syngas were hydrogen (H₂) and carbon monoxide (CO). In conducting the experiment, solid waste consisting of rice 25 %wt., plastic waste 25 %wt., paper waste 25 %wt., and dried leaves 25 %wt. with a feed rate of 1.2 kg./h was prepared and heated by a plasma torch at the bottom of the plasma reactor. The composition of the syngas samples was then measured using gas chromatography. The average syngas composition at 700 °C consisted of H₂ 15.98 %vol, CO 28.15 %vol, CO₂ 46.72 %vol and CH₄ 9.15 %vol.

Keywords: syngas, municipal solid waste, Plasma Gasification Process

1. บทนำ

1.1. ความเป็นมา

เนื่องจากขยะมูลฝอยในประเทศไทยที่เกิดขึ้นในปี 2562 มีปริมาณ 28.7 ล้านตัน แบ่งออกเป็นสองรูปแบบคือ ขยะมูลฝอยเหล่านี้จะมีมีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ 12.6 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 44, นำไปกำจัดอย่างถูกต้อง 10.3 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 36 และส่วนที่นำไปกำจัดไม่ถูกต้อง 5.8 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 20 เช่น นำไปกองทิ้งบนพื้นดิน นำไปทิ้งลงทะเล และเผากลางแจ้ง เป็นต้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ทำให้เกิดมลพิษส่วนใหญ่ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂), ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) และไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) เป็นต้น และปริมาณขยะมูลฝอยมีอัตราการเติบโตมากขึ้นโดยประมาณร้อยละ 10 ต่อปี ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากการกำจัดขยะมูลฝอยในปัจจุบันที่ยังคงเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมากในปัจจุบัน โดยการศึกษาเทคโนโลยีการจัดการขยะ (Solid Waste Management) ที่น่าสนใจและมีแนวโน้มที่จะสามารถลดมลพิษที่เกิดขึ้นได้ในอนาคต ดังนั้นจึงได้มีการนำกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ด้วยการนำประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีพลาสมา (Plasma technology) เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เนื่องจากสามารถให้ความร้อนได้มากกว่า 11,000 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้กระบวนการมีเสถียรภาพ และมีประสิทธิภาพการทำลายองค์ประกอบที่เป็นอันตรายในขยะมูลฝอย และเปลี่ยนองค์ประกอบเหล่านั้นมาเป็นพลังงานสะอาด (Waste-to-energy) เรียกว่ากระบวนการนี้ว่า “พลาสมาแก๊สซิฟิเคชัน (Plasma gasification)” โดยก่อนหน้านี้ในกระบวนการพลาสมาแก๊สซิฟิเคชันยังคงเป็นไปได้ยากเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนแล้วมีค่าใช้จ่ายที่สูงเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดในการกำจัดขยะในรูปแบบเดิมและยังข้อจำกัดในด้านกฎหมายเกี่ยวกับการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม (Environmental law) เพิ่มเติมขึ้นมาในหลายประเทศ อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาและพัฒนากระบวนการพลาสมาแก๊สซิฟิเคชันมาอย่างต่อเนื่องและได้เริ่มมีการนำกระบวนการดังกล่าวมาใช้จริงในบางประเทศ ทั้งนี้เองในประเทศไทยก็ได้เล็งเห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มมากขึ้นและการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งจะทำให้ส่งผลกระทบต่อในระยะยาวที่จะตามมาในอนาคต และสำคัญมากที่จะจัดการกับขยะมูลฝอยเหล่านี้โดยมีค่าใช้จ่ายต่ำและเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดจึงเริ่มมีการศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับกระบวนการพลาสมาแก๊สซิฟิเคชันในประเทศไทยเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

จากที่กล่าวมาทำให้เกิดความสนใจอย่างมากในการทดลองเกี่ยวกับกระบวนการพลาสมาแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งทำการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาโดยใช้วัสดุอุปกรณ์บางส่วนที่หาได้ภายในมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือและออกแบบใหม่ในส่วนของห้องเผาไหม้ที่มีความจำเป็นต้องเหมาะสมกับสภาวะที่ดำเนินการทดลอง ไม่เช่นนั้นอาจส่งผลทำให้เกิดอันตรายขึ้นกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์การทดลองและอาจส่งผลไปถึงผู้ปฏิบัติงานได้

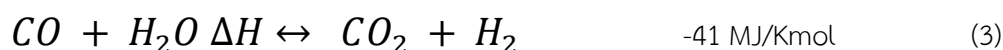
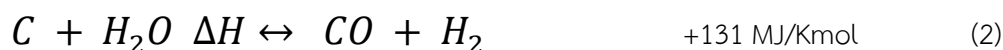
1.2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและออกแบบเกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาแก๊สซิฟิเคชัน
2. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตซินแก๊สจากเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาแก๊สซิฟิเคชัน

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โดยการศึกษาของ Galeno และคณะ พบว่าการให้พลังงานกับขยะมูลฝอยความร้อนด้วย Plasma torch ประสิทธิภาพดีกว่าการให้ความร้อนด้วยวิธีอื่น และยังทำให้โมเลกุลเกิดการแตกตัวได้ดีกว่าเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงกว่า ซึ่งเปลวพลาสมาให้ความร้อนสูงมากถึง 4,000 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วในบริเวณใกล้เคียงอยู่ที่ประมาณ 1,000-1,500 องศาเซลเซียสและมีการป้อนอากาศหรือไอน้ำเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์

จากงานวิจัยของ Materazzi และคณะ (2014) พบว่าเมื่อมีการป้อนออกซิเจน (O₂) เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้น ซึ่งที่อุณหภูมิสูงจะช่วยให้ขยะมูลฝอยเกิดการแตกตัวและการป้อนอากาศหรือไอน้ำจะช่วยให้ขยะมูลฝอยที่เกิดการแตกตัวแล้วเกิดปฏิกิริยาสำหรับสังเคราะห์ Syngas นอกจากผลิตภัณฑ์ Syngas แล้วในกระบวนการพลาสมาแก๊สซิฟิเคชัน ยังเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงอื่น ๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ออกซิเจน (O₂), มีเทน (CH₄) และน้ำ (H₂O) ดังสมการเคมี



นอกจากนั้นในส่วนของสารประกอบอินทรีย์จะถูกหลอมจนกลายเป็นตะกรัน โดยตะกรันเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างได้ดีจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ออกจากกระบวนการพลาสมาแก๊สซิฟิเคชันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด

ต่อมงานวิจัยของ Mazzoni และคณะ (2017) พบว่ากระบวนการพลาสมาแก๊สซิฟิเคชันมีประสิทธิภาพดีกว่ากระบวนการอื่น ๆ อยู่เล็กน้อยไม่เพียงเท่านี้ การกำจัดขยะมูลฝอยด้วยกระบวนการอื่น ๆ ยังมีปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดสิ่งตกค้างที่ส่งผลให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

และสุดท้ายงานวิจัยของ Gopal Gautam และคณะ (2010) ได้มีการทำนายองค์ประกอบของ syngas คือ H_2 , CO และ CO_2 ในความแม่นยำที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามความแม่นยำจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของซีเถ้าหรือองค์ประกอบของ slag ในขยะชีวมวลอย่างไรก็ตามเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นค่าที่คาดการณ์จากแบบจำลองนี้จะมีควมแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าปริมาณความชื้นในขยะชีวมวลยังส่งผลกระทบต่อปริมาณของ CO กล่าวคือถ้ามีความชื้นมาก CO จะลดลงไปด้วย ดังนั้นสำหรับกระบวนการพลาสมาแก๊สซิฟิเคชันต่ำ และสุดท้ายที่อุณหภูมิสูงกว่า 900 องศาเซลเซียสจะพบ CH_4 น้อยมากซึ่งเกิดจากการเกิดการสลายตัวของ CH_4 เป็น H_2 และ CO ในที่สุด

3. วิธีนำเนินการวิจัย

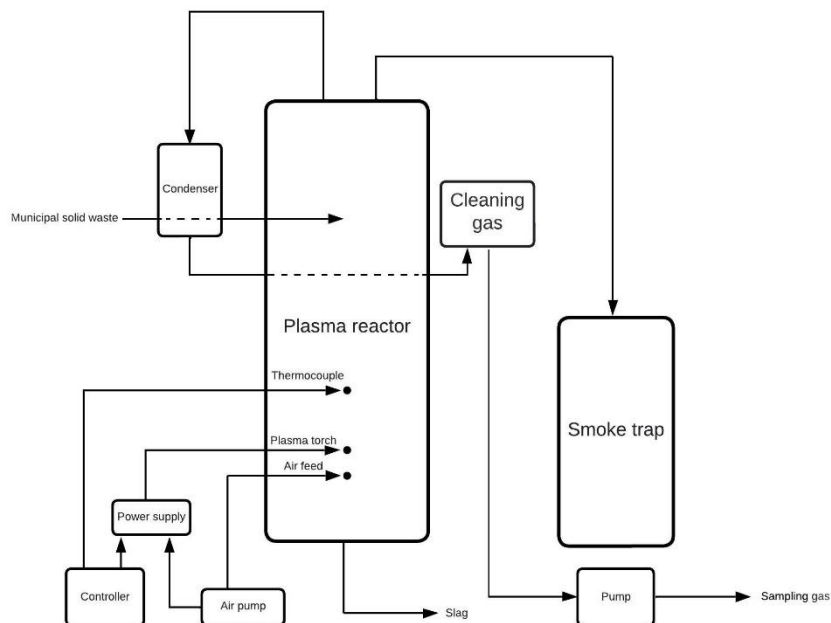
3.1. การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาสำหรับกำจัดขยะมูลฝอย

ออกแบบเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาในรูปแบบเบดนิ่งแบบอากาศไหลขึ้น (Fixed bed updraft gasifier) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเครื่องปฏิกรณ์ 0.1 เมตร ช่องใช้ขยะตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 0.0079 ตารางเมตร สูง 1.3 เมตร วัสดุที่ใช้ทำเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาคือ Stainless โดยทำการหุ้มฉนวนหนา 0.05 ติดตั้งโพรบวัดอุณหภูมิ (Thermocouple K-Type) ที่ความสูงจากรฐานสูง 0.25 เมตร อยู่บริเวณด้านข้างสูงจากโพรบวัดอุณหภูมิ 0.9 เมตร และหัวพลาสมาบริเวณด้านข้างเหนือจากรฐานของเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา 0.05 เมตร



รูปที่ 3 - 1 เครื่องปฏิกรณ์พลาสมาและอุปกรณ์

- (1) Syngas lines (2) Condenser (3) Plasma reactor
- (4) Thermocouple (5) Plasma torch (6) Waste gas lines
- (7) Municipal solid waste (8) Cleaning gas (9) Smoke trap



รูปที่ 3 - 2 Block flow diagram เครื่องปฏิกรณ์พลาสมาและอุปกรณ์

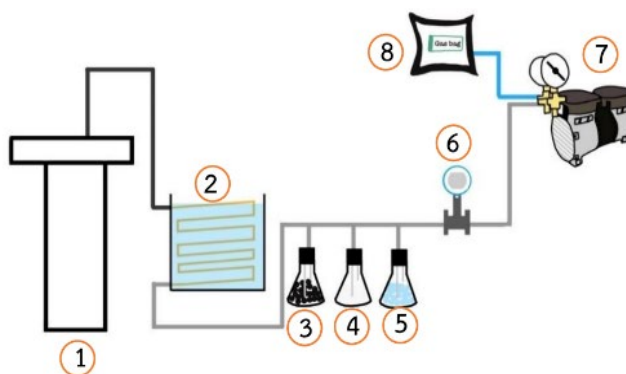
3.2. การเตรียมขยะตัวอย่าง

จากการสืบค้นหาข้อมูลพบที่มีการแยกองค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนเฉลี่ยในประเทศไทย ดังนี้ เศษอาหาร พลาสติก กระดาษ ใบไม้ แก้ว/หิน โลหะ เศษผ้า ยาง/หนัง และได้ทำการเลือกขยะมูลฝอยจำนวน 4 ชนิด ที่มีพบมากที่สุด คือ เศษอาหาร, พลาสติก, กระดาษ, และใบไม้ .ในอัตราส่วนที่เท่ากัน

3.3. วิธีดำเนินการทดลอง

1. เตรียมเบดเซรามิกหนัก 300 กรัม และถ่านหินหนัก 50 กรัม หลังจากนั้นเตรียมขยะตัวอย่างหนัก 20 กรัม โดยขยะแต่ละชนิดซึ่งน้ำหนัก 5 กรัม/ชนิด
2. เติมน้ำลงในถังดักควันและถังลดอุณหภูมิ
3. ติดตั้งอุปกรณ์ทำความสะอาดแก๊สสังเคราะห์โดยบรรจุแท่งคาร์บอนในใบแรก บรรจุน้ำในใบที่ 2 และบรรจุซิลิกาเจลในใบที่ 3
4. ทำการติดตั้งหัวพลาสมาทอร์ค และตรวจสอบการต่อสายไฟให้เรียบร้อย
5. นำสายบีมลต่อเข้ากับเครื่อง Power supply เปิดบีมล และตั้งความดันของลมไว้ที่ 2 – 3 บาร์ หลังจากนั้นทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

6. ใส่เซรามิก (วัสดุเบด) และถ่านหินที่เตรียมไว้ลงในช่องใส่ขยะตัวอย่าง
7. เปิดเครื่องควบคุม, power supply และเปิดสวิตซ์หัวพลาสติกให้เริ่มต้นทำงาน หลังจากนั้นทำการบันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิทุก ๆ 1 นาที
8. ทำการใส่ถ่านหินเพิ่ม 50 กรัม ทุก ๆ 5 นาทีจนอุณหภูมิคงที่ตามที่กำหนดไว้
9. เมื่ออุณหภูมิคงที่ให้เริ่มทำการใส่ขยะตัวอย่างโดยทำการใส่ตัวอย่างซ้ำอีก 4 ครั้ง ในแต่ละครั้งใช้ระยะเวลาห่างกัน 1 นาที

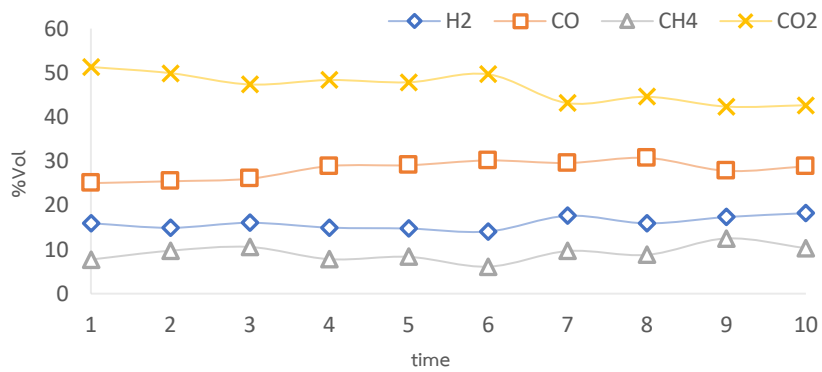


รูปที่ 3 - 3 แบบจำลองชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง Syngas

10. หลังจากใส่ขยะตัวอย่างครั้งที่แล้ว 5 เป็นเวลา 1 นาที ทำการเก็บตัวอย่าง โดยใช้ปั๊มดูดตัวอย่างแก๊สไปเก็บในถุงเก็บตัวอย่างและนำไปวิเคราะห์เครื่อง GC รุ่น Micro GC, Agilent, CP4900 คอลัมน์ MS5 สำหรับวัด H₂ และ CO คอลัมน์ PPQ สำหรับวัด CH₄ และ CO₂

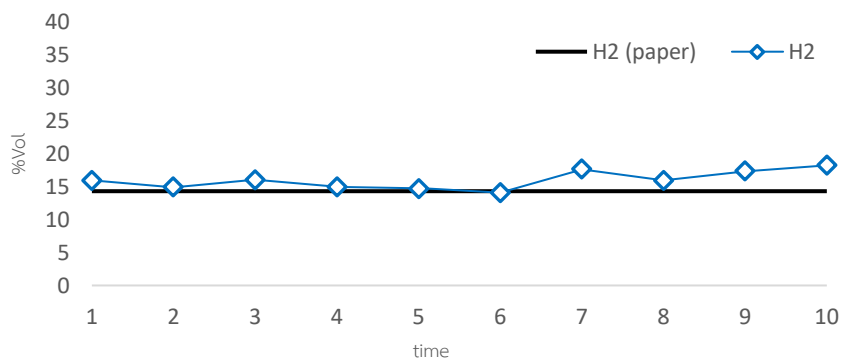
4. ผลการวิจัย

จากการทดลองข้างต้นเมื่อตัวอย่าง syngas ไปวิเคราะห์ด้วย gas chromatography รุ่น Micro GC, Agilent, CP4900 คอลัมน์ MS5 สำหรับวัด H₂ และ CO คอลัมน์ PPQ สำหรับวัด CH₄ และ CO₂ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักที่ต้องการคือ H₂ และ CO ในส่วนของ CH₄ และ CO₂ เป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม โดยจะได้องค์ประกอบของแก๊สต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4-1.



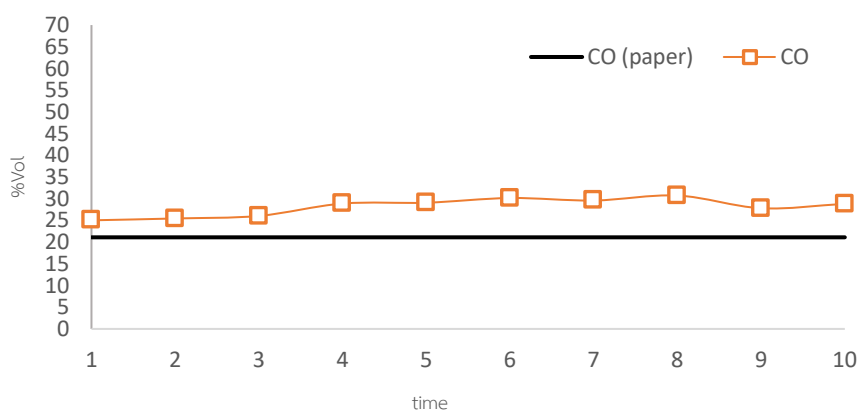
รูปที่ 4 – 1. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่างกับร้อยละองค์ประกอบของแก๊สแต่ละชนิด

จากรูป 4-1. จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของ syngas นั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่าระบบอยู่ในสภาวะคงที่ และมีความเสถียร อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า องค์ประกอบของ CO₂ และ CO จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งจะอธิบายในรูปที่ 4-3. และ 4-4. ตามลำดับ ส่วน CH₄ โดยทั่วไปแล้วจะไม่ส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับองค์ประกอบของ syngas เนื่องจากมีปริมาณที่น้อยและจะถูกเปลี่ยนเป็น CO และ H₂ ในที่สุดจากปฏิกิริยา steam methane reforming ($CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2$) ที่อุณหภูมิสูง



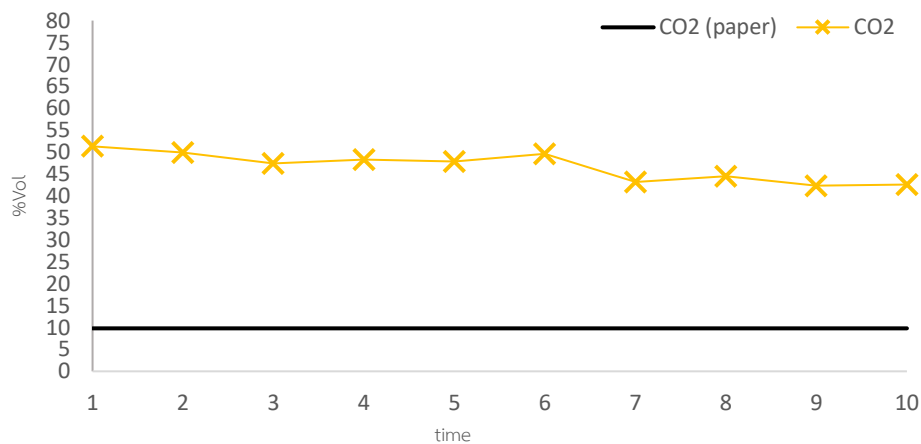
รูปที่ 4 – 2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่างกับร้อยละองค์ประกอบของแก๊ส H₂ กับค่าจากงานวิจัย

จากรูป 4-2. องค์ประกอบของก๊าซ H₂ จะได้ค่าสูงสุดที่ 18.2% ต่ำสุดที่ 14.1% และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 15.9% ซึ่งใกล้เคียงกับค่าจากงานวิจัยคือ 14.3% ก๊าซไฮโดรเจนที่ได้เกิดจากการทำปฏิกิริยาของ CO กับ steam เรียกว่า Water-gas reaction ($C + H_2O \rightarrow CO + H_2$) เกิดที่โซน Reduction ที่อุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งถ้าในสารตัวอย่างมีความชื้นมากเกินไป steam จะไปทำปฏิกิริยากับ CO เกิด H₂ เรียกว่า Water-gas shift reaction ($CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$) ซึ่ง H₂ เป็นแก๊สที่ต้องการมากที่สุดเนื่องจากให้พลังงานสูงสุด



รูปที่ 4 – 3. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่างกับร้อยละองค์ประกอบของแก๊ส CO กับค่าจากงานวิจัย

จากรูปที่ 4-3. องค์ประกอบของแก๊ส CO จะได้ค่าสูงสุดที่ 30.7% ต่ำสุดที่ 25.0% และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28.2% ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์สูงกว่าค่าที่ได้จากงานวิจัยคือ 21.1% อาจเนื่องมาจากในการทดลองตอนช่วงเริ่มต้นในช่วงให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์พลาสติกมีการใช้ถ่านหินเข้าไปในช่วงแรก ซึ่งปริมาณ CO ที่มีค่ามากกว่านั้นได้มาจากถ่านหินที่ยังคงค้างในเครื่องปฏิกรณ์พลาสติก ซึ่งเกิดการเผาไหม้ไม่หมดทำให้เกิดเป็นปฏิกิริยา Water gas reduction ($C + H_2O \rightarrow CO + H_2$) และ Boundary reduction ($C + CO_2 \rightarrow 2CO$) ซึ่งมีผลทำให้ค่าของ CO มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและยังมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากงานวิจัย ซึ่ง CO เป็นแก๊สที่ต้องการลดลงมาจาก H₂



รูปที่ 4 - 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่าง
กับร้อยละองค์ประกอบของแก๊ส CO₂ กับค่าจากงานวิจัย

องค์ประกอบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะได้ค่าสูงสุดที่ 51.3% ต่ำสุดที่ 42.3% และค่าเฉลี่ย 46.7% มากกว่าค่าที่ได้จากงานวิจัยคือ 9.8% อาจเนื่องมาจากการเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง O₂ กับ C ซึ่งอยู่ในเชื้อเพลิงถ่านหินทำให้มี C มากเกินพอที่จะเกิดปฏิกิริยา ซึ่งผลของปฏิกิริยาดังกล่าวก่อให้เกิดแก๊ส CO₂ ซึ่งเรียนปฏิกิริยานี้ว่า carbon oxidation ($C + O_2 \rightarrow CO_2$) และอีกด้านหนึ่งถ้ามี steam มากเกินไป steam จะทำปฏิกิริยากับ CO ทำให้เกิด CO₂ ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Water-gas shift reduction ($CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$) ซึ่งทั้ง 2 ปฏิกิริยาทำให้มี CO₂ มากกว่าค่าจากงานวิจัย

5. สรุปและอภิปรายผล

จากการทดลองการศึกษาระบบพลาสมาแก๊สซิฟิเคชัน โดยเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาแบบเบดคงที่โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นขยะตัวอย่าง 4 ชนิด คือ กระจดาช, ใบไม้, ข้าวสุก และขวดพลาสติก ซึ่งขยะมีความชื้นรวมอยู่ที่ 19% ใช้เบดเป็นเซรามิคและถ่านหินเพื่อช่วยกักเก็บความร้อนจากพลาสมาเทอร์ดทำให้อุณหภูมิในระบบคงที่

5.1. ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองการหาองค์ประกอบของ Syngas จากเครื่อง GC
องค์ประกอบของ Syngas จากขยะตัวอย่าง จะได้ปริมาณก๊าซ H₂, CO, CH₄ และ CO₂ โดยได้องค์ประกอบเฉลี่ยคือ 15.98, 28.15, 9.15 และ 46.72 ตามลำดับ โดยแก๊สที่ต้องการคือ H₂ และ CO มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยอยู่ที่ 14.30 และ 21.10 ตามลำดับ ซึ่งพิสูจน์ได้ว่าการออกและเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา และการดำเนินการผลิต syngas

สามารถนำมาใช้ได้จริงและสามารถนำไปต่อยอดได้อีกในอนาคต เนื่องจากพลาสมาเทอร์มัลยังสามารถทำความร้อนให้กับกระบวนการพลาสมาแก๊สซิฟิเคชันได้สูงขึ้นอย่างมากซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในหลายด้านด้วย เช่น การกำจัดหรือลดมลพิษจากขยะมูลฝอยหรือขยะชุมชน หรือใช้กับขยะทางการแพทย์ ขยะติดเชื้อ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การศึกษาค้นคว้าข้อมูลการวางแผนการศึกษา เพื่อการสำเร็จการศึกษาของนักศึกษาในระดับปริญญาโท สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก รศ.ดร.อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิด ข้อเสนอแนะ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณนายวีระศักดิ์ ทรงสุจริตกุล ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการช่วยเหลืองานทางด้านเทคนิคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกคนที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้ที่เกี่ยวข้องศึกษาต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- Gopal Gautam, Sushil Adhikari and Sushil Bhavnani (2010). Estimation of Biomass Synthesis Gas Composition using Equilibrium Modeling. Alabama 36849 USA. Auburn University.
- E. Gomez, A. Devaraj, C. R. Cheeseman, D. Deegan, M. Wise, and A. Boccaccini (2008). Thermal Plasma Technology for the Treatment of Wastes: A Critical Review. Journal of hazardous materials. vol. 161, pp. 614-26, 05/01 2008. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.04.017.
- L. Mazzoni, R. Ahmed, and I. Janajreh (2017). Plasma Gasification of Two Waste Streams: Municipal Solid Waste and Hazardous Waste from the Oil and Gas Industry. Energy Procedia. vol. 105. pp. 4159-4166, 2017/05/01/ 2017. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.882.

- J. Li, K. Liu, S. Yan, Y. Li, and D. Han (2016). Application of thermal plasma technology for the treatment of solid wastes in China: An overview. *Waste Management*. vol. 58, pp. 260-269, 2016/12/01/ 2016. doi: 10.1016/j.wasman.2016.06.011.
- X.-g. Zhao, G.-w. Jiang, A. Li, and L. Wang (2016). Economic analysis of waste-to-energy industry in China. *Waste Management*. vol. 48, pp. 604-618, 2016/02/01/ 2016. doi: 10.1016/j.wasman.2015.10.014.
- I. Janajreh and S. S. Raza (2013). Plasma gasification process: Modeling, simulation, and comparison with conventional air gasification. *Energy Conversion and Management*. vol. 65, pp. 801-809, 2013/01/01/ 2013. doi: 10.1016/j.enconman.2012.03.010
- G. Van Oost, M. Hrabovsky, V. Kopecky, M. Konrad, M. Hlina, and T. Kavka (2008). Pyrolysis/gasification of biomass for synthetic fuel production using a hybrid gas–water stabilized plasma torch. *Vacuum*, vol. 83, no. 1, pp. 209-212, 2008/09/04/ 2008. doi: 10.1016/j.vacuum.2008.03.084.
- A. Tamošiunas, D. Gimžauskaite, R. Uscila, and M. Aikas (2019). Thermal arc plasma gasification of waste glycerol to syngas. *Applied Energy*. vol. 251, p. 113306, 2019/10/01/ 2019. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113306.
- M. T. Munir, I. Mardon, A. Shawabkeh, and N. U. Saqib (2019). Plasma gasification of municipal solid waste for waste-to-value processing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. vol. 116, p. 109461, 2019/12/01/ 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.109461.
- L. Mazzoni, M. Almazrouei, C. Ghenai, and I. Janajreh (2017) A comparison of energy recovery from MSW through plasma gasification and entrained flow gasification. *Energy Procedia*. vol. 142, pp. 3480-3485, 2017/12/01/ 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.12.233

การศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องบากร่องสำหรับขึ้นทดสอบแรงกระแทก

พุทสายัน นราพินิจ^{1*} สมหมาย สารมาท¹

¹ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ-วิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

* put_narapinija@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องบากร่องสำหรับขึ้นทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องบากร่องเหล็กและเพิ่มความเที่ยงตรงให้มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเพื่อนำไปใช้การทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy และ Izod จากการศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบแรงกระแทกพบว่าการเตรียมชิ้นงานบากร่องในแต่ละครั้งนั้นมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความลึก, ความกว้างและองศาในการบากร่องเหล็กขึ้นทดสอบ และยังมีระยะเวลาในการเตรียมชิ้นงานบากร่องในแต่ละชิ้นช้า - เร็วไม่เท่ากัน

ผลการทดลองนั้นเหล็กที่จะนำมาทำการทดสอบชิ้นงานจะต้องมีขนาดและร่องบากตามมาตรฐาน JIS Standard Z2202 ของการทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy และ Izod โดยนำเหล็ก AISI 1020 ขนาด 10x10x55 เข้าเครื่องที่ออกแบบสร้างขึ้นมาทำการบากร่องตัว U และตัว V จากการทดลองหาประสิทธิภาพของการทำงานของเครื่องบากร่องเหล็กนั้นพบว่าเมื่อความเร็วรอบที่เปลี่ยนไปจะไม่มีผลกับความกว้าง, ความลึกเฉลี่ยของขึ้นทดสอบตัว U และความลึกขึ้นทดสอบ V แต่มีผลกับองศาและความกว้างของขึ้นทดสอบตัว V และจากกราฟ Factorial Plots ความเร็วรอบเปรียบเทียบกับค่าความลึก, ความกว้าง และองศาของขึ้นทดสอบทั้งตัว U และตัว V ทำให้ทราบว่าความเร็วรอบที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือความเร็วรอบในช่วงที่ 480-720 ที่มีการกระจายตัวสมดุลที่สุด แต่เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นมากกว่า 720 ขึ้นไปนั้นเริ่มมีการกระจายตัวที่ไม่สมดุล ดังนั้นความเร็วรอบที่เกิน 720 ขึ้นไปจนถึงความเร็วรอบที่ 960 จึงไม่สมควรที่จะนำมาใช้ในการบากร่องขึ้นทดสอบ เพราะมีโอกาสเกิดค่าความคลาดเคลื่อนได้สูง

คำสำคัญ : เครื่องบากร่อง, ทดสอบแรงกระแทก, ชาร์ปี, อิชอด

Design - Build study of notching machines for impact test specimens

Puttasayan Narapinij^{1*} Sommai Saramath¹

¹ Department of Production Engineer, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Lanna
128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

* put_narapinija@hotmail.com

Abstract

The purpose of this research was to study the design and construction of a notching machine for test specimens to determine its efficiency and to increase its precision with the least tolerances for impact using the test, Charpy and Izod. As a result, it was found that each time of the notch specimen preparation showed a discrepancy in depth, width and degree of notching the steel test piece, and also the time to prepare the notching work pieces.

The result of the experiment suggested that the chosen steel to be tested must have dimensions and notches according to JIS Standard Z2202 of Charpy and Izod impact testing. This was carried out by bringing AISI 1020 steel, size 10x10x55, into the machine designed to make the notch U-groove and V-groove. From the experiment of studying the efficiency of the work for the steel notching machine. It was found that when the rotational speed was changed, it had no effect on the width, the mean depth of the U-type test piece and the depth of the V-type test piece. However, the changing of rotational speed affect V-type test piece angle and width. Regarding the factorial plots, velocity compared to the depth, width and angle of U and V type test piece indicated that the rotational speed that gives the least discrepancy was RPM in the 480-720 range with the most balanced distribution. But when the rev speed was higher than 720 or more, it started to have an unbalanced distribution. Therefore, speeds exceeding 720 rpm up to 960 rpm should not be used in the test piece grooving due to the possibility of a high tolerance.

Keywords: Grooving Machine, Impact Test, Charpy, Izod

1. บทนำ

ปัจจุบันในการเรียนการสอนรายวิชาปฏิบัติตามหลักสูตรวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ได้เน้นให้ผู้เรียนฝึกทักษะวิชาชีพโดยการปฏิบัติงานจริงเนื่องจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา นั้นยังไม่มีเครื่องบากร่องตัว U และตัว V สำหรับการทดสอบแรงกระแทกที่เป็นเครื่องมือช่วยในการบากชิ้นงานตามขนาดที่เราต้องการตามมาตรฐาน JIS Standard Z2202 และช่วยให้เกิดความสะดวกสำหรับนักศึกษา ในการเรียนได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีเครื่องบากร่องตัว U และตัว V เพื่อที่จะนำไปเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy และ Izod ดังนั้นคณะผู้วิจัย จึงคิดสร้างและพัฒนาเครื่องบากร่องเพื่อใช้ในรายวิชาการศึกษาทดสอบแรงกระแทกทั้งแบบ Charpy และ Izod ขึ้นมา

เนื่องจากกรรมวิธีการบากร่องให้ชิ้นงานได้ขนาดตามมาตรฐานการทดสอบที่ใช้ในใช้การ ตะไบบากร่อง การตะไบนั้นค่อนข้างไม่มีประสิทธิภาพและยังไม่แม่นยำ ทำให้การบากร่องแต่ละครั้งโดยวิธีการใช้ตะไบนั้นอาจมีระยะการบากร่องนั้นคาดเคลื่อนทำให้งานชิ้นนั้นไม่ได้คุณภาพเป็นตามที่ต้องการของชิ้นทดสอบ

ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงสร้างและออกแบบอุปกรณ์ที่ช่วยในเรื่องของการบากร่องให้มีความแม่นยำและมีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อย โดยใช้หลักการของเครื่องจักร CNC และอาศัยต้นกำลังจากมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนแรงด้วยสายพานไปยังเพลาคับที่ตรงปลายเพลาดัดตั้งมีดกัดตัดเตอร์เพื่อทำการบากร่องชิ้นทดสอบ จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความคลาดเคลื่อนดังกล่าว

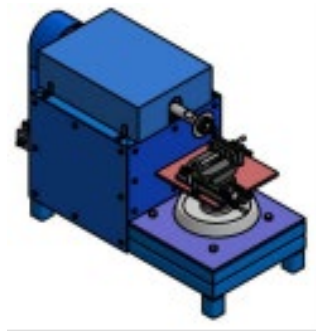
2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องเครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี เครื่องจักรกลต่าง ๆ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ จำนวนมาก นำมาประกอบกัน ซึ่งการที่จะผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรนั้น จะต้องมีการเลือกใช้วัสดุที่จะนำมาใช้ในการผลิต และวัสดุที่เลือกใช้นั้นจะต้องมีคุณสมบัติเหมาะสม สามารถทนต่อแรงที่มากกระทำได้ ซึ่งลักษณะ ต่าง ๆ ของแรงที่กระทำ เช่น แรงกระแทก แรงดึง แรงอัด ดังนั้นจุดมุ่งหมายของปริญญาโทฉบับนี้มุ่งเน้นเพื่อจัดทำเครื่องทดสอบแรงกระแทก เพื่อใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเครื่องทดสอบที่กลุ่มได้จัดสร้างขึ้นนี้เป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ทดสอบในห้องประลองวัสดุของวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ลักษณะเป็น เครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี มีพลังงานในการกระแทก 300 จูล สามารถทดสอบได้กับวัสดุทุกชนิด ขนาดของวัสดุที่นำมาทดสอบมีขนาด 10 x 10 x 55 มิลลิเมตร ผลที่ได้ภายหลังจากการทดสอบค่าความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุที่นำมาทดสอบกับเครื่องทดสอบที่จัดสร้างขึ้น มีค่า ไกล่เคียงกับค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบของภาควิชาวิศวกรรมการผลิต (สุริยา คร่ำกระโทก, ปิยะ จันทระคะ, 2546) การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental

Research) มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดประลอง เรื่อง การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุด้วยแรงกระแทก ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลได้จากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษา ระดับปริญญาตรีสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (ศูนย์หันตรา) จำนวน 31 คน ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัดผลสัมฤทธิ์หลังการเรียน และข้อมูลที่ได้จากการทดสอบภาคปฏิบัติ และหาประสิทธิภาพของเครื่องประลอง จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ปรากฏว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างเทคนิคอุตสาหกรรม เฉลี่ยแล้วร้อยละ 82% การทดสอบ ภาคปฏิบัติเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 90 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในงานวิจัย และประสิทธิภาพของ ชุดประลองมีค่าเฉลี่ยที่ 91% (สุวันชัย สิ้นโพธิ์ และดวงจันทร์ สิ้นโพธิ์, 2556) การทดสอบตีกระแทกเป็นวิธีการทดสอบเพื่อหาค่าความเหนียวของวัสดุ จำเป็นต้องมีการทวนสอบเครื่องทดสอบตี กระแทกเป็นประจำทุกปี ซึ่งวิธีการที่นิยมมากที่สุดคือการตรวจสอบโดยวิธีทางตรงเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของ เครื่องทดสอบ และการตรวจสอบโดยวิธีทางอ้อมโดยใช้ชิ้นงานทดสอบอ้างอิง ซึ่งปัจจุบันชิ้นงานทดสอบอ้างอิง สำหรับการทดสอบตีกระแทกยังไม่มีการผลิตในประเทศ จำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โครงการนี้ต้องการ ศึกษาวิธีการทวนสอบเครื่องทดสอบตีกระแทก แบ่งเป็นการทวนสอบโดยวิธีทางตรงได้ทำการศึกษาข้อกำหนดและ ขั้นตอนวิธีการในการตรวจสอบตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO148:2008 วิธีทางอ้อมได้ทำการศึกษากกรรมวิธี การผลิตชิ้นงานทดสอบอ้างอิงสำหรับการทดสอบตีกระแทก โดยการเลือกใช้วัสดุ กรรมวิธีทางความร้อน และการ กำหนดขนาดชิ้นงานทดสอบอ้างอิงให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO148:2008 เช่นกัน จากการศึกษา พบว่าเหล็กที่สามารถนำมาผลิตชิ้นงานทดสอบอ้างอิงคือ เหล็กเกรด JIS SNCM439 หรือเทียบเท่า ชุบแข็งที่ 860°C x 90นาที จุ่มชุบในน้ำมันชุบแข็งที่ 60°C และอบคืนตัวที่ อุณหภูมิ 400°C x 2 ชั่วโมง สำหรับชิ้นงานทดสอบ พลังงานต่ำพบว่า ได้ค่าความแข็งเฉลี่ย 47 HRC และพลังงานตีกระแทกได้ค่าเฉลี่ย 20 J ที่ 0°C และอบคืนตัวที่ อุณหภูมิ 650°C x 2 ชั่วโมง สำหรับชิ้นงานทดสอบพลังงานสูงพบว่าได้ค่าความแข็งเฉลี่ย 29 HRC และพลังงานตี กระแทกได้ค่าเฉลี่ย 130 J ที่ 0°C ผลจากการทดสอบค่าพลังงานตีกระแทกของชิ้นงานทดสอบอ้างอิงทั้งช่วง พลังงานต่ำและช่วงพลังงานสูง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO148:2008 และสามารถ นำไปใช้เป็นชิ้นงานทดสอบอ้างอิงได้ (ศุภชัย ทรงศักดิ์นาคิน และสมนึก วัฒนศรียกูล, 2555)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

- 3.1 กำหนดและออกแบบกลไกที่จะช่วยให้การบากร่องสะดวกขึ้น
- 3.2 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆ และเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 3.3 ออกแบบและสร้างเครื่องบากร่องสำหรับขึ้นทดสอบ



รูปที่ 1 การออกแบบเครื่องบากร่องสำหรับขึ้นทดสอบ

3.4 ทำการบากร่องขึ้นทดสอบและเก็บผลการทดสอบ



รูปที่ 2 เครื่องบากร่องสำหรับขึ้นทดสอบ

3.5 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว One Way ANOVA

3.6 สรุปผลการดำเนินโครงการ

4. ผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิเคราะห์หาค่า Main Effects, Comparisons, ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของความเร็วรอบที่เปลี่ยนไปต่อความกว้าง, ความลึกของขึ้นทดสอบตัว U และองศาบากร่อง, ความลึกของขึ้นทดสอบตัว V พบว่าค่า Comparisons, Main Effects

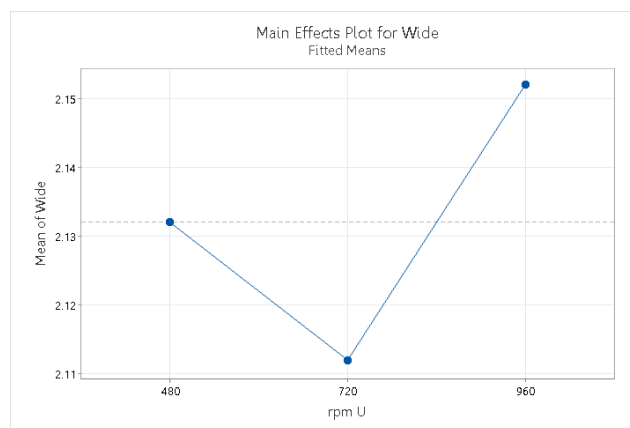
ของขั้นตอนทดสอบตัว U และของขั้นตอนทดสอบตัว V สรุปดังรูปที่ 3 – 10 และค่า P-Value ของค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของขั้นตอนทดสอบตัว U และขั้นตอนทดสอบตัว V ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า P-Value ของความกว้าง ความลึกของขั้นตอนทดสอบตัว U และองศาเร่งรอบ ความลึกของขั้นตอนทดสอบตัว V

ขั้นตอนทดสอบตัว U	P-Value ความกว้าง	P-Value ความลึก
ค่าเฉลี่ย (μ)	0.293	0.069
ค่าความแปรปรวน (σ^2)	0.035	0.609
ขั้นตอนทดสอบตัว V	P-Value องศาเร่งรอบ	P-Value ความลึก
ค่าเฉลี่ย (μ)	0.017	0.000
ค่าความแปรปรวน (σ^2)	0.044	0.821

ค่า P-Value ค่าเฉลี่ยของความกว้างและความลึกของขั้นตอนทดสอบตัว U มีค่ามากกว่า 0.05 แต่ค่า P-Value องศาเร่งรอบและความลึกเฉลี่ยของขั้นตอนทดสอบตัว V นั้นมีค่าน้อยกว่า 0.05

ค่า P-Value ความแปรปรวนของความกว้างของขั้นตอนทดสอบตัว U และองศาเร่งรอบของขั้นตอนทดสอบตัว V มีค่าน้อยกว่า 0.05 แต่ค่า P-Value ของความลึกของทั้งขั้นตอนทดสอบตัว U และตัว V นั้น มีค่า P-Value มากกว่า 0.05



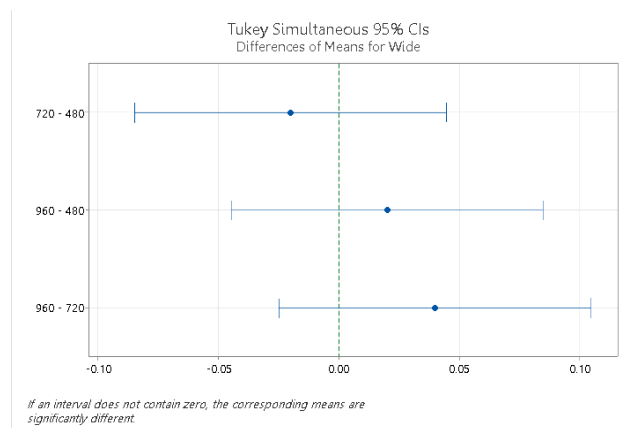
รูปที่ 3 Main Effects Plot for Wide U

จากรูปที่ 3 Main Effects ของความกว้างร่องบากขึ้นทดสอบตัว U จะแสดงค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองของความกว้างของขึ้นทดสอบตัว U ที่แต่ละระดับของปัจจัย จะสังเกตได้ว่าที่ระดับความเร็วรอบที่ 960 มีความแตกต่างจากระดับอื่น และให้ค่าเฉลี่ยของความกว้างที่สูงกว่าระดับอื่นมาก

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

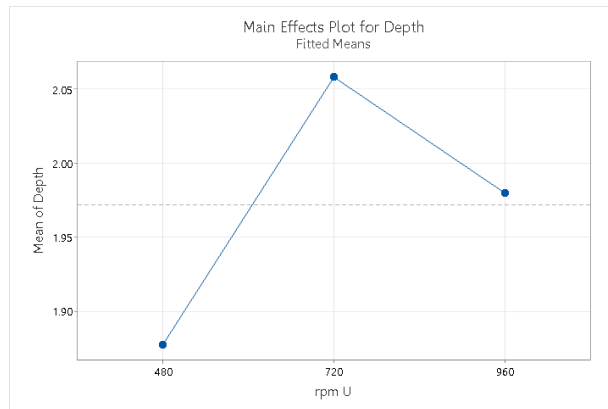
rpm	U	N	Mean	Grouping
960	5	2.1520	A	
480	5	2.13200	A	
720	5	2.11200	A	

Means that do not share a letter are significantly different.



รูปที่ 4 ค่า Comparisons เปรียบเทียบความกว้างร่องบากขึ้นทดสอบตัว U

จากรูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่า Comparisons เปรียบเทียบความกว้างร่องบากขึ้นทดสอบตัว U ระดับมีการแสดงผลด้วยตัวอักษรเดียวกันคือระดับ A และทุกความเร็วรอบที่อยู่บนเส้นปะแสดงว่าไม่มีความแตกต่าง จึงสรุปได้ว่าความเร็วรอบ 480, 720, 960 ส่งผลทำให้ความกว้างร่องบากขึ้นทดสอบตัว U ไม่มีความแตกต่างกันจากระดับนี้สำคัญ



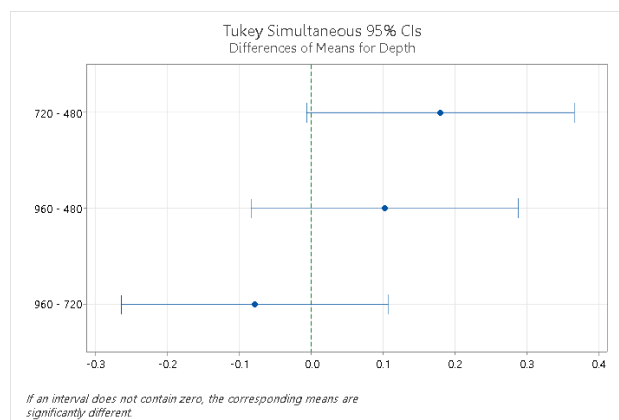
รูปที่ 5 Main Effects Plot for Depth U

จากรูป 5 Main Effects ของความลึกร่องบากขึ้นทดสอบตัว U จะแสดงค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองของความลึกของขึ้นทดสอบตัว U ที่แต่ละระดับของปัจจัย จะสังเกตได้ว่าที่ระดับความเร็วรอบที่ 480 มีความแตกต่างจากระดับอื่น และให้ค่าเฉลี่ยของความลึกที่น้อยกว่าระดับอื่นมาก

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

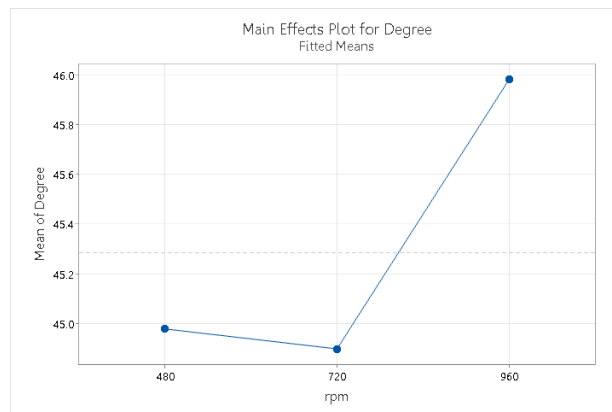
rpm U	N	Mean	Grouping
720	5	2.0580	A
960	5	1.9800	A
480	5	1.8780	A

Means that do not share a letter are significantly different.



รูปที่ 6 ค่า Comparisons เปรียบเทียบความลึกร่องบากขึ้นทดสอบตัว U

จากรูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ค่า Comparisons เปรียบเทียบความถี่รอบงาบกขึ้นทดสอบตัว U ระดับมีการแสดงผลด้วยตัวอักษรเดียวกันคือระดับ A และทุกความเร็วรอบที่บออยู่บนเส้นปะแสดงว่าไม่มีความแตกต่าง จึงสรุปได้ว่าความเร็วรอบ 480, 720, 960 ส่งผลให้ความถี่รอบงาบกขึ้นทดสอบตัว U ไม่มีความแตกต่างกันจากระดับนัยสำคัญ



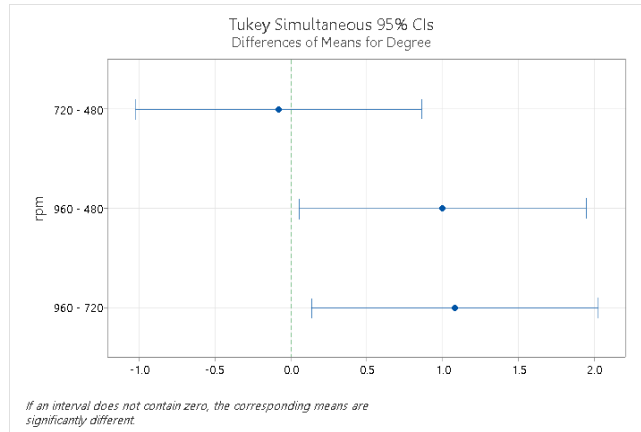
รูปที่ 7 Main Effects Plot for Degree V

จากรูปที่ 7 Main Effects ขององศาของงาบกขึ้นทดสอบตัว V จะแสดงค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองขององศาของงาบกขึ้นทดสอบตัว V ที่แต่ละระดับของปัจจัย จะสังเกตได้ว่าที่ระดับความเร็วรอบที่ 960 มีความแตกต่างจากระดับอื่น และให้ค่าเฉลี่ยขององศาของงาบกที่สูงกว่าระดับอื่นมาก

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

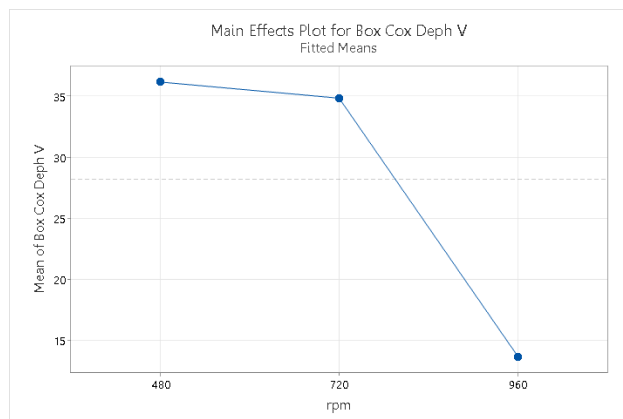
rpm	N	Mean	Grouping
960	5	45.98	A
480	5	44.98	B
720	5	44.90	B

Means that do not share a letter are significantly different.



รูปที่ 8 ค่า Comparisons เปรียบเทียบของคาร์บอนกึ่งหนวดทดสอบตัว V

จากรูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ค่า Comparisons เปรียบเทียบของคาร์บอนกึ่งหนวดทดสอบตัว V ระดับมีการแสดงผลด้วยตัวอักษรคนละระดับกัน และความเร็วรอบ 480 - 720 ทับอยู่บนเส้นปะแสดงว่าไม่มีความแตกต่าง จึงสรุปได้ว่าที่ความเร็วรอบ 480, 720 ส่งผลทำให้ห้องคาร์บอนกึ่งหนวดทดสอบตัว V ไม่มีความแตกต่างจากระดับนัยสำคัญ แต่ระดับความเร็วรอบที่ 720 ขึ้นไปจนถึง 960 นั้นส่งผลทำให้ห้องคาร์บอนกึ่งหนวดทดสอบตัว V มีความแตกต่างกันจากระดับนัยสำคัญ



รูปที่ 9 Main Effects Plot for Depth V

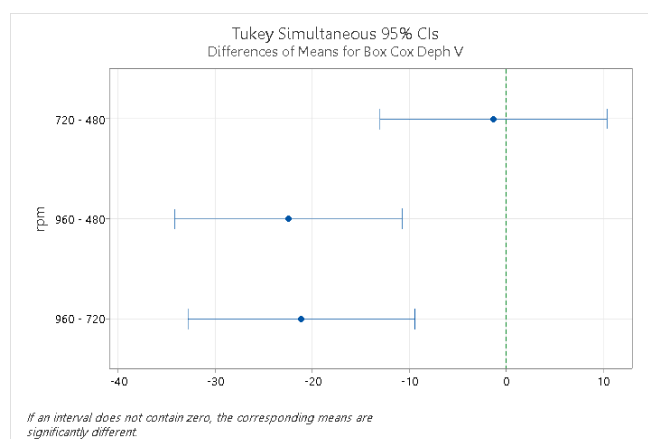
จากรูปที่ 9 Main Effects ของความลึกร่องบากขึ้นทดสอบตัว V จะแสดงค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองของความลึกของขึ้นทดสอบตัว V ที่แต่ละระดับของปัจจัยจะสังเกตได้ว่าที่ระดับความเร็วรอบที่ 960 มีความแตกต่างจากระดับอื่นและให้ค่าเฉลี่ยของความลึกที่น้อยกว่าระดับอื่นมาก

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

rpm N Mean Grouping

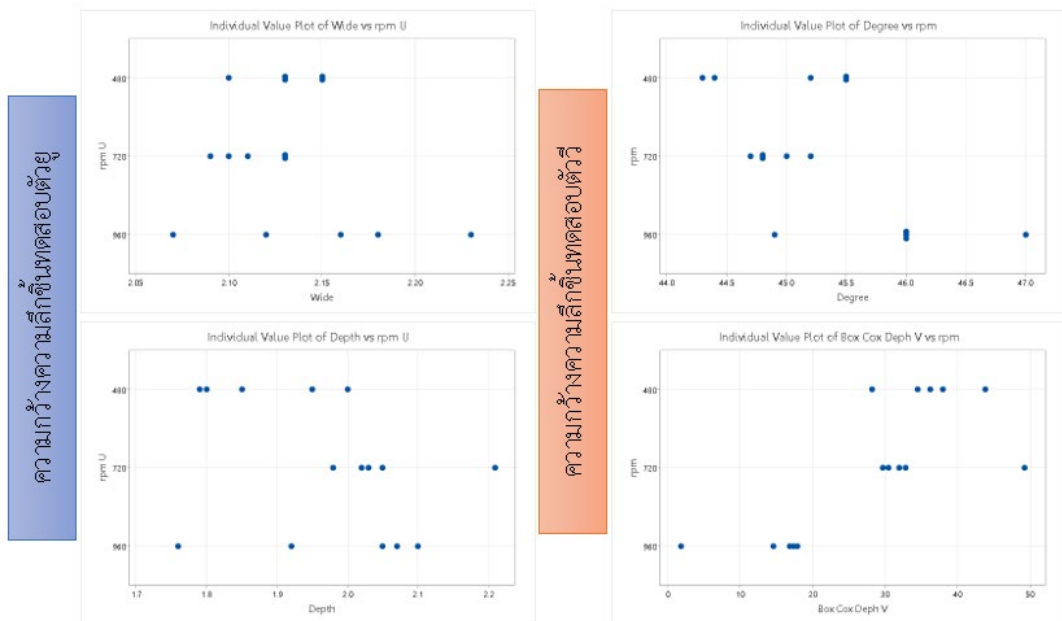
480	5	36.1444	A
720	5	34.8293	A
960	5	13.7185	B

Means that do not share a letter are significantly different.



รูปที่ 10 ค่า Comparisons เปรียบเทียบความลึกร่องบากขึ้นทดสอบตัว V

จากรูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์ค่า Comparisons เปรียบเทียบความลึกร่องบากขึ้นทดสอบตัว V ระดับมีการแสดงผลด้วยตัวอักษรคนละระดับกัน และความเร็วรอบ 480 – 720 ทับอยู่บนเส้นปะแสดงว่าไม่มีความแตกต่าง จึงสรุปได้ว่าที่ความเร็วรอบ 480, 720 ส่งผลทำให้ความลึกร่องบากขึ้นทดสอบตัว V ไม่มีความแตกต่างจากระดับนี้สำคัญ แต่ระดับความเร็วรอบที่ 720 ขึ้นไปจนถึง 960 นั้นส่งผลทำให้ความลึกร่องบากขึ้นทดสอบตัว V มีความแตกต่างกันจากระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 11 Individual Value Plot ชั้นทดสอบทั้งตัว U และ V

จากรูป 11 Individual Value Plot เปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าความกว้าง, ความลึกของชั้นทดสอบทั้งตัว U และองศาร่องบาก, ความลึกของชั้นทดสอบตัว V ที่ระยะ 2.00 มิลลิเมตร ของความเร็วรอบที่ 480, 720 และ 960

5. สรุปและอภิปรายผล

วิเคราะห์ข้อมูลความกว้างของชั้นทดสอบตัว U

1. ค่าเฉลี่ยของความกว้างของชั้นทดสอบตัว U ได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.293 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่ายอมรับสมมติฐานหลักและปฏิเสธสมมติฐานรองคือ ความเร็วรอบนั้นไม่มีผลต่อความกว้างเฉลี่ยในการบากร่องชั้นทดสอบตัว U

2. กราฟ Main Effects Plot for Wide U จากรูปที่ 3 จะแสดงค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองที่แต่ละระดับของความเร็วรอบและระดับความเร็วรอบที่ 960 มีผลตอบสนองสูงกว่าความเร็วรอบที่ 480 และ 720 มาก

3. ค่า Comparisons เปรียบเทียบความกว้างร่องบากชั้นทดสอบตัว U ผลการวิเคราะห์ความเร็วรอบทั้ง 3 ระดับมีตัวอักษรเดียวกันจึงสรุปได้ว่าความเร็วรอบ 480, 720, 960 ไม่มีความแตกต่างกันและจากรูปที่ 4 แสดงให้ทราบว่าเปรียบเทียบระหว่าง ความเร็วรอบ 480, 720, 960 ไม่มีความแตกต่าง เนื่องจากช่วงความเชื่อมั่นของความต่างครอบคลุมอยู่ที่ 0 ทั้งหมด

4. ทดสอบหาค่าอัตราส่วนของความแปรปรวนของความกว้างขึ้นทดสอบ U จากผลการวิเคราะห์ ค่า P-Value เท่ากับ 0.035 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรอง คือค่าความแปรปรวนของความกว้างขึ้นทดสอบ U ที่ความเร็วรอบทั้งสามระดับนั้นมีความแตกต่างกัน

วิเคราะห์ข้อมูลของความลึกขึ้นทดสอบตัว U

1. ค่าเฉลี่ยของความลึกของขึ้นทดสอบตัว U ได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.069 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่ายอมรับสมมติฐานหลักและปฏิเสธสมมติฐานรองคือ ความเร็วรอบนั้นไม่มีผลต่อความลึกเฉลี่ยในการบากร่องขึ้นทดสอบตัว U

2. กราฟ Main Effects Plot for Depth U จากรูปที่ 5 จะแสดงค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองที่แต่ละระดับความเร็วรอบและระดับความเร็วรอบที่ 480 มีผลตอบสนองต่ำกว่าความเร็วรอบที่ 720 และ 960 มาก

3. ค่า Comparisons เปรียบเทียบความลึกร่องบากขึ้นทดสอบตัว U ผลการวิเคราะห์ความเร็วรอบทั้ง 3 ระดับมีตัวอักษรเดียวกันจึงสรุปได้ว่าความเร็วรอบ 480, 720, 960 ไม่มีความแตกต่างกันและจากรูปที่ 6 แสดงให้ทราบว่าเปรียบเทียบระหว่าง ความเร็วรอบ 480, 720, 960 ไม่มีความแตกต่าง เนื่องจากช่วงความเชื่อมั่นของความต่างครอบคลุมอยู่ที่ 0 ทั้งหมด

4. ทดสอบหาค่าอัตราส่วนของความแปรปรวนของความลึกขึ้นทดสอบ U จากผลการวิเคราะห์ ค่า P-Value เท่ากับ 0.609 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐานหลักปฏิเสธสมมติฐานรอง คือค่าความแปรปรวนของความลึกขึ้นทดสอบ U ที่ความเร็วรอบทั้งสามระดับนั้นไม่แตกต่างกัน

วิเคราะห์ข้อมูลของศาร่องบากของขึ้นทดสอบ V

1. ค่าเฉลี่ยขององศาร่องบากของขึ้นทดสอบตัว V ได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.017 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรอง คือความเร็วรอบนั้นมีผลต่อองศาเฉลี่ยในการบากร่องขึ้นทดสอบ V

2. กราฟ Main Effects Plot for Degree V จากรูปที่ 7 จะแสดงค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองที่แต่ละระดับความเร็วรอบและระดับความเร็วรอบที่ 960 มีผลตอบสนองสูงกว่า ความเร็วรอบที่ 480 และ 720 มาก

3. ค่า Comparisons เปรียบเทียบองศาร่องบากขึ้นทดสอบตัว V ผลการวิเคราะห์ความเร็วรอบของ 480, 720 มีตัวอักษรเดียวกันจึงสรุปได้ว่าความเร็วรอบ 480, 720 ไม่มีความแตกต่างกันแต่ความเร็วรอบที่ 960 ตัวอักษรนั้นมีความแตกต่างกัน จากความเร็วรอบอื่น

และจากรูปที่ 8 แสดงให้ทราบว่า การเปรียบเทียบระหว่าง ความเร็วรอบ 720 - 480 ไม่มีความแตกต่าง เนื่องจากช่วงความเชื่อมั่นของความต่างครอบคลุมอยู่ที่ 0 ทั้งหมด แต่ค่าความเร็วรอบที่ 960 - 480 และ 960 - 720 มีความแตกต่างกัน เนื่องจากค่าความเชื่อมั่นของความต่างครอบคลุมไม่อยู่ที่ 0

4. ทดสอบหาค่าอัตราส่วนของความแปรปรวนขององศาอิสระของบาร็อกซันทดสอบ V จากผลการวิเคราะห์ ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.044 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรอง คือค่าความแปรปรวนขององศาอิสระของบาร็อกซันทดสอบ V ที่ความเร็วรอบทั้งสามระดับนั้นแตกต่างกัน

วิเคราะห์ข้อมูลความลึกของซันทดสอบ V

1. ค่าเฉลี่ยของความลึกของซันทดสอบตัว V ได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรอง คือความเร็วรอบนั้นมีผลต่อความลึกเฉลี่ยในการบาร็อกซันทดสอบ V

2. กราฟ Main Effects Plot for Depth V จากรูปที่ 9 จะแสดงค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองที่แต่ละระดับความเร็วรอบและความเร็วรอบที่ 960 มีผลตอบสนองต่ำกว่า ความเร็วรอบที่ 480 และ 720 มาก

3. ค่า Comparisons เปรียบเทียบความลึกของบาร็อกซันทดสอบตัว V ผลการวิเคราะห์ ความเร็วรอบที่ 480 และ 720 นั้นไม่มีความแตกต่างกันแต่ที่ระดับความเร็วรอบ 960 นั้นมีความแตกต่างกันจากระดับอื่น จากรูปที่ 10 แสดงให้ทราบว่า การเปรียบเทียบระหว่าง ความเร็วรอบ 720-480 ไม่มีความแตกต่าง เนื่องจากช่วงความเชื่อมั่นของความต่างครอบคลุมอยู่ที่ 0 ส่วนการเปรียบเทียบความเร็วรอบที่ 960-480 และ 960-720 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความเชื่อมั่นของค่าความต่างไม่ครอบคลุมค่า 0

4. ทดสอบหาค่าอัตราส่วนของความแปรปรวนของความลึกซันทดสอบ V จากผลการวิเคราะห์ ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.821 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐานหลักปฏิเสธสมมติฐานรอง คือค่าความแปรปรวนของความลึกซันทดสอบ V ที่ความเร็วรอบทั้งสามระดับนั้นไม่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองข้างต้นจึงทำให้ทราบว่าความเร็วรอบที่เปลี่ยนไปไม่มีผลกับความกว้างและความลึกเฉลี่ยของซันทดสอบตัว U แต่มีผลกับองศาอิสระของบาร็อกซันและความลึกเฉลี่ยของซันทดสอบตัว V

จากการหาค่าความแปรปรวนของความเร็วที่เปลี่ยนไปพบว่าความแปรปรวนจะไม่เกิดขึ้นกับความลึกของชั้นทดสอบตัว U และตัว V จึงทำให้มีความไม่แตกต่างกัน แต่จะเกิดความแปรปรวนของความกว้างของชั้นทดสอบตัว U กับองศาของชั้นทดสอบตัว V จึงทำให้มีความแตกต่างกัน

จากกราฟ Comparisons เปรียบเทียบค่าความกว้าง ,ความลึก และองศาของชั้นทดสอบทั้งตัว U และตัว V ทำให้ทราบว่าความเร็วรอบที่เสถียรที่สุดคือ ความเร็วรอบที่ 480 - 720 ที่มีการกระจายตัวสมดุลที่สุดแต่ความเร็วรอบที่ 720-960 นั้นไม่สมควรที่จะนำมาใช้ในการบากร่องชั้นทดสอบเพราะมีโอกาสเกิดค่าความคลาดเคลื่อนได้สูง

จากรูป 11 Individual Value Plot เปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าความกว้าง, ความลึกของชั้นทดสอบทั้งตัว U และองศาของชั้นทดสอบ, ความลึกของชั้นทดสอบตัว V ทำให้ทราบว่าความเร็วรอบที่เสถียรที่สุดคือ ความเร็วรอบที่ช่วง 480 - 720 มีการกระจายตัวที่ระยะ 2.00 มิลลิเมตรที่ดี แต่ความเร็วรอบที่ 720-960 หรือมากกว่า นั้นมีการกระจายตัวที่ไม่ดี จึงไม่สมควรที่จะนำมาใช้ในการบากร่องชั้นทดสอบเพราะมีโอกาสเกิดค่าความคลาดเคลื่อนได้สูง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ – วิศวกรรมการผลิต ที่ให้สถานที่ทดลอง และเก็บผลชั้นทดสอบในงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- สุวันชัย สิ้นโพธิ์, ดวงจันทร์ สิ้นโพธิ์. (2556). *สร้างชุดการสอนเรื่องการทดสอบวัสดุด้วยแรงกระทำ*. งานวิจัยครุศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาครุศาสตร์, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
- สุริยา ครำกระโทก, ปิยะ จันทระคะ. (2546). *การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประกอบการทดสอบแรงกระทำแบบชาร์ปี (Charpy)*. งานวิจัยวิศวกรรมบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ศุภชัย ทรงศักดิ์นาคิน และสมนึก วัฒนศรีกุล. (2555). *การศึกษาวิธีการทวนสอบเครื่องทดสอบตีกระแทกแบบชาร์ปีโดยวิธีทางตรงและทางอ้อมตามมาตรฐาน ISO148:2008*. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 2555
- ปริญญา สิริอรรถกุล (2555). *การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวการวิจัยทางสังคมศาสตร์ One-Way ANOVA: Social Science Research*. วารสารสหวิทยาการวิจัยฉบับบัณฑิตศึกษา

เสาวลักษณ์ โกลกิตติอัมพร (2562). การทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์
ความแปรปรวนแบบทางเดียวในการวิจัยทางสังคมศาสตร์. วารสารสหวิทยาการวิจัย
มณฑล นายอรุณ. การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ. กรุงเทพฯ : ยูไนเต็ดบุ๊คส์, 2531
มานพ ตันตระบัณฑิตย์. งานทดสอบวัสดุอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : บริษัท แซท โฟร์ พรินติ้ง จำกัด,
2539

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็กที่นำมาใช้ทำแม่พิมพ์ เกรด SKD 11 ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบทิก (GTAW)

สรารุช เขวการกุล^{1*}, วรเชษฐ์ หวานเสียง²

^{1*},² สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา เชียงใหม่

* E-mail Address: s_jiau@rmult.ac.th 0857232661, Worached19@gmail.com 0947478926

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็กที่นำมาใช้ทำแม่พิมพ์ เกรด SKD 11 ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบทิก(GTAW) โดยการศึกษาเริ่มจากการกำหนดเงื่อนไขในการทดลอง ได้แก่ กระแสเชื่อม จำนวนชั้นของรอยเชื่อม อัตราการป้อนเติมลวด อุณหภูมิการให้ความร้อนก่อนและหลังเชื่อม จากนั้นนำชิ้นงานเชื่อมไปทดสอบคุณสมบัติทางกลจากการทดลองพบว่า การเชื่อมแบบซ้อนรอย 3 ชั้นเต็มรอยบาก ใช้ความร้อนเข้าน้อย ส่งผลให้บริเวณกระแทกก่อนและหลังเชื่อม และการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 105 แอมป์ ทำให้ลวดเติมและโลหะงานหลอมละลายเข้ากันได้ดี ไม่พบรอยแยกระหว่างชั้น แต่พบว่าผิวหน้าของรอยเชื่อมยุบเว้า และยังมีรอยแตกกว้าง 25 เปอร์เซ็นต์ของความยาวรอยเชื่อม ซึ่งการเพิ่มอัตราการป้อนเติมจากการเติมลวด 1 เส้น เป็นครั้งละ 2 เส้น ทำให้ผิวหน้ารอยเชื่อมนูนสวยและยังมีความเค้นตกค้างที่ผิวน้อย จนทำให้ไม่พบรอยแตกกว้าง การให้ความร้อนก่อนเชื่อมที่ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ได้จากการคำนวณจากปริมาณคาร์บอนสมมูล (CE) และการให้ความร้อนหลังเชื่อมเสร็จที่ 300 องศาเซลเซียสเท่ากัน ทำให้ไม่พบรอยแตกกว้างหลังเชื่อมเสร็จ และมีค่าความแข็งสูงเท่ากับ 50 HRC ค่าความสามารถรับแรงกระแทกเท่ากับ 2.5 จูล(J) สรุปว่าเหล็ก SKD 11 มีความสามารถในการเชื่อมต่ำ จึงควรให้ความสำคัญกับการกำหนดตัวแปรในการเชื่อมเพื่อไม่ให้เกิดความเค้นตกค้าง จนทำให้เกิดการแตกร้าวหลังการเชื่อมเสร็จ

คำสำคัญ: เหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์, กระบวนการเชื่อมทิก, การอุ่นชิ้นงานก่อน และหลังเชื่อม, บริเวณกระแทกก่อน, ความเค้นตกค้าง

Study of factors affecting welding of steel used in mold making Grade SKD11 by TIG Welding Process (GTAW)

Sarawut chaowakarnkool^{1*}, Worached Hwanseang²

^{1* 2} Production Engineer, Department of Industrial Engineer, Faculty of Engineer,
Rajamangala University of Technology Lanna

* E-mail Address: s_jiau@rmult.ac.th, 0857232661, Worached19@gmail.com 0947478926

Abstract

This research aimed to study the factors affecting welding of steel used in mold making grade SKD 11 by TIG welding process. The study was started by determining the experimental conditions such as welding current, number of weld layers, wire feed rate, and heating temperature before and after welding. Then took the welded piece to test for the mechanical properties. From the experiment, it was found that the 3-layer stacked weld, filled the notch, used less heat input. As a result, the heat affected zone was narrower than those of single-layer welding. And welding with a welding current of 105 amps made the filler rod and the melt metal work well together. No rifts were found between the layers. But it was found that the surface of the weld seam was concave and found that there was a crack at 25 percent of the weld length. In which the increase of the feed rate from adding 1 wire to 2 wires at a time made the weld surface convex and beautiful and also had less residual stress on the surface without cracks. Preheating at 300°C calculated from equilibrium carbon content (CE). The heat treatment after welding at the same temperature of 300°C caused no cracks after a complete welding and had a hardness as high as 50 HRC. The impact strength was 2.5 joules (J). In conclusion, SKD 11 steel had poor weldability. Therefore, paying attention should be considered for setting welding parameters in order to avoid residual stress that can cause cracking after the completion of welding.

Keywords: Mold steel, TIG welding process, Pre-Post Weld Heat Treatment, Heat Effectuated Zone, Residual Stress

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เปรียบเทียบกับหลายปีก่อน และอุตสาหกรรมการผลิตที่เรียกกันว่า อุตสาหกรรมต้นน้ำ อาทิเช่น อุตสาหกรรมหล่อโลหะ บ่มขึ้นรูปโลหะ และอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์ อุตสาหกรรมเหล่านี้ขยายตัวเพิ่มขึ้น เพื่อรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรม การผลิตที่เพิ่มขึ้นภายในประเทศ

อย่างไรก็ตามการพัฒนาอุตสาหกรรมยังมีปัญหาที่ต้องใช้องค์ความรู้ต่างๆหลายด้านเข้าไปแก้ไข และพัฒนา ยกตัวอย่างอุตสาหกรรมที่ต้องใช้แม่พิมพ์โลหะ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์มีราคาค่อนข้างสูง และมีขั้นตอนในการผลิตที่ค่อนข้างซับซ้อน ส่งผลให้แม่พิมพ์มีต้นทุนในการผลิตที่สูง แม่พิมพ์ชนิดต่างๆจึงมีราคาสูงตาม ในขณะเดียวกัน ตามลักษณะการใช้งานของแม่พิมพ์ ต้องรับภาระค่อนข้างสูง ทั้งแรงกระแทก แรงอัด และการเสียดสี จึงมีโอกาสสึกหรอ หรือมีมิติที่ผิดไปจากเดิม[1] และหากการผลิตแม่พิมพ์ไม่มีคุณภาพสูงพอ อาจมีความเสี่ยงต่อการแตกร้าวค่อนข้างสูง ส่งผลให้อายุการใช้งานของแม่พิมพ์สั้นกว่าปกติ และไม่คุ้มค่ากับการลงทุน แต่หากสามารถหาวิธีการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์เหล่านี้ โดยวิธีการเชื่อมพอกผิวในบริเวณที่สึกหรอ หรือการเชื่อมซ่อมในจุดที่มีการแตกร้าวได้อย่างเหมาะสม[2] มีประสิทธิภาพ ก็จะทำให้ช่วยแก้ไขปัญหายืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ และลดต้นทุนการผลิตของกลุ่มอุตสาหกรรมที่ต้องใช้งานแม่พิมพ์ในการผลิตได้

จากปัญหาที่เกิดขึ้น ทำให้กลุ่มผู้ศึกษาวิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญ จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาในประเด็นดังกล่าว โดยเริ่มจากการศึกษาความสามารถในการเชื่อมของวัสดุกลุ่มที่ใช้ทำแม่พิมพ์ โดยเฉพาะเหล็กเกรด SKD 11 และดำเนินการทดลองเพื่อศึกษาหาตัวแปรที่สำคัญในการเชื่อมที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในการเชื่อมให้เกิดประสิทธิภาพ ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กแบบทิก(Gas Tungsten Arc Welding) เนื่องจากกระบวนการเชื่อมทิก เป็นกระบวนการเชื่อมที่มีประสิทธิภาพสูง และไม่มีเม็ดโลหะกระเด็นขณะอาร์ก ทำให้ลดโอกาสเกิดความเสียหายที่บริเวณผิวของแม่พิมพ์จากการเกาะติดของเม็ดโลหะ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในแก้ไขปัญหามา เพื่อเป็นการสนับสนุนพัฒนาอุตสาหกรรมที่ใช้แม่พิมพ์ในการผลิต และจะได้เผยแพร่องค์ความรู้สู่ผู้ที่ให้ความสนใจต่อไป

2. แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เหล็กเกรด SKD 11 เป็นเหล็กที่อยู่ในกลุ่มของเหล็กเครื่องมือ(Tool Steel) นิยมนำมาใช้ในการทำแม่พิมพ์ชนิดต่าง มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนสูง มีความสามารถในการชุบแข็งสูง และภายหลังปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกระบวนการทางความร้อน จะมีความแข็งแรงสูงมาก

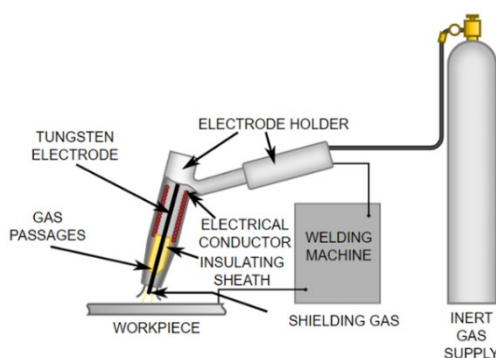
ในทางตรงข้ามกลับมีความสามารถในการเชื่อมที่ต่ำ จึงไม่นิยมประกอบขึ้นรูปด้วยวิธีการเชื่อม แต่หากต้องเชื่อม ควรให้ความสำคัญเงื่อนไขต่างๆในการเชื่อม โดยจะได้กล่าวต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมทางเคมีโดยเฉลี่ยของเหล็กเกรด SKD 11

Grade	ส่วนผสมทางเคมี (Chemical Composition %wt.)								
SKD11	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Others
	1.45-	0.10-	0.20-	11.0-	0.70-	-	0.70-	-	-
	1.60	0.60	0.60	13.0	1.00		1.00		

2.1 การเลือกกระบวนการเชื่อม

กระบวนการเชื่อมทิก(GTAW) เป็นกระบวนการเชื่อมที่อาศัยความร้อนจากการอาร์กระหว่างแท่งทั้งสแตงกับชิ้นงาน โดยมีแก๊สเฉื่อยปกคลุมเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากบรรยากาศ ดังนั้นจึงได้บ่อหลอมละลายที่สะอาด มีคุณภาพของโลหะรอยเชื่อมหลังเชื่อมเสร็จค่อนข้างสูง และยังมีไม่เกิดโลหะกระเด็นทำให้ผิวชิ้นงานเกิดความเสียหายอีกด้วย[3]



รูปที่ 1 แสดงภาพองค์ประกอบของกระบวนการเชื่อมทิก (GTAW)

2.2 การเลือกลวดเติม (Filler Metal)

เหล็ก SKD 11 เป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติทางกลภายหลังการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกระบวนการทางความร้อนที่ตีมาก ดังนั้นลวดเติมที่จะเลือกนำมาเติมลงในบ่อหลอมจะต้องเลือกให้เหมาะสม เพื่อให้ได้โลหะรอยเชื่อมหลังเชื่อมเสร็จที่มีความแข็งแรงสูงเช่นกัน

ตารางที่ 2 แสดงส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม HB 61 R ซึ่งเป็นลวดเชื่อมที่ให้รอยเชื่อมที่มีความแข็ง และทนต่อแรงเสียดสีสูง[4]

C	Si	Mn	Cr	V	Mo	Fe
0.40	1.00	1.00	9.00	1.00	1.00	base

2.3 การกำหนดอุณหภูมิอุ่นขึ้นงานทั้งก่อนและหลังเชื่อม

ด้วยเหล็ก SKD 11 เป็นเหล็กที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนเป็นส่วนผสมค่อนข้างสูง จึงมีความสามารถในการชุบแข็งสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องควบคุมอัตราการเย็นตัวของชิ้นงานและโลหะรอยเชื่อมภายหลังการเชื่อมเสร็จ เพื่อลดโอกาสเกิดการแตกร้าวในโลหะรอยเชื่อม และบริเวณกระทบร้อนได้ โดยเริ่มจากการกำหนดอุณหภูมิอุ่นขึ้นงานหาได้จากสมการข้างล่างนี้ จากนั้นนำค่าไปเทียบในตารางที่ 3

ค่าคาร์บอนสมมูล (CE) = $C + (\%Mn + \%Si) / 6 + (\%Cr + \%Mo + \%V) / 5 + (\%Cu + \%Ni) / 15$
 สมการอ้างอิงจากโดยอ้างอิงจาก มาตรฐาน ANSI/AWS D1.1-2000 Structural Welding Code-Steel. American Welding Society, Miami, Fla.

ตารางที่ 3 แสดงอุณหภูมิของการอุ่นขึ้นงานเชื่อมที่มีความสัมพันธ์กับค่าคาร์บอนสมมูล

ปริมาณคาร์บอนสมมูล	อุณหภูมิในการให้ความร้อน (Preheat Temperature)
น้อยกว่า 0.45 % ได้	สามารถละเว้นการ Preheat ได้
0.45 – 0.60 %	93 °C - 205 °C
มากกว่า 0.60 %	205 °C - 370 °C

2.4 การกำหนดค่าความร้อนเข้า (Heat Input)

ค่าความร้อนเข้ามีความสัมพันธ์กันกับระยะความกว้างของบริเวณกระทบร้อน หากความร้อนเข้าสูง ขอบเขตของบริเวณดังกล่าวก็จะกว้าง ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อความแข็งแรงของโลหะรอยเชื่อม และบริเวณกระทบร้อนข้างรอยเชื่อม อย่างไรก็ตามเราสามารถลดความร้อนเข้าได้โดยการเชื่อมแบบหลายรอยซ้อนกัน (Multiple Pass) แทนการเชื่อมแบบชั้นเดียว (Single Pass) โดยความร้อนเข้าสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{Heat Input} = \frac{\text{Voltage} \times \text{Amperage} \times 60}{\text{Travel Speed} \left(\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right)}$$

โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน The American system (given in ASME BPVC Section IX – QW 409.1 (a) and various AWS standard)

2.5 ใช้อัตราการป้อนเติมที่เหมาะสม

อัตราการป้อนเติมหมายถึง อัตราการเติมโลหะเติมลงในบ่อหลอมละลาย ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กันกับความร้อนเข้า และลักษณะผิวหน้าของโลหะรอยเชื่อม [5] เพราะการเพิ่มอัตราในการป้อนเติมทำให้ความเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้น และหากพิจารณาตามสมการข้างต้นแล้ว จะทำให้ความร้อนเข้าลดลง ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มอัตราการป้อนเติมจะส่งผลทำให้ผิวหน้ารอยเชื่อมโค้งงอ ซึ่งตามทฤษฎีจะทำให้เกิดความเค้นเกิดขึ้นจากหดตัวของของเหลวในขณะที่เปลี่ยนสภาพกลายเป็นของแข็งน้อยกว่า ผิวหน้าของรอยเชื่อมที่มีลักษณะว่า

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเลือกวัสดุที่ใช้ในการเชื่อม

1.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัยเป็นเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น เกรด SKD 11 ความหนา 12 มิลลิเมตร ความกว้าง 60 มิลลิเมตร ความยาว 160 มิลลิเมตร (ตามรูปที่ 2 a.)

1.2 ลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม เป็นลวดเชื่อม HB61R มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร (ตามรูปที่ 2 b.)

1.3 ลวดทั้งสแตนผสม ขนาด 2.4 mm

1.4 แก๊สอาร์กอน (Ar) 100 เปอร์เซนต์

3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน และดำเนินการเชื่อม

2.1 นำเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น เกรด SKD 11 ที่มีความหนา 12 มิลลิเมตร ทำการบากร่องวี ตามมาตรฐาน ASTM E23-07 "a" ^e1" ลึก 6 mm. (ตามรูป 3 a.)

2.2 ทำความสะอาดผิวชิ้นงาน จากนั้นนำไปประกอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (ตามรูป3b.)

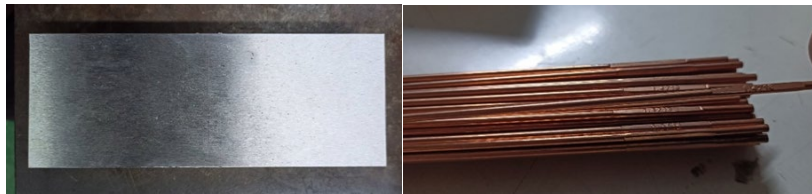
2.3 นำชิ้นงานไปให้ความร้อนด้วยเตาอบไฟฟ้า 300 องศาเซลเซียส ก่อนการเชื่อม (จากการคำนวณโดยใช้สมการข้างต้น เหล็ก SKD11 มีค่า CE = 1.725 เมื่อเทียบกับตารางการเลือกใช้อุณหภูมิในการ Preheat ก็จะได้อุณหภูมิในการ Preheat เท่ากับ 205 - 372 °C) (ตารางที่ 3)

2.4 เริ่มเชื่อม โดยกำหนดให้เชื่อมแบบหลายรอยซ้อนกัน (Multiple pass) เชื่อม 3 ชั้น (ตามรูปที่ 4 a.)

2.5 อุณหภูมิงานหลังการเชื่อมเสร็จแต่ละชั้น โดยแบ่งชั้นงานออกเป็น 6 กลุ่มการทดลอง คือ กลุ่มที่ 1 จะไม่ทำการปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อนใดๆ และกลุ่มที่ 2 - 6 นั้นอุณหภูมิงานโดยมีช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน เริ่มจาก 300°C 400°C 500°C 600°C 700°C 800°C และ 900°C เพื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลทางด้านความแข็ง และการรับแรงกระแทก (ตามรูปที่ 4 b.)

2.6 นำชิ้นงานที่เชื่อมเสร็จ ไปเตรียมเป็นชิ้นงานทดสอบ แล้วนำไปทำชิ้นทดสอบความแข็ง และทดสอบแรงกระแทก

2.7 บันทึกบันทึกผลของการทดสอบทั้งสองแบบ เพื่อนำไปสรุป และวิเคราะห์ผลการทดลอง

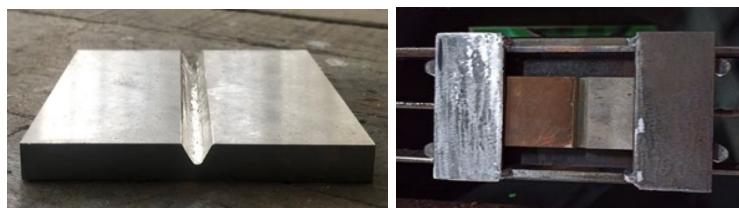


(a)

(b)

รูปที่ 2 a. เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11

b. ลวดเชื่อมทิกชนิดพิเศษ HB61R ขนาด 2.4 ม

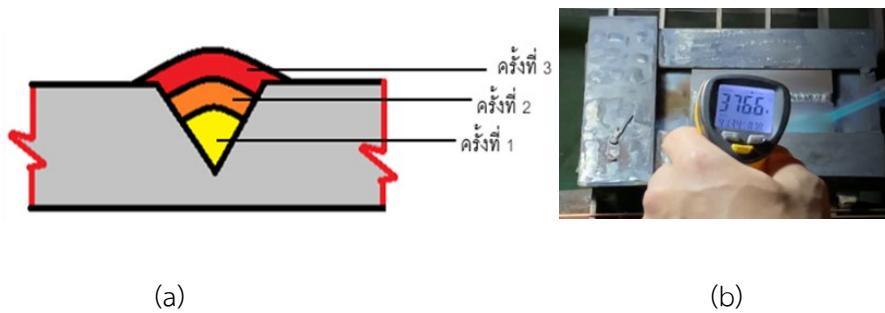


(a)

(b)

รูปที่ 3 a. การบากร่องชิ้นงานเชื่อมทดสอบแบบร่อง V 60°

b. นำชิ้นงานประกอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึด



รูปที่ 4 a. แสดงการเชื่อมแบบหลายรอยซ้อนกัน
b. แสดงการอุ่นชิ้นงานหลังการเชื่อมเสร็จด้วยเปลวไฟ

4. ผลการวิจัย

เหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์เกรด SKD 11 จัดอยู่ในกลุ่มของเหล็กเครื่องมือ มีความสามารถในการเชื่อมต่ำ ดังนั้นการจะเชื่อมให้สำเร็จ มีความจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับตัวแปรสำคัญในการเชื่อมอย่างมาก โดยผลลัพธ์ของการศึกษา แบ่งออกเป็นหัวข้อใหญ่ได้ดังนี้

4.1 ผลของความร้อนเข้า (Heat Input) ความร้อนที่มีผลกับโลหะรอยเชื่อมแบ่งได้ 2 ส่วน

4.1.1 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอุ่นชิ้นงานทั้งก่อนและหลังเชื่อม

- การอุ่นชิ้นงานก่อนการเชื่อม (Pre - Heat) เรากำหนดอุณหภูมิโดยคำนวณจากค่าคาร์บอนสมมูล (CE) ได้เท่ากับ 1.725 และเมื่อนำไปเทียบในตารางการกำหนดอุณหภูมิ จะได้อุณหภูมิอุ่นชิ้นงานเท่ากับ 205-372 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิอุ่นชิ้นงานที่ $300\ (^{\circ}\text{C})$ ขณะเชื่อมโลหะชิ้นงานหลอมละลายได้ดี เหมาะกับความหนาชิ้นงานที่ใช้

- การอุ่นชิ้นงานหลังการเสร็จ (Post - Heat) ขั้นตอนนี้ จะทำทันที หลังการเชื่อมเสร็จ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดอัตราการเย็นตัว และลดความเค้นตกค้างในโลหะรอยเชื่อม จากการศึกษาพบว่า ช่วงอุณหภูมิ $300\ (^{\circ}\text{C})$ เป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม ลดอัตราการเย็นตัว และความเค้นตกค้าง โดยไม่พบบรอยแตกร้าวในโลหะรอยเชื่อม และที่สำคัญ ยังคงเหลือความแข็งที่เพียงพอต่อการนำแม่พิมพ์ไปใช้งานได้

4.1.2 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อม

องค์ประกอบสำคัญของความร้อนในการเชื่อม คือ กระแสเชื่อม และความเร็วในการเชื่อม ตามลำดับ ซึ่งความร้อนเข้า (Heat Input) สามารถคำนวณได้จากสมการตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น และเนื่องจากเครื่องทิก เป็นแบบคงที่กระแส (CC) [6]

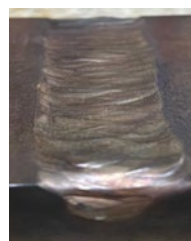
ในการทดลองนี้จึงขอก้าวถึงแอมป์(A)เป็นหลัก โดยการทดลองออกแบบให้แปรผันกระแสเชื่อม 5 ค่า โดยเรียงจาก 99,102,105,108,111 แอมป์ พบว่าช่วงกระแสต่ำสุด (99 A) ความนูนผิวหน้าของโลหะรอยเชื่อมเป็น 0 ไม่นูน และไม่พบรอยแตกร้าว แต่เมื่อเพิ่มกระแสสูงขึ้น(111 A) พบว่าผิวหน้าของรอยเชื่อมเริ่มยุบเว้า และพบรอยแตกร้าวเพิ่มมากขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของกระแส เมื่อทดลองตัดขวางรอยเชื่อมเพื่อดูการหลอมละลาย จะพบว่า ช่วงกระแสที่ต่ำกว่า 105 A มีการหลอมละลายไม่สมบูรณ์เกิดขึ้น ระหว่างชั้นเชื่อม และไม่พบตั้งแต่ 105 A ขึ้นไป ซึ่งสรุปไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงอิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อโลหะรอยเชื่อม

กระแสเชื่อม	99	102	105	108	111	แอมป์(A)
ความนูนของผิวหน้ารอยเชื่อม	0	- 0.4	- 0.6	- 0.8	- 1	มิลลิเมตร
รอยแตกร้าว	ไม่พบ	พบ10 %	พบ25 %	พบ50 %	พบ80 %	% ความยาว รอยเชื่อม
หลอมละลายไม่สมบูรณ์	พบ50 %	พบ25 %	ไม่พบ ***	ไม่พบ	ไม่พบ	%พท. หน้าตัด รอยเชื่อม

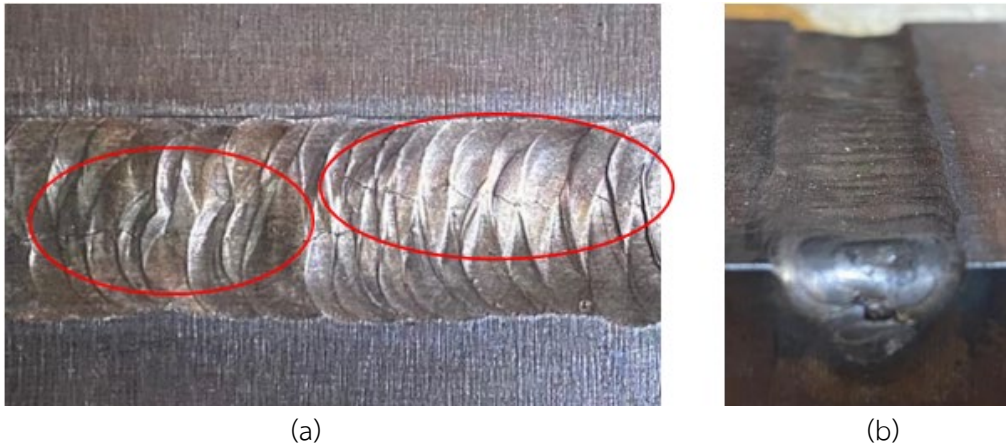


(a)



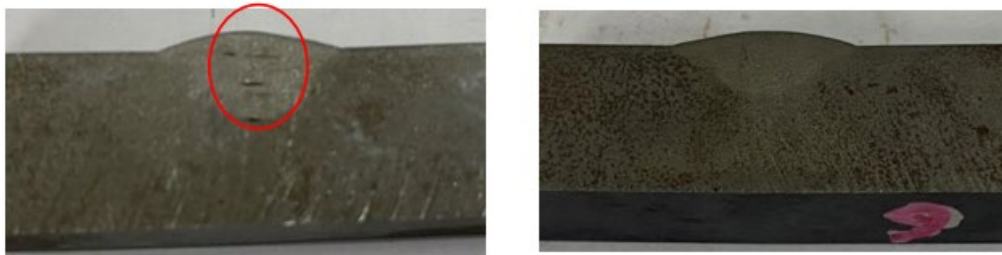
(b)

รูปที่ 5 แสดงช่วงกระแสต่ำสุดในการทดลอง (99 A) a. ไม่พบรอยแตกร้าว b. ผิวหน้าไม่ยุบเว้า (0)



รูปที่ 6 แสดงช่วงกระแสสูงสุดในการทดลอง(111 A)

a. พบรอยแตกร้าวที่ผิวรอยเชื่อม 80 % b. ผิวหน้ารอยเชื่อมยุบเว้า -1 มม.



รูปที่ 7 แสดงถึงผลของกระแสไฟที่มีต่อการหลอมละลายของโลหะรอยเชื่อม

a. พบรอยหลอมละลายไม่สมบูรณ์ 50% b. หลอมละลายสมบูรณ์

4.2 ผลของอัตราการป้อนเติมที่เหมาะสม

จากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.1.2 เรื่องความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระแสเชื่อม ทำให้ทราบว่าการเพิ่มกระแสเชื่อม โดยไม่ได้เพิ่มอัตราการป้อนเติม ทำให้ผิวหน้าของรอยเชื่อมยุบเว้า และเกิดการแตกร้าวเนื่องมาจากแรงจากการหดตัว และในขณะเดียวกันการใช้กระแสเชื่อมที่ต่ำเกินไปส่งผลทำให้การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ได้[7] ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จะเลือกคงที่กระแสเชื่อมที่ 105 Amp.(เป็นช่วงที่มีการหลอมละลายได้สมบูรณ์ ไม่เกิดการแยกชั้น แต่พบรอยแตก 25 %) โดยการทดลองเพิ่มอัตราการป้อนเติม จากการป้อนลวดเติมครั้งละเส้นเพิ่มเป็นครั้งละ 2,3 และ 4 เส้น ซึ่งพบว่าการเพิ่มปริมาณลวดเติม 2 เส้น ทำให้ผิวหน้ารอยเชื่อมนูนเพิ่มขึ้น (ความนูน +1.1 มม.) และนูนมากขึ้นเมื่อเพิ่มลวดเติม ซึ่งผลของการเพิ่มการเติมลวดเติมได้สรุปไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงอัตราการบิดงอต่อความหนาของผิวหน้ารอยเชื่อม โดยคงที่กระแสเชื่อมที่ 105 Amp.

อัตราบิดงอเพิ่มเติม	1	2	3	4	เส้น
ความหนาของผิวหน้ารอยเชื่อม	-0.6	+1.1	+2	+3	มิลลิเมตร



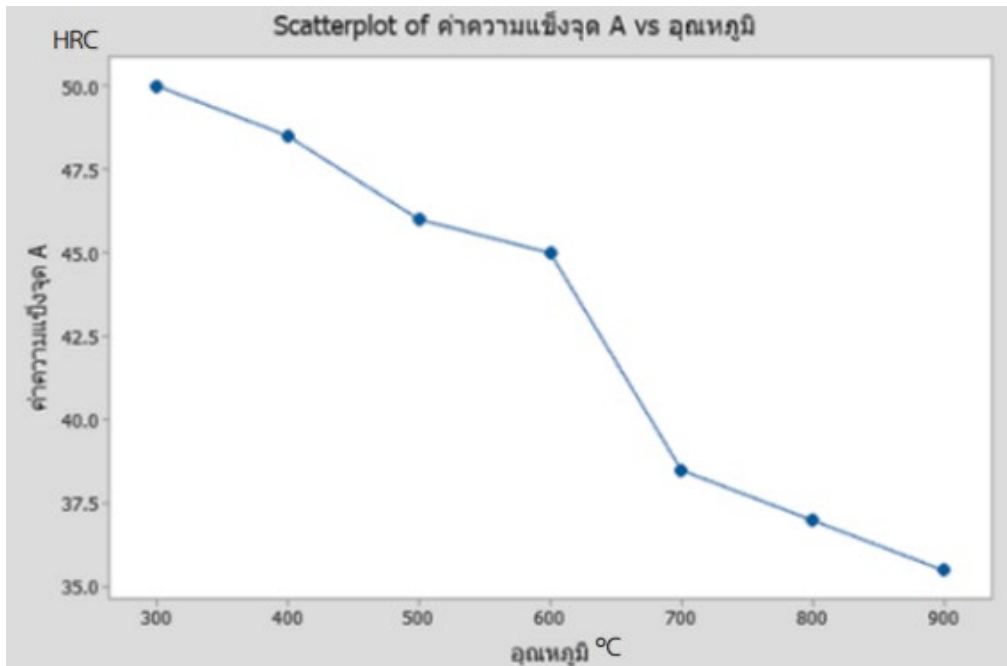
รูปที่ 8 แสดงผลของการของการเพิ่มอัตราการบิดงอเพิ่มเติม จากการบิดงอครั้งละ เป็นครั้งละ 2 เส้น ทำให้รอยเชื่อมมีความหนา +1.1 มิลลิเมตร

จากการทดลองพบว่าการทดลองเชื่อม โดยคงที่กระแสเท่ากับ 105 Amp. แต่เพิ่มอัตราการบิดงอเพิ่มเติม เป็น 2 เส้น ทำให้ผิวหน้ารอยเชื่อมมีความหนา +1.1 มม.(ไม่เกินมาตรฐาน) มีการหลอมละลายที่สมบูรณ์ ไม่พบรอยแยกระหว่างชั้น และพบรอยแตกร้าวที่ผิวหน้ารอยเชื่อม

4.3 ผลของคุณสมบัติทางกล

ตามที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้ เรื่องการเลือกอุณหภูมิ การกำหนดอุณหภูมิอุ่นขึ้นงานก่อนเชื่อม-หลังเชื่อม การกำหนดกระแสเชื่อมและอัตราในการบิดงอเพิ่มเติม ตัวแปรทั้งหลายเหล่านี้มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของโลหะรอยเชื่อมทั้งสิ้น ดังนั้นเพื่อให้รายงานการศึกษาวิจัยนี้มีความสมบูรณ์ จึงได้ออกแบบให้มีการทดสอบคุณสมบัติทางกล 2 ประเภท ได้แก่ การทดสอบความแข็ง และการทดสอบแรงกระแทก โดยผลของการทดสอบจะได้กล่าวต่อไปนี้

4.3.1 การทดสอบความแข็ง การศึกษาวิจัยได้ออกแบบให้แปรผันอุณหภูมิอุ่นขึ้นงานหลังเชื่อมเสร็จ โดยกำหนดได้ 7 ค่า คือ 300,400,500,600,700,800,900 องศาเซลเซียส (°C) จากการศึกษพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิอุ่นขึ้นงานหลังเชื่อมเสร็จ มีผลต่อความแข็ง โดยอุณหภูมิต่ำสุด (300 °C) โลหะรอยเชื่อมจะมีค่าความแข็งมากที่สุดคือ 50 HRC และการอุ่นที่อุณหภูมิ สูงสุด (900 °C) ค่าความแข็งจะลดต่ำลงเหลือ 35 HRC. ซึ่งได้สรุปเป็นรูปของแผนภูมิไว้ในรูปที่ 9



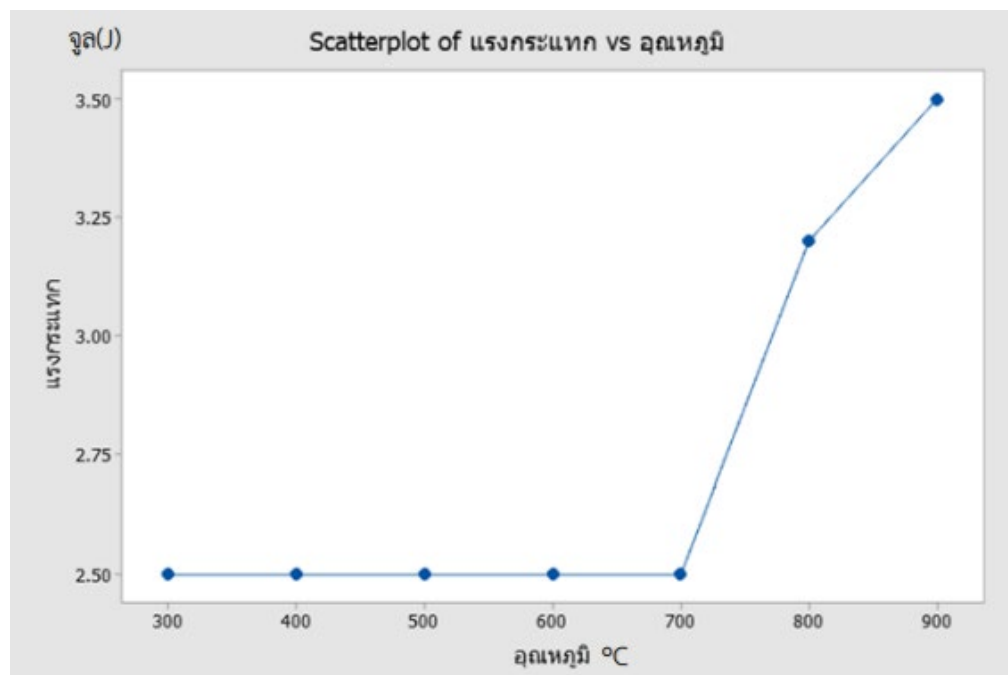
รูปที่ 9 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอุ่นขึ้นงาน
ที่มีผลต่อค่าความแข็ง ในโลหะรอยเชื่อม

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เราได้ตั้งสมมุติฐานเพื่อการนำไปใช้เชื่อมซ่อมแม่พิมพ์
ดังนั้นรอยเชื่อมที่เชื่อมเสร็จควรจะมีค่าความแข็ง 50-60 HRC จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่จะใช้
ในการอุ่นขึ้นงานหลังเชื่อมเสร็จ ควรจะอยู่ที่ 300 °C จะเป็นช่วงที่เหมาะสม

4.3.2 การทดสอบแรงกระแทก ผลจากหัวข้อที่ผ่านมา เรื่องของการอุ่นขึ้นงาน
หลังการเชื่อมเสร็จ ซึ่งนอกจากจะมีผลในเรื่องของการลดความเค้นตกค้าง และเรื่องของความแข็ง
ที่ลดลงเมื่ออุ่นขึ้นงานที่อุณหภูมิสูงขึ้นแล้ว การอุ่นขึ้นงานยังมีผลโดยตรงกับความสามารถ
ในการรับแรงกระแทกอีกด้วย [8] ซึ่งผลได้แสดงไว้ในตารางที่ 6 และแผนภูมิสรุป ได้แสดงไว้ใน
รูปที่ 10

ตารางที่ 6 แสดงผลของการทดสอบแรงกระแทกที่ความสัมพันธ์กับอุณหภูมิการอุ่นขึ้นงานหลังเชื่อมเสร็จ

อุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นขึ้นงานหลังเชื่อมเสร็จ °C	300	400	500	600	700	800	900
แรงกระแทกที่วัดได้ จูล (J)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.2	3.5



รูปที่ 10 แสดงแผนภูมิสรุปผลการทดสอบแรงกระแทกที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิการอุ่นขึ้นงานหลังเชื่อม

จากข้อมูลพบว่าอุณหภูมิตั้งแต่ 300 °C ไปจนถึง 700 °C มีความสามารถในการรับแรงกระแทกเท่ากัน (การทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี (Charpy impact Test)) แต่จากการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมาจะเห็นว่า ช่วงอุณหภูมิ 300 °C ทำให้ได้ค่าความแข็งสูงสุดตามที่เราต้องการ เพื่อนำไปใช้กับแม่พิมพ์

5. สรุปและอภิปรายผล

เหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์เกรด SKD 11 มีค่าคาร์บอนสมมูล(CE) เท่ากับ 1.725 จัดเป็นเหล็กที่มีความสามารถในการเชื่อมต่ำ ดังนั้นการจะเชื่อมให้สำเร็จ

จะต้องมีตัวแปรในการเชื่อมที่เหมาะสม จึงจะทำให้รอยเชื่อมมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ และจากการศึกษาสรุปได้ดังนี้

5.1 เรื่องความร้อนเข้า (Heat Input) ในหัวข้อนี้มีสิ่งที่มีความสัมพันธ์กันอยู่ 2 เรื่อง คือการอุ่นชิ้นงานก่อนเชื่อม และกระแสเชื่อม โดยการอุ่นชิ้นงานจะถูกกำหนดตามค่าคาร์บอนสมมูล [9] ซึ่งคำนวณได้ 300 °C ผลลัพธ์คือ สามารถช่วยลดอัตราการเย็นตัวของโลหะรอยเชื่อม และช่วยลดความเค้นที่เกิดขึ้นจากการหดตัว ขณะรอยเชื่อม กลายสภาพเป็นของแข็งได้ และจากการศึกษาเรื่องของกระแสเชื่อมยังพบว่า ช่วงของกระแส 105 แอมป์ (A) ทำให้การหลอมละลายของโลหะรอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่พบรอยแยกระหว่างชิ้นเชื่อม แต่ยังคงพบการยุบตัวของผิวหน้ารอยเชื่อมลงไป -0.6 มม. และพบรอยแตกร้าว 25 % ของความยาวรอยเชื่อม ซึ่งทั้งสองประเด็นนี้ สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มอัตราการป้อนเติม ซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

5.2 เรื่องอัตราการป้อนเติม (Deposition Rate) การเพิ่มอัตราการเติมลดเติมลงในบ่อหลอมละลาย ส่งผลโดยตรงต่อความสูงของผิวหน้ารอยเชื่อม[10] และยังทำให้เชื่อมได้ไวขึ้น จากการศึกษาพบว่า การเชื่อมด้วยกระแส 105 แอมป์ (A) และเพิ่มอัตราการป้อนเติมลดจาก 1 เส้น เป็น 2 เส้น ทำให้รอยเชื่อมที่ยุบเว้าในการทดลองที่ผ่านมานั้นขึ้นเป็น + 1.1 มม. และไม่พบรอยแตกร้าว สรุปได้ว่าการเพิ่มอัตราการป้อนเติมลดขนาด 2.4 มม. ครั้งละ 2 เส้น เติมพร้อมกันลงในบ่อหลอมขณะเชื่อม ทำให้รอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่ยุบเว้า และไม่พบรอยแตกร้าวบนผิวหน้ารอยเชื่อม

5.3 เรื่องคุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) คุณสมบัติของโลหะรอยเชื่อมที่ดีเกิดขึ้นเป็นผลมาจากการกำหนดตัวแปรในการเชื่อมที่เหมาะสม ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้น หรือลดลงของอุณหภูมิอุ่นชิ้นงานหลังการเชื่อมเสร็จ (Post Heat) มีผลโดยตรงต่อค่าความแข็ง และความสามารถในการรับแรงกระแทก โดยการอุ่นชิ้นงานที่อุณหภูมิ 300 °C มีผลต่อการคลายความเค้นบริเวณรอยเชื่อม และมีผลการทดสอบความแข็งเท่ากับ 50 HRC ซึ่งเป็นตามมาตรฐานการใช้แม่พิมพ์ ในขณะที่เดียวกันผลของการทดสอบความสามารถในการรับแรงกระแทกเท่ากับ 2.5 จูล (J) ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่เหมาะสม เนื่องจากค่าความแข็งและค่าแรงกระแทก มีความสัมพันธ์กัน หากต้องการค่าแรงกระแทกเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งลดลงและไม่สามารถนำไปใช้งานกับแม่พิมพ์ได้ ดังนั้นค่าตัวแปรทั้งหมดตามที่ได้กล่าวมา จึงเป็นค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ได้

6. เอกสารอ้างอิง

Maiti,S.K.,etal,2000, “Assessment of Influences of Some Process Parameter on Sheet Metal Blanking”, Journal of Material Processing Technology, Vol 102, pp. 249-256.

เฉลิมพล คล้ายนิล. การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอแบบ Abrasive ของแม่พิมพ์ตัดสำหรับเหล็กกล้า

วันชัย ลีลาภวิวงศ์, งานเชื่อมโลหะ (การปรับปรุง). ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการคณะ

วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

ARC WELDING ELECTRODES CHEMICAL AND PETROCHEMICAL INDUSTRIES, ลวดเชื่อมพิเศษ, ASIASOUDURE.

ชិเกะอากิ ยามาโมโต้.วิศวกรรมเชื่อม. บริษัท ไทย-โกลเบดิง จำกัด

ไพบูลย์ หาญมนต์.2550. อิทธิพลของกระแสไฟฟ้าเชื่อมและลักษณะปลายเชื่อมทั้งสแตน ที่มีผลต่อความกว้างและการซึมลึกของแนวเชื่อมของเหล็กกล้าไร้สนิมโดยกระบวนการ เชื่อมทิก. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Gower A. Kennedy. Welding Technology. Indiana : The Bobbs-Merrill Company. CASTI Guidebook to ASME section IX, CASTI Pubishing Inc, 2001.

ดำรงค์มิตร เหยียนขุนทด, สุรียา ประสมทอง, สุวัฒน์ ภูเภา, เจษฎา แก้ววิชิตร์, กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, อิทธิพลกระแสเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมต่อความแข็งแรงสูง.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประภาศ เมืองจันทร์, มุhammad เต๊ะยอ, จรรย์ ธรรมใจ.2560. ผลกระทบของกรรมวิธีการเชื่อมทิกประสิทธิภาพสูงโดยใช้แก๊สแอคทีฟเป็นแก๊สปกคลุมต่อรูปร่างของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304

การศึกษาพารามิเตอร์เพื่อคาดการณ์อายุการใช้งานแบตเตอรี่

ณัฐพรรณ พลธรรม* นริส ประทินทอง และ รุ่งโรจน์ สงศ์ประกอบ

สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เลขที่ 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

*E-mail: nathaphan.p@mail.kmutt.ac.th, 0849566941

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีการคำนวณพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ จากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางไฟฟ้าของแบบจำลองวงจรสมมูลเทวินิน โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ที่มีอัตราการคายประจุแตกต่างกัน และใช้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพสำหรับการคาดการณ์อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ในการศึกษาได้ใช้ผลการทดลองของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดขนาดพิกัด 12V, 18Ah ด้วยอัตราการคายประจุกระแสคงที่ 1.8 A ทำนายอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยเปรียบเทียบจากการใช้โมเดลลำดับที่ต่างกัน ผลการศึกษาพบว่าการประมาณค่าโดยใช้แบบจำลองโมเดลลำดับที่ 3 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 4.9901×10^{-3} เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากผลการทดลอง ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้และมีความน่าเชื่อถือในการใช้หาค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่จากการศึกษาครั้งนี้สามารถทำนายอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ได้

คำสำคัญ : การทำนายสถานะของแบตเตอรี่; แบตเตอรี่; แบบจำลองวงจรสมมูลเทวินิน

Studying Parameters for Predicting the Remaining Battery Shelf Life

Nathaphan Phontham* Naris Pratinthong and Roongrojana Songprakorp

Division of Energy Technology, School of Energy Environmental and Material,
King Mongkut's University of Technology Thonburi
126 Pracha Uthit Rd, Bang Mot, Thung Khru, Bangkok 10140

*E-mail: nathaphan.p@mail.kmutt.ac.th, 0849566941

Abstract

This research presents a method for calculating the parameters of a battery based on the relationship between the electrical variables of a Thevenin equivalent circuit model. The analysis was based on the data obtained from the discharge behavior of a battery with different discharge rates. The efficiency indicator used to predict the cycle life of the battery was the root mean square error (RMSE). In this study, the battery cycle life was predicted by comparing different models using experimental results from a 12V, 18Ah lead-acid battery with a constant discharge rate of 1.8A. The study found that estimation using the third-order model gave the lowest error, which was 4.9901×10^{-3} . This value was compared with the experimental result and was found to be acceptable and reliable for estimating the battery parameters. This study can predict the cycle life of the battery and provide guidance for improving battery performance.

Keywords: predicting battery life; battery; Thevenin's equivalent circuit model

1. บทนำ

จากการพัฒนาของเทคโนโลยีในปัจจุบัน แบตเตอรี่กลายเป็นอุปกรณ์ที่เก็บพลังงานไฟฟ้าที่เข้ามามีบทบาทสำคัญในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาในการลดช่องว่างระหว่างความต้องการใช้พลังงานและความสามารถในการผลิตพลังงาน โดยเฉพาะเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ผลิตพลังงานเพื่อขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า รวมถึงผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน อีกทั้งยังเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและรูปแบบการใช้งานให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา ด้วยเหตุผลของขนาดความจุของแบตเตอรี่ ความหนาแน่นการเก็บสะสมพลังงาน อัตราการเก็บและคายประจุ และจำนวนรอบที่สามารถเก็บประจุได้ อายุการใช้งาน ความปลอดภัย และราคา เมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งานผ่านไปช่วงเวลานานหนึ่ง ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะลดลง เป็นผลมาจากการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ ที่อาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ หรือพฤติกรรมการใช้งาน (Severson, 2019) ดังนั้นจำเป็นต้องมีการทำนายอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เพื่อบ่งบอกสถานะความสมบูรณ์ (SOH) ของแบตเตอรี่

สถานะความสมบูรณ์ (SOH) ของแบตเตอรี่ สามารถใช้เปรียบเทียบสภาพการทำงานปัจจุบันของแบตเตอรี่กับแบตเตอรี่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน อีกทั้งเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ และใช้เพื่อคาดการณ์อายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของแบตเตอรี่อีกด้วย (Yang, 2015) อย่างไรก็ตามการประมาณค่า SOH มีหลากหลายวิธีและใช้พารามิเตอร์แตกต่างกัน ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง นักวิจัยจึงได้พัฒนาวิธีการต่างๆ เพื่อใช้ประมาณค่าสถานะของแบตเตอรี่ รวมถึงการประมาณค่าด้วยวิธีใช้แบบจำลองวงจรแบตเตอรี่ โดยที่แบบจำลองของแบตเตอรี่มีหลากหลายวิธีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความจุของแบตเตอรี่ ความต้านทานภายใน การคายประจุด้วยตัวเอง การตอบสนองของแรงดัน ผลกระทบของอุณหภูมิ และอื่นๆ (Tang, 2018) โดยการประมาณค่าด้วยแบบจำลองวงจรสมมูลเทวินิน ถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน มีความยืดหยุ่นและง่ายต่อการคำนวณเมื่อเทียบกับการใช้แบบจำลองทางไฟฟ้าเคมี อีกทั้งมีความแม่นยำสูงกว่าวิธีอื่นๆ (Ouyang, 2020)

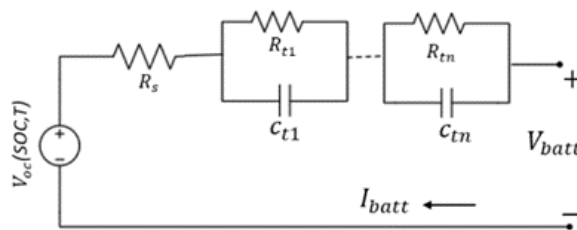
ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดจะนำเสนอการวิเคราะห์ที่ใช้แบบจำลองวงจรสมมูลเทวินิน ในการระบุพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อสมรรถนะของแบตเตอรี่ เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการบ่งบอกสถานะปัจจุบันและทำนายอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของแบตเตอรี่ได้ โดยผู้วิจัยใช้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ในการเลือกสมการคณิตศาสตร์

เพื่อให้ได้การพยากรณ์แม่นยำที่สุดสำหรับชุดข้อมูลที่ทำการศึกษา จากแนวคิดดังกล่าว ทำให้สามารถสร้างความน่าเชื่อถือกับระบบแบตเตอรี่ และสามารถบริหารจัดการแบตเตอรี่ ได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการใช้งานแบตเตอรี่

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบบจำลองวงจรสมมูลเทวินิน

แบบจำลองวงจรสมมูลเทวินิน เป็นการจำลองวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์ และทำนายพฤติกรรมแบตเตอรี่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ภายในวงจรประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง V_{oc} ซึ่งเป็นแรงดันขณะเปิดวงจรที่มีความสัมพันธ์กับค่าสถานะประจุ (SOC) ของแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนไปและอนุกรมในการทำงาน ตัวต้านทาน R_s เป็นความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันขั้วแบตเตอรี่ทันทีหลังจากการชาร์จ/คายประจุ ตัวต้านทาน R_{tn} และตัวเก็บประจุ C_{tn} ที่ต่อขนานกันใช้อธิบายลักษณะการทำงานชั่วคราวของแรงดันในระหว่างการชาร์จและดิสชาร์จแบตเตอรี่ แรงดันขั้วแบตเตอรี่ V_{batt} และกระแสของแบตเตอรี่ I_{batt}



รูปที่ 1 วงจรสมมูลแบตเตอรี่ของแบบจำลองเทวินิน (Monowar, 2019)

2.2 สมการพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลเทวินิน

แบบจำลองวงจรสมมูลเทวินิน ใช้กันอย่างแพร่หลายในการจำลองไดนามิก การคายประจุของแบตเตอรี่ โดยรูปแบบที่นิยมใช้มากที่สุดคือวงจรที่มีตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุแบบขนาน (RC) เพียงคู่เดียว (Tingshu, 2011) ซึ่งสามารถประมาณค่า พารามิเตอร์ได้จากการทดลอง แต่ว่าการประมาณค่าของแรงดันไฟฟ้าโมเดลลำดับที่ 1 อาจมีค่าแตกต่างจากค่าที่ได้จริงจากการทดลอง ดังนั้นจำเป็นต้องมีการประมาณค่า สำหรับแบบจำลองที่มี RC ขนานกันตั้งแต่ 2 คู่ขึ้นไป เพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน

ของแบบจำลอง โดยแบตเตอรี่ที่มีตัวต้านทานและตัวเก็บประจุแบบขนาน n คู่ $(R_{t1}, C_{t1}), (R_{t2}, C_{t2}), \dots, (R_{tn}, C_{tn})$ ดังแสดงในรูปที่ 1 จะเรียกว่า โมเดลลำดับที่ n สมมติว่าแบตเตอรี่มีการเชื่อมต่อกับโหลดที่ $t=0$ และแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุเริ่มต้นเป็น 0 จะได้พารามิเตอร์สองตัวแรกดังสมการที่ (1) และ (2) และการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าเมื่อเวลาผ่านไปช่วงเวลานึงจะสามารถประมาณค่าแรงดันไฟฟ้าได้ดังสมการที่ (3)

$$E = v(0^-) \quad (1)$$

$$R_0 = \frac{v(0^-) - v(0^+)}{I} \quad (2)$$

$$v(t) = E - R_0 I - \sum_{k=1}^n R_k I (1 - e^{-\frac{t}{R_k C_k}}) \quad (3)$$

เมื่อ E คือ แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (V)

$v(0^-)$ คือ แรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น (V)

$v(0^+)$ คือ แรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น (V)

R_0 คือ ความต้านทานไฟฟ้าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันชั่วทันที (Ω)

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

R_k คือ ความต้านทานไฟฟ้าโมเดลลำดับที่ k

C_k คือ ความจุแบตเตอรี่ของโมเดลลำดับที่ k

2.3 การวัดความถูกต้องของการพยากรณ์

ค่าสถิติมาตรฐานที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพความแม่นยำของแบบจำลองมีหลากหลายวิธีพัฒนาขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องหรือความผิดพลาด และงานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (Root mean square error: RMSE) เป็นค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลอง หากค่า RMSE มีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่า

ได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ดังนั้นหากมีค่าเท่ากับศูนย์แสดงว่าไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในแบบจำลอง (วรัญญู, 2563) ค่า RMSE สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (F_i - Q_i)^2}{N}} \quad (4)$$

เมื่อ N คือ จำนวนข้อมูล

F_i คือ ข้อมูลจริง

Q_i คือ ข้อมูลจากการประมาณค่า

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

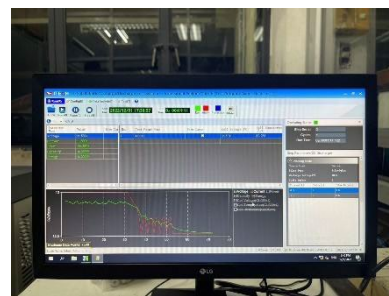
- 1) แบตเตอรี่ตะกั่วกรด ยี่ห้อ Global Power ขนาดแรงดันไฟฟ้า 12V และความจุไฟฟ้า 18Ah
- 2) เครื่องประจุและคายประจุแบตเตอรี่ ยี่ห้อ ITECH รุ่น ITS5000
- 3) โปรแกรมทดสอบและบันทึกผลข้อมูลของเครื่องทดสอบระบบการอัดและคายประจุแบตเตอรี่ ITS5000



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง (ก) แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (ข) เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ (ค) โปรแกรม ITS5000 Charge/Discharge System

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

1) คายและอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ ด้วยกระแส 0.9 A เป็นเวลา 20 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ condition voltage ของการอัดและคายประจุไฟฟ้า คือ 14.0 V และ 10.5 V เพื่อนำค่าของกระแส แรงดัน และเวลาที่ใช้ในการอัดและคายประจุ มาคำนวณระดับความลึกของการคายประจุ (DOD) ของแบตเตอรี่ ดังสมการที่ (5)

$$DOD = \frac{\text{current (A)} \times \frac{\text{time(min)}}{60 \text{ min}}}{\text{capacity (Ah)}} \times 100\% \quad (5)$$

2) คายประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ที่ระดับความลึกของการคายประจุ 40 (40% DOD) ด้วยกระแส 0.9 A, 1.8 A, 2.7 A และ 3.6 A โดยลำดับการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 จากนั้นวัดค่าทางไฟฟ้าด้วยเครื่องประจุและคายประจุแบตเตอรี่ ยี่ห้อ ITECH รุ่น ITS5000 ได้ทำการบันทึกผลผ่านโปรแกรมอัตโนมัติของเครื่องทดสอบ

ตารางที่ 1 การคายประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ที่ระดับ 40% DOD (กำหนดให้ CC=Constant current discharge, DL=Delay)

Step	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Action	CC	DL	CC	DL	CC	DL	CC	DL	CC	DL
Current (A)	0.9	-	0.9	-	1.8	-	2.7	-	3.6	-
Cut off Voltage (V)	12.									
Time (min)	-	15	10	15	10	15	10	15	10	15
Temp.	25°C									

4. ผลการวิจัย

4.1 ระดับความลึกของการคายประจุ (DOD) ของแบตเตอรี่

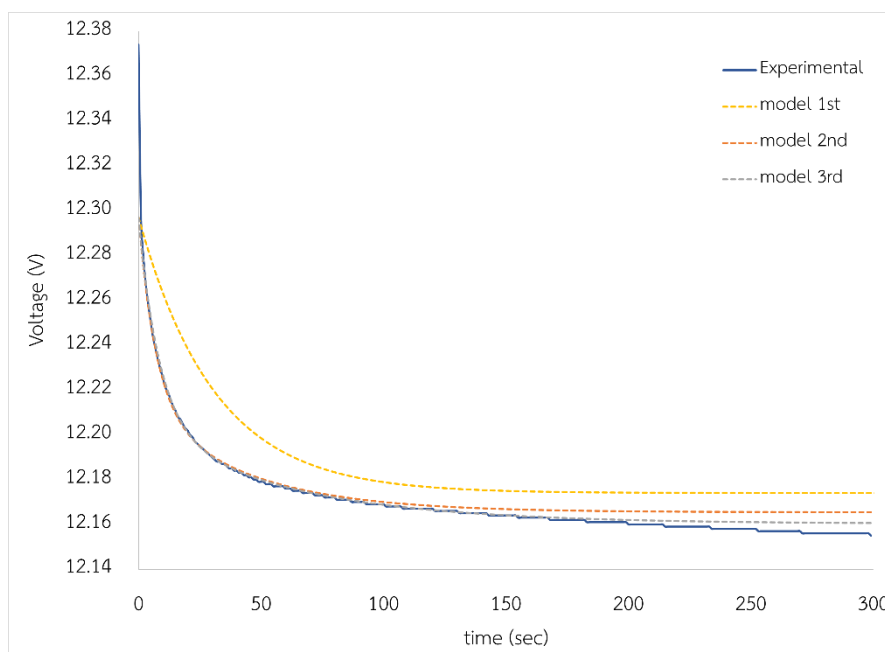
จากผลการทดสอบการคายประจุด้วยกระแสคงที่ 0.9 A และนำตัวแปรที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาระดับความลึกของการคายประจุแบตเตอรี่ ได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับความลึกของการคายประจุ (DOD) แบตเตอรี่

DOD (%)	Voltage (V)	DOD (%)	Voltage (V)
0	13.29	60	11.80
10	12.48	70	11.64
20	12.35	80	11.44
30	12.23	90	11.12
40	12.10	100	10.50
50	11.95		

4.2 แบบจำลองสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

จากการเก็บข้อมูลทดลองของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดขนาดแรงดัน 12V, 18Ah โดยคายประจุกระแส 1.8 A ที่ระดับความลึกของการคายประจุ 40 % เพื่อประเมินค่าพารามิเตอร์ด้วยแบบจำลองวงจรสมมูลเทวินิน ใช้โมเดลที่แตกต่างกันสำหรับการทำนายพฤติกรรมของแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง และการประมาณค่าด้วยแบบจำลอง

จากรูปที่ 3 การประมาณค่าด้วยแบบจำลองที่ใช้โมเดลลำดับที่ 1 พารามิเตอร์ผลลัพธ์คือ $R_1 = 0.0683\Omega$, $C_1 = 453.6585F$ มีค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) ของแบบจำลองคือ 1.0156×10^{-1} สำหรับแบบจำลองที่ใช้โมเดลลำดับที่ 2 พารามิเตอร์ผลลัพธ์คือ $R_1 = 0.0461\Omega$, $R_2 = 0.0269\Omega$, $C_1 = 154.8513F$ และ $C_2 = 1570.2353F$ มีค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) ของแบบจำลองคือ 6.8025×10^{-3} และแบบจำลองที่ใช้โมเดลลำดับที่ 3 พารามิเตอร์ผลลัพธ์คือ $R_1 = 0.0228\Omega$, $R_2 = 0.0487\Omega$, $R_3 = 0.0043\Omega$, $C_1 = 2763.9766F$, $C_2 = 169.2536F$ และ $C_3 = 5064.9548F$ มีค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) ของแบบจำลองคือ 4.9901×10^{-3} และจากการวิเคราะห์แบบจำลองทั้ง 3 ลำดับ พบว่าการประมาณค่าโดยแบบจำลองที่ใช้โมเดลลำดับที่ 1 มีความคลาดเคลื่อนกับผลการทดลองค่อนข้างมาก มีความแตกต่างของข้อมูลอย่างเห็นได้ชัด สำหรับโมเดลลำดับที่ 2 ยังมีความแตกต่างของข้อมูลที่สังเกตได้ และโมเดลลำดับที่ 3 ผลลัพธ์ของแบบจำลองเกือบจะสมบูรณ์แบบ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สามารถยอมรับได้

5. สรุปและอภิปรายผล

จากผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด โดยใช้องค์ประกอบทางไฟฟ้าจากวงจรสมมูลเทวินิน ผลที่ได้สอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลทดสอบ เห็นได้ว่าการใช้โมเดลลำดับที่ 1 ในการประมาณค่าพารามิเตอร์แบตเตอรี่ ทำงานได้ไม่ดีนัก เมื่อเทียบผลการคำนวณกับข้อมูลจริงที่ได้จากการทดลอง สำหรับโมเดลลำดับที่ 2 และโมเดลลำดับที่ 3 สามารถสร้างผลการประมาณค่าที่ตรงกับข้อมูลการทดลองจริงได้เกือบสมบูรณ์แบบ โดยมีค่าความผิดพลาดของข้อมูลอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ โดยใช้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่ต่ำที่สุดเป็นตัวชี้วัด การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานการคาดการณ์อายุการใช้งานแบตเตอรี่ โดยใช้ข้อมูลค่าความจุของแบตเตอรี่ได้ และยังเป็นแนวทางในการออกแบบการใช้งานของแบตเตอรี่ให้เหมาะสมได้อีกด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- Severson, K.A., et al. (2019). Data-driven prediction of battery cycle life before capacity degradation. *Nature Energy* 4(5). 1-9. doi:10.1038/s41560-019-0356-8.
- Yang, H., Qiu, Y. and Guo, X. (2015). Prediction of State-of-Health for Nickel-Metal Hydride Batteries by a Curve Model Based on Charge-Discharge Tests. *Energies* 2015. 8. 12474–12487. doi:10.3390/en81112322.
- Tang, X., Wang, Y., Zou, C., Yao, K., Xia, Y. and Gao, F. (2018). A novel framework for lithium-ion battery modeling considering uncertainties of temperature and aging. *Energy Convers Manage*, vol. 180, pp. 162–170, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.10.082>.
- Ouyang, T., Xu, P., Chen, J., Lu, J., and Chen, N. (2020). Improved parameters identification and state of charge estimation for lithium-ion battery with real-time optimal forgetting factor. *Electrochemical Acta*, vol. 353. no. 136576. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2020.136576>.
- Monowar, H., Saha, S., Haque, M.E., Arif, M.T. and Oo, A. (2019). A Parameter Extraction Method for the Thevenin Equivalent Circuit Model of Li-ion Batteries. *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting - Baltimore, MD, USA (2019.9.29-2019.10.3)*, pp.1-7. doi: 10.1109/IAS.2019.8912326.
- Tingshu, H., Zanchi, B. and Zhao, J. (2011). Determining battery parameters by simple algebraic method. *American Control Conference on O'Farrell Street, San Francisco, CA, US*. doi:10.1109/ACC.2011.5990614.
- วรัญญู วรธนะวิภาต. (2563). การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลขสำหรับการเปรียบเทียบอายุการใช้งานของแบตเตอรี่โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง. *ปริญาวิทยวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน. คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.*

การออกแบบและพัฒนาเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟด้วยลมร้อน

วีระศักดิ์ ปัญญาราช^{1*} กชรวิศ หล้าคำ¹

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

* Weerasak@rmutl.ac.th , Kodcharawit2538@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟด้วยลมร้อน หลักการทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟด้วยลมร้อน ใช้พัดลมความเร็วนขนาด 1,600 วัตต์ มีพัดลมช่วยให้เมล็ดกาแฟได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง ถังคั่วใช้สเตนเลส เกรด 304 เป็นรูปทรงกระบอกกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 23 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร ที่ถูกหุ้มด้วยฉนวนความร้อน มีหัววัดอุณหภูมิแบบเข็มอยู่ภายในถังคั่ว และในถังคั่วมีใบกวน ที่หมุนทำงานตลอดเวลาที่ทำการคั่วเพื่อกวนให้เมล็ดกาแฟได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ เปลือกเมล็ดกาแฟจะถูกระบายตามแรงลมออกมาผ่านทางไซโคลน ผลจากการทดลอง การคั่วเมล็ดกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าครั้งละ 2 กิโลกรัม ที่ระดับการคั่ว 3 ระดับ ได้แก่ คั่วอ่อน, คั่วกลาง และคั่วเข้ม ทดลองการคั่วอยู่ 4 ระดับอุณหภูมิ ได้แก่ ระดับอุณหภูมิที่ 1 150 °C ระดับอุณหภูมิที่ 2 160 °C ระดับอุณหภูมิที่ 3 170 °C และระดับอุณหภูมิที่ 4 180 °C โดยพบว่าทุกระดับของการคั่วที่อุณหภูมิ 180 °C จะใช้ระยะเวลาในการคั่วที่สั้นที่สุด โดยการคั่วทั้ง 3 ระดับ คือ คั่วอ่อน, คั่วกลาง และคั่วเข้ม จะใช้ระยะเวลาการคั่วเฉลี่ยนาน 51.0, 60.7 และ 70.3 นาที โดยการคั่วเมล็ดกาแฟจากระดับคั่วอ่อนเป็นระดับคั่วกลางแล้วเป็นระดับคั่วเข้ม คิดเป็นระยะเวลาการคั่วที่ต้องใช้เวลานานขึ้นอีก 9 นาทีและ 10 นาที หรือคิดเป็น 16.4 % และ 12.8 % ตามลำดับ

คำสำคัญ: คั่วกาแฟ, ระดับการคั่วกาแฟ, คั่วกาแฟด้วยลมร้อน, ควบคุมความร้อน

Design and Development of Hot - Air Coffee Bean Roast Machine

Weerasak Panyarach^{1*} Kodcharawit Lamkam¹

¹ Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Lanna
128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

* weerasak@rmutl.ac.th

Abstract

The purpose of this research was to study the operation of a hot air coffee roaster. Working principle of a hot air coffee roaster was using a 1,600-watt heating coil with a fan to help the coffee beans get heated thoroughly. The roasting tank was 304 stainless steel grade with a round shaped cylinder. It has a diameter of 23 centimeters and a length of 40 centimeters that is covered with heat insulation. There was a needle temperature probe inside the roasting tank, and stirring leaves in the roasting tank that rotated throughout the roasting process to stir the coffee beans to get even heat. The coffee bean husks were vented by the force of the wind through a cyclone. Results from the experiment showed that Arabica Coffee beans were roasted at 2 kilograms each time at 3 roasting levels: light roast, medium roast, and dark roast. The roasting was performed at 4 temperature levels: 150 °C, 160 °C, 170 °C and 180 °C. It was found that at all levels of roasting at 180 °C, the shortest roasting time was used. By roasting at 3 levels, light roast, medium roast and dark roast, the average roasting time was 51.0, 60.7 and 70.3 minutes, respectively. Coffee beans were roasted from light roast to medium roast and then to dark roast periodically. The roasting time was increased by 9 and 10 minutes, or 16.4 % and 12.8 %, respectively.

Keywords: Coffee Roast, Coffee Roast level, Hot-Air Coffe Roast, Heating coil

1. บทนำ

ในปัจจุบันกาแพ เป็นเครื่องต้มน้ำที่ได้รับความนิยมอย่างมากโดยเฉพาะกาแพแก้ว หรือเป็นที่รู้จักกันในนามของกาแพสตี สาเหตุที่กาแพแก้วกลับมาเป็นที่ชื่นชอบอีกครั้งนั้น เนื่องมาจากกลิ่นและรสชาติของกาแพแก้วซึ่งทำให้กาแพแก้วแตกต่างจากกาแพสำเร็จรูปทั่วไป แต่การที่จะได้กาแพแก้วที่มีคุณภาพดีมานั้นก็ไม่ใช่เรื่องง่ายเพราะต้องผ่านหลายกระบวนการอาทิเช่น การปลูก การเก็บเกี่ยว การทำสารกาแพการแก้ว และการบดโดยกระบวนการสำคัญ ในการดีรสชาตที่อยู่ในเมล็ดกาแพออกมาก็คือการแก้ว นอกจากนี้กลิ่นของกาแพแก้ว ยังถูกสร้างขึ้นในระหว่างขบวนการนี้ด้วยเช่นกัน แต่ถ้ากลิ่นนี้ระเหยออกไปพร้อมกับไอน้ำ ในระหว่างแก้วกาแพมากเท่าใดก็จะทำให้กาแพแก้วสูญเสียกลิ่นหอมไปมากเท่านั้นส่งผลให้คุณภาพของกาแพลดลง

การแก้วเมล็ดกาแพส่วนมาก นิยมใช้แก๊สเป็นตัวนำเชื้อเพลิงในการทำความร้อน ซึ่งการใช้แก๊สเป็นตัวนำความร้อนมักจะประสบกับปัญหาการสุกของเมล็ดกาแพที่ไม่สม่ำเสมอ และการปรับเพิ่มหรือลดอุณหภูมิในการแก้วที่ทำได้ยาก ทำให้ได้กลิ่นและรสชาติของกาแพที่ไม่ได้ตามความต้องการ ทั้งยังทำให้ต้องใช้พลังงานเชื้อเพลิงมากเกินไปอีกทั้งยังเกิดควัน สร้างความเดือดร้อนให้แก่คนรอบข้าง

ดังนั้นคณะผู้จัดทำได้เห็นความสำคัญในจุดนี้ จึงได้ทำการพัฒนาเครื่องแก้วกาแพ ด้วยลมร้อนขึ้นมา ให้สามารถใช้งานได้ง่าย นอกจากนี้ยังไร้ควันและคงรักษากลิ่นกาแพรสชาตของกาแพให้คงเหลืออยู่ให้มากที่สุด การใช้เทคโนโลยีการแก้วเมล็ดกาแพด้วยวิธีลมร้อน จะทำให้สีของเมล็ดสม่ำเสมอ และยังสามารถใช้งานได้ทั้งในครัวเรือน ร้านกาแพทั่วไป และวิสาหกิจชุมชน

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยออกแบบและสร้างเครื่องแก้วกาแพของ รัฐศักดิ์ พรหมมาศ, (2550) ได้พัฒนาสร้างเครื่องแก้วเมล็ดกาแพสตี โดยออกแบบใช้ถังแก้วขนาดเท่ากับ 300 X 650 มิลลิเมตรที่หมุนอยู่ตลอดเวลาในขณะที่เครื่องทำงาน มีชุดวัดอุณหภูมิภายในถังแก้ว ใช้พัดลมดูดความชื้นภายในถังแก้วขนาดมอเตอร์ 1/3 แรงม้า ใช้ความร้อนจากแก๊ส LPG สามารถแก้วกาแพได้ครั้งละ 5 กิโลกรัม สามารถปรับระดับของอุณหภูมิในการแก้วได้ตั้งแต่ 120 – 300 องศาเซลเซียส สามารถแก้วกาแพได้ทั้งสายพันธุ์อาราบิก้าและสายพันธุ์โรบัสต้า

กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ และคณะ (2564) ได้ศึกษาถึงผลของระดับการแก้วต่อคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของกาแพแก้วโดยใช้เครื่องแก้วสเปาเตดเบด (Spouted Bed Roaster) ที่ให้ความร้อนด้วยชุดความร้อนขนาด 9KW อาศัยพัดลมเป็นตัวพาความร้อน

เข้าสู่ถึงคั่วที่สามารถนำความร้อนส่งผ่านไปยังเมล็ดกาแฟได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว อีกทั้งยังมีระบบไซโคลน (Cyclone) เพื่อดักเก็บฝุ่นที่เกิดจากการคั่ว จากการทดลองพบว่า เมื่อเมล็ดกาแฟได้รับความร้อนในระดับอุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส เมล็ดกาแฟจะเริ่มปริแตก (First Crack) และที่ระดับการคั่วกลางจะได้กาแฟที่มีรสชาติสัมผัสเวลาดื่มที่หอมนุ่ม ซึ่งถือว่าเป็นรสกาแฟที่ดีที่สุด ในขณะที่การคั่วระดับเข้ม จะได้เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ กาแฟจึงมีรสขม ฝาด และมีกลิ่นไหม้ อันเป็นรสชาติที่ไม่พึงประสงค์

มณฑล หมายถึงกลาง (2544) การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงและประเมินผลเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟวัสดุแบบเกลียวสำหรับคั่วเมล็ดกาแฟซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ศึกษาวิธีปฏิบัติ ปัญหาและความต้องการของผู้ผลิตกาแฟรายย่อย โดยศึกษาจากการสัมภาษณ์ผู้ผลิตกาแฟรายย่อยในเขตจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และน่าน การศึกษาและทดสอบเบื้องต้นเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟวัสดุที่ผู้ผลิตกาแฟรายย่อยมีใช้ปัจจุบัน การปรับปรุงเครื่องคั่วกาแฟวัสดุแบบเกลียววัดสำหรับคั่วกาแฟ และการทดสอบประเมินผลเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ ภายหลังจากการปรับปรุง ผลการศึกษามีดังนี้ การคั่วเมล็ดกาแฟมีขั้นตอน คือ การเตรียมวัตถุดิบ การคั่วกาแฟ การบรรจุและการจำหน่ายทุกครั้งเรือนที่ศึกษาจะจ้างแรงงานในการคั่ว บด และบรรจุหีบห่อ โดนขั้นตอนการคั่วเมล็ดกาแฟนั้น นิยมนำเครื่องคั่วโดยการใช้แก๊สมาใช้ในการคั่วเมล็ดกาแฟมากที่สุด แต่มีปัญหาในแง่ของผู้ปฏิบัติงาน คือ ปัญหาจากการสิ้นเปลืองจากการซื้อแก๊สหุงต้มที่เกิดจากการทำงานของเครื่อง เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานต้องการควบคุมการงบประมาณโดยการใช้แก๊สหุงต้มในการคั่วเมล็ดกาแฟ ซึ่งวิธีการนี้ ผู้ปฏิบัติงานได้ผลกระทบจากค่าใช้จ่ายที่สูงทำให้เกิดการสิ้นเปลือง โดยทั่วไปจึงไม่ปรารถนาที่จะคั่วเมล็ดกาแฟ หากสามารถหลีกเลี่ยงได้จากปัญหาดังกล่าวผู้ผลิตการคั่วเมล็ดกาแฟรายย่อย จึงมีความต้องการที่จะปรับปรุงเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้อยู่ แต่ส่วนใหญ่ไม่ทราบว่าจะปรับปรุงอย่างไร รวมทั้งมีความเห็นว่าเป็นการเหมาะสม หากมีเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟแทนการใช้แก๊สหุงต้ม เพราะคาดว่าจะช่วยบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้นได้

โครงการวิจัยของ นิฐิรัตน์ นิมรัชพงษ์ และ ณัฐวัตร ห้วยลึก (2562) ได้ศึกษาการทำงานของเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีค่าวัตต์ของเตาไฟฟ้าแม่เหล็ก 800 วัตต์ ซึ่งพบว่าสามารถใช้คั่วกาแฟได้จริงและใช้เวลาในการคั่ว 13.73 นาที

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้จะแบ่งเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นการออกแบบเพื่อสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟด้วยลมร้อน ส่วนที่สองจะเป็นการทดสอบความสามารถ

ของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟด้วยลมร้อนที่ถูกสร้างขึ้นมาและทดลองการวิจัย หลังจากนั้นสรุปผลการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟด้วยลมร้อนนี้

3.1 การทำงานของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟด้วยลมร้อน

เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟด้วยลมร้อนมีหลักการทำงานคือ เริ่มจากการตั้งค่าอุณหภูมิความร้อนของขดลวดความร้อนขนาด 1,600 วัตต์ โดยใช้พัดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตรทำหน้าที่กระจายความร้อนให้ทั่วถึงภายในถังคั่ว ถังคั่วใช้วัสดุเป็นแผ่นสแตนเลสเกรด 304 หนา 3 มิลลิเมตร รูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 23 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร โดยด้านนอกถังคั่วมีฉนวนความร้อนหุ้มอยู่ และใบกวนเมล็ดกาแฟจะทำงานตลอดเวลาของการคั่ว ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 1/2 แรงม้า ใช้โซ่ส่งกำลังไปยังชุดทดรอบเพื่อให้ใบกวนเมล็ดกาแฟหมุนตลอดเวลาของการคั่วที่ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที กาแฟจะถูกกระจายตามแรงลมออกมาผ่านทางไซโคลน เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟนี้จะทำการทดลองคั่วอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 150 – 180 องศาเซลเซียส

3.2 ลำดับขั้นตอนการวิจัยทดลองมีดังนี้

การคั่วเมล็ดกาแฟจะทำการคั่วอยู่ 3 ระดับ ได้แก่ ระดับคั่วอ่อน, ระดับคั่วกลาง และระดับคั่วเข้ม โดยทำการทดลองคั่วในช่วงอุณหภูมิ 150 – 180 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองเพิ่มอุณหภูมิถึงคั่วทีละ 10 องศาเซลเซียส เมื่อถึงคั่วได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วเริ่มบรรจุเมล็ดกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าลงไปครึ่งละ 2 กิโลกรัม จากนั้นเริ่มทำการจับเวลาของการคั่ว โดยหมั่นคอยสังเกตสีของเมล็ดกาแฟที่เริ่มเปลี่ยนสีเมื่อได้รับความร้อนโดยการแง้มเปิดฝาดังคั่วเพื่อตักนำเอาตัวอย่างเมล็ดกาแฟมาเทียบกับสีของเมล็ดกาแฟตัวอย่าง














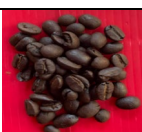
รูปที่ 1 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟด้วยลมร้อน ด้านหน้าและด้านข้างของเครื่องคั่ว

การทดลองงานวิจัยเริ่มจากเปิดเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟด้วยลมร้อน แล้วตั้งค่าอุณหภูมิตามช่วงของการทดลอง ซึ่งจะใช้ระยะเวลาประมาณ 35 – 55 นาที เพื่อให้ถึงคั่วได้รับความร้อนจนถึงระดับอุณหภูมิ 150 – 180 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิในถังคั่วได้รับความร้อนในระดับอุณหภูมิที่ต้องการแล้วเริ่มบรรจุเมล็ดกาแฟลงในถังคั่ว แล้วเริ่มจับเวลาการคั่ว ในระหว่างการคั่วหมั่นสังเกตสีของเมล็ดกาแฟและคอยฟังเสียงการปริแตกของเมล็ดกาแฟ เมื่อคั่วเมล็ดกาแฟได้ระดับสีใกล้เคียงกับสีของเมล็ดกาแฟตัวอย่าง แล้วรีบปิดเครื่องทันที จากนั้นเทเมล็ดกาแฟออกมาแล้วผึ่งด้วยพัดลมให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว เพื่อรักษาคุณภาพของเมล็ดกาแฟ แล้วทำการบันทึกผลการทดลองและสรุปผลการวิจัย

4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟครั้งละ 2 กิโลกรัม การคั่วอยู่ 3 ระดับ ได้แก่ ระดับคั่วอ่อน ระดับคั่วกลาง และระดับคั่วเข้ม ทำการคั่วซ้ำการทดลอง 3 ครั้ง โดยรูปที่ 2 เป็นตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วที่อุณหภูมิ 150 - 180 องศาเซลเซียส ส่วนผลการทดลอง ระยะเวลาการคั่วที่ระดับคั่วอ่อน ระดับคั่วกลางและระดับคั่วเข้ม ที่ทดลองการคั่วอยู่ 4 ระดับอุณหภูมิ ได้แก่ ระดับอุณหภูมิที่ 1 150 °C ระดับอุณหภูมิที่ 2 160 °C ระดับอุณหภูมิที่ 3 170 °C และระดับอุณหภูมิที่ 4 180 °C แสดงในตารางที่ 1 - 4

ตารางที่ 1 ภาพเมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วระดับคั่วอ่อน คั่วกลาง และคั่วเข้ม ในช่วงอุณหภูมิ 150 - 180 °C

อุณหภูมิ (°C)	ระดับการคั่ว		
	คั่วอ่อน	คั่วกลาง	คั่วเข้ม
150			
160			
170			
180			

จากตารางที่ 1 เป็นตารางแสดงการเปรียบเทียบสีของเมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วด้วยเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟด้วยความร้อนที่ระดับการคั่ว 3 ระดับ ได้แก่ ระดับคั่วอ่อน ระดับคั่วกลาง และระดับคั่วเข้ม ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 150 จนถึง 180 องศาเซลเซียส โดยทำการเพิ่มอุณหภูมิการคั่วทีละ 10 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าเมล็ดกาแฟที่คั่วในระดับคั่วอ่อนจะมีลักษณะของสีเป็นสีน้ำตาลอ่อน จากนั้นเมื่อเมล็ดกาแฟได้รับความร้อนที่สูงมากขึ้นจะเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแดง ผิวเมล็ดกาแฟเริ่มดูเป็นผิวมันวาวเล็กน้อย และเมื่อทำการคั่วต่อไปอีกสีของเมล็ดกาแฟก็จะเริ่มเข้าสู่สีน้ำตาลเข้มไหม้หรือสีน้ำตาลแกมดำแต่ที่ผิวเมล็ดกาแฟยังคงมีความมันวาวที่ผิวด้านนอกอยู่

ตารางที่ 2 เวลาการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟระดับคั่วอ่อน ในช่วงอุณหภูมิ 150 – 180 องศาเซลเซียส

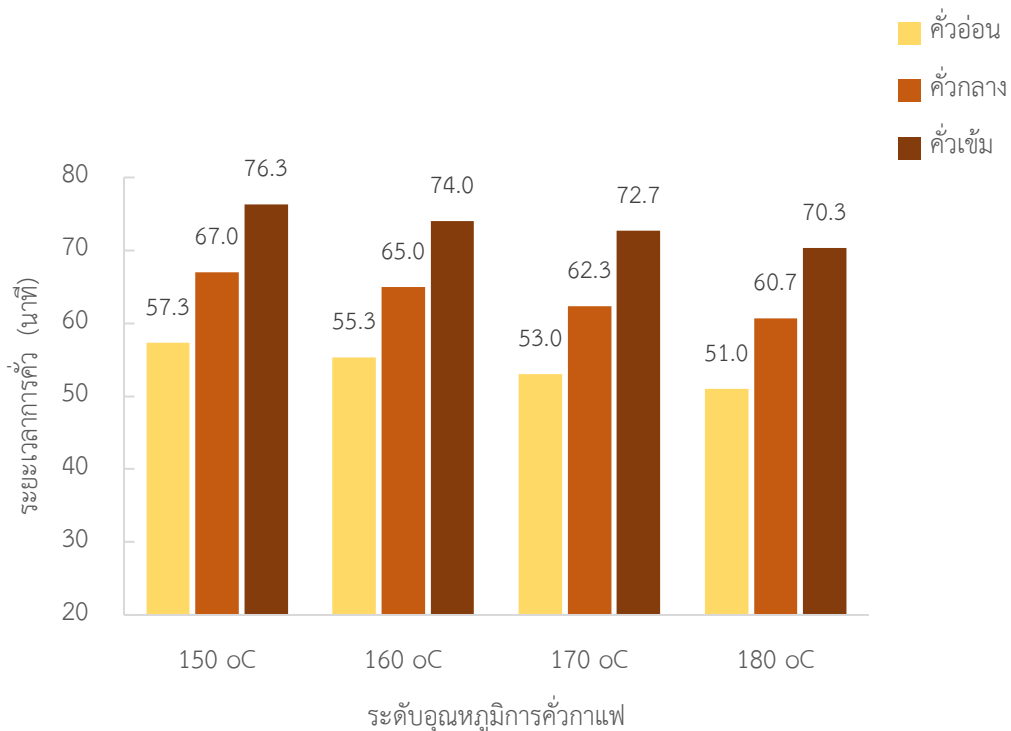
ลำดับการคั่ว	ระดับอุณหภูมิการคั่วอ่อน (องศาเซลเซียส)			
	150	160	170	180
1	57	55	53	52
2	59	56	54	51
3	56	55	52	50
ค่าเฉลี่ย (นาที)	57.3	55.3	53.0	51.0

ตารางที่ 3 ระยะเวลาการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟระดับคั่วกลาง ในช่วงอุณหภูมิ 150 – 180 องศาเซลเซียส

ลำดับการคั่ว	ระดับอุณหภูมิการคั่วกลาง (องศาเซลเซียส)			
	150	160	170	180
1	67	65	62	61
2	67	65	63	60
3	67	65	62	61
ค่าเฉลี่ย (นาที)	67.0	65.0	62.3	60.7

ตารางที่ 4 ระยะเวลาการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟระดับคั่วเข้ม ในช่วงอุณหภูมิ 150 – 180 องศาเซลเซียส

ลำดับการคั่ว	ระดับอุณหภูมิการคั่วเข้ม (องศาเซลเซียส)			
	150	160	170	180
1	77	74	72	71
2	77	74	73	70
3	75	74	73	70
ค่าเฉลี่ย (นาที)	76.3	74.0	72.7	70.3



กราฟที่ 1 ระยะเวลาที่ใช้ในการคั่วเมล็ดกาแฟในช่วงอุณหภูมิ 150 – 180 องศาเซลเซียส

จากตารางผลการทดลองที่ 2 แสดงระดับการคั่วเมล็ดกาแฟที่ระดับการคั่วอ่อน ตั้งแต่ อุณหภูมิ 150 – 180 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในการคั่วจะค่อยๆ เริ่มใช้ระยะเวลาในการคั่วที่ลดลงซึ่งก็สอดคล้องกับผลการทดลองของ ไชยเชษฐ์ กริบบาง และ พิระพงษ์ วงดารา (2563) โดยใช้ระยะเวลาเฉลี่ยในการคั่วอ่อนอยู่ที่เวลานาน 57.3, 55.3, 53.0 และ 51.0 นาที ที่ระดับอุณหภูมิ 150, 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนตาราง ที่ 3 ระดับการคั่วเมล็ดกาแฟแบบคั่วกลางใช้ระยะเวลาเฉลี่ยในการคั่วมากกว่าการคั่วระดับคั่วอ่อน อยู่ที่เวลาเฉลี่ยนาน 67.0, 65.0, 62.3 และ 60.7 นาที ที่ระดับอุณหภูมิ 150, 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และตารางที่ 4 การคั่วระดับคั่วเข้มก็ยังคงมีทิศทางการใช้ระยะเวลา เฉลี่ยในการคั่วมากกว่าการคั่วระดับคั่วอ่อนกับการคั่วระดับคั่วกลางอยู่ที่ใช้เวลานานถึง 76.3, 74.0, 72.7 และ 70.3 นาที ที่ระดับอุณหภูมิ 150, 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เมื่อนำผลการทดลองที่ คั่วทั้ง 3 ระดับ คือ คั่วระดับคั่วอ่อน ระดับคั่วกลาง และระดับคั่วเข้มมาทำการพล็อตกราฟดังกราฟที่ 1 จะพบว่าการคั่วเมล็ดกาแฟ เมื่อต้องใช้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้เมล็ดกาแฟได้รับความร้อนจนสุกมากขึ้นเพื่อให้เมล็ดกาแฟเปลี่ยน สีจากสีเขียวอ่อนไปจนเป็นสีน้ำตาลแดงและสุดท้ายเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลไหม้ นั้น

จำเป็นต้องใช้ความร้อนที่สูงขึ้นทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการคั่วที่นานขึ้นทุกระดับของอุณหภูมิที่ทำการทดลอง 150, 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส แต่เมื่อมีการปรับเพิ่มระดับอุณหภูมิของการคั่วจาก 150 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายของการทดสอบที่ 180 องศาเซลเซียสนั้นกลับพบว่า จะใช้ระยะเวลาในการคั่วกาแฟที่ลดลงจากระดับการคั่วอ่อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการคั่วประมาณ 57.3 นาที จะลดลงเหลือระยะเวลาการคั่วอ่อนเพียง 55.3, 53.0 และ 51.0 นาที ตามลำดับ เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส สำหรับการทดลองคั่วที่ระดับคั่วกลาง ก็ยังคงมีทิศทางลดลงของระยะเวลาการคั่วเป็นลักษณะแบบเดียวกันกับการคั่วอ่อน นั่นคือลดระยะเวลาเฉลี่ยในการคั่วลงมาเหลือเพียง 67.0, 65.0, 62.3 และ 60.7 นาที และการคั่วระดับคั่วเข้มก็มีการลดลงเหลือระยะเวลาเฉลี่ยการคั่วเพียงแค่ 76.3, 74.0, 72.7 และ 70.3 นาที ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละระดับที่ใช้ระยะเวลาลดลงนั้นคิดเป็นร้อยละ 1.5 – 3

เมื่อพิจารณาการเลือกใช้ค่าอุณหภูมิของการคั่วเมล็ดกาแฟจากการทดลองนี้จะพบว่าที่อุณหภูมิคั่ว 180 องศาเซลเซียสจะใช้ระยะเวลาในการคั่วที่สั้นที่สุด โดยใช้ระยะเวลาเฉลี่ยการคั่วระดับคั่วอ่อน 51.0 นาที ใช้ระยะเวลาเฉลี่ยคั่วที่ระดับคั่วกลาง 60.7 นาที และใช้ระยะเวลาเฉลี่ยคั่วเข้มนาน 70.3 นาที ตามลำดับ และเมื่อมีการเพิ่มระดับการคั่วจากการคั่วอ่อนให้ได้ระดับการคั่วกลางและระดับคั่วเข้มจะใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นอีก 9 และ 10 นาที คิดเป็นระยะเวลาเพิ่มขึ้น 16.4% และ 12.8 % ตามลำดับ

5. สรุปและอภิปรายผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟโดยลมร้อนที่ใช้ต้นพลังความร้อนจากขดลวดความร้อนขนาด 1,600 วัตต์ โดยถึงคั่วใช้วัสดุเป็นแผ่นสแตนเลสเกรด 304 หนา 3 มิลลิเมตร รูปทรงระบอกรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 23 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร โดยด้านนอกถึงคั่วมีฉนวนความร้อนหุ้มอยู่ มีหัววัดอุณหภูมิอยู่ภายในถึงคั่ว และในถึงคั่วมีใบกวนที่หมุนทำงานตลอดเวลาที่ทำการคั่วที่ความเร็ว 30 รอบ/นาที เพื่อกวนให้เมล็ดกาแฟได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ

ทดลองคั่วเมล็ดกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าครั้งละ 2 กิโลกรัม ทำการคั่วเมล็ดกาแฟให้สุกใน 3 ระดับ ได้แก่ ระดับคั่วอ่อน, ระดับคั่วกลาง และระดับคั่วเข้ม ทดลองการคั่วอยู่ 4 ระดับอุณหภูมิ ได้แก่ ระดับอุณหภูมิที่ 1 150 °C ระดับอุณหภูมิที่ 2 160 °C ระดับอุณหภูมิที่ 3 170 °C และระดับอุณหภูมิที่ 4 180 °C ทำการคั่วซ้ำการทดลอง 3 ครั้ง

ผลการทดลองสรุปได้อยู่ 2 ลักษณะ คือ เมื่อต้องคั่วเมล็ดกาแฟจากระดับคั่วอ่อนให้ได้ระดับการคั่วกลางและระดับการคั่วเข้มนั้น จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการคั่วที่นานมากขึ้น

เนื่องจากเมล็ดกาแฟจำเป็นต้องได้รับความร้อนเพื่อให้เปลี่ยนสีจากสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีน้ำตาลอ่อนและเปลี่ยนสีครั้งสุดท้ายก่อนที่จะไหม้ดำเป็นสีน้ำตาลเข้ม และผลการทดลองที่ทุกระดับของการคั่วซึ่งก็คือ ระดับคั่วอ่อน ระดับคั่วกลางและระดับคั่วเข้ม นั้นจะพบว่าการคั่วเมล็ดกาแฟที่อุณหภูมิคั่ว 180 องศาเซลเซียสจะใช้ระยะเวลาในการคั่วที่สั้นที่สุด โดยใช้ระยะเวลาการคั่วระดับคั่วอ่อน 51.0 นาที ใช้ระยะเวลาคั่วที่ระดับคั่วกลาง 60.7 นาที และใช้ระยะเวลาคั่วเข้มนาน 70.3 นาที ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาในการคั่วที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้เมล็ดกาแฟได้รับความร้อนที่สูงขึ้นจากระดับคั่วอ่อนเข้าสู่ระดับการคั่วกลางและระดับคั่วเข้มนั้น ใช้ระยะเวลาคั่วนานเพิ่มขึ้นเป็น 9 นาที และ 10 นาที คิดเป็นระยะเวลาการคั่วนานเพิ่มขึ้น 16.4% และ 12.8 % ตามลำดับ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนและเครื่องมือในโครงการจากสาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่ และคณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิศวกรรมการผลิต ที่ให้การสนับสนุนการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์, สุขน ทรัพย์สิงห์, เอกภูมิ บุญธรรม และ ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์. (2564). ผลของระดับการคั่วต่อคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของกาแฟคั่วโดยใช้เครื่องคั่วสเปาเตดเบด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 39(5), 551 – 559.
- ไชยเชษฐ์ กรีบาง และ พีระพงษ์ วงดารา. (2563). การพัฒนาเครื่องคั่วกาแฟโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์. (การค้นคว้าอิสระปริญญาโท). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสยาม.
- ฐิติรัตน์ ลิ้มรัชพงษ์, และ ญัฐวัตร ห้วยลึก. (2562). การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการคั่วเมล็ดกาแฟ, (การค้นคว้าอิสระปริญญาโท). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- นิฐิรัตน์ นิर्मัชพงษ์ และ ญัฐวัตร ห้วยลึก. (2562). (การค้นคว้าอิสระปริญญาโท). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- รัฐศักดิ์ พรหมมาศ. (2550). เครื่องคั่วกาแฟสดแบบอัตโนมัติ. (การค้นคว้าอิสระปริญญาโท). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี.

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์

อดิเรก ชัยนวกุล* และ ศุภชัย อัครนรากุล

วิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
128 ถ.ช่วยแก้ว ต.ช่างเผือก อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

*adirake@rmutl.ac.th, 0 5392 1444 ต่อ 2310

บทคัดย่อ

แม่พิมพ์มีบทบาทที่สำคัญต่อการผลิตจำนวนมากโดยการทำให้ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยลดลง ซึ่งแม่พิมพ์สามารถแบ่งแยกได้หลายประเภทตามวัสดุที่ทำการขึ้นรูป เช่น การผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ ผลิตภัณฑ์พลาสติกผลิตภัณฑ์ยาง และอื่นๆ การผลิตแม่พิมพ์นั้น จะต้องมีความถูกต้องและแม่นยำสูง เนื่องจากแม่พิมพ์แต่ละชนิดมีชิ้นส่วนต่างๆ ประกอบกันมากมาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบอย่างละเอียด อย่างไรก็ตามการตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์นั้นทำได้ยากเนื่องจากแม่พิมพ์มีน้ำหนักค่อนข้างมากและใช้เวลานานเนื่องจากชิ้นส่วนประกอบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความรู้ ความชำนาญและประสบการณ์ของบุคลากรด้านแม่พิมพ์ด้วย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบอุปกรณ์ช่วยปรับแต่งแม่พิมพ์ โดยออกแบบให้มีเพลลาเกลียวส่งกำลังขนาด M32x3 มิลลิเมตร และใช้ความเร็วรอบเฉลี่ยอยู่ที่ 44.65 รอบต่อนาที จากการทดสอบพบว่าอุปกรณ์ต้นแบบช่วยปรับแต่งแม่พิมพ์สามารถยกแผ่นเพลทแม่พิมพ์ขึ้นลงได้ในระยะเคลื่อนที่ขึ้นสูงสุด 500 มิลลิเมตร ใช้เวลาเฉลี่ย 1 นาที อัตราเคลื่อนที่ 7.8 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะเคลื่อนที่ลงสูงสุด 330 มิลลิเมตร ใช้เวลาเฉลี่ย 1 นาที อัตราเคลื่อนที่ 5.2 มิลลิเมตรต่อวินาที ค่าความตรงขอบแผ่นยึดด้านบน วัดค่าได้ 0.105 มิลลิเมตร และด้านล่างวัดค่าได้ 0.08 มิลลิเมตร

คำสำคัญ การผลิตจำนวนมาก, การตรวจสอบและการปรับแต่งแม่พิมพ์, อุปกรณ์ต้นแบบช่วยปรับแต่งแม่พิมพ์

Design and Prototyping of Mould/Die Customization Equipment

Adirake Chainawakul* and Supachai Aukaranarakul

Tools and Die Engineering, Industrial Engineering Department,
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna,
128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

*adirake@rmutl.ac.th, +66 5392 1444 ext. 2310

Abstract

Mould and dies play an important role in mass production to reduce average unit cost. They can be divided into several types according to the material forming, such as metal, plastic, rubber, etc. Mould/Die manufacturing must be accurate and precise due to each type of mould/die having different assembled parts. Therefore, a thorough investigation is required. However, it is difficult to inspect and fit the mould/die due to its heavy weight and time-consuming assembling process. It depends on know-how, expertise, and experience of the mould/die workers. The purpose of this research is to design and construct a prototype mould/die customization equipment that has an M32x3 mm power transmission shaft and an average speed of 44.65 rev/min. By testing, it was found that the mould/die adjusting device was able to lift the mould/die plate up and down. A maximum moving up distance was 500 mm within an average of 1 min and moving rate was 7.8 mm/s. The maximum moving down distance was 330 mm, within an average of 1 min, and moving rate was 5.2 mm/s. The edge straightness of the top mounting plate can be measured at 0.105 mm and the bottom plate can be measured at 0.08 mm.

Keywords: Mass production, Mould/die inspection and fitting, Prototyping of mould/die customization equipment

1. บทนำ

การผลิตสินค้าและผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมจำเป็นต้องใช้แม่พิมพ์รูปแบบต่างๆ เข้ามาช่วยในการผลิต เช่น ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนของใช้ครัวเรือน เป็นต้น ในการสร้างแม่พิมพ์แต่ละแบบมีความซับซ้อนและต้องการเวลามากในการออกแบบและผลิต จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนตั้งแต่การออกแบบไปจนถึงการผลิต เมื่อแล้วเสร็จ ก็ต้องมีการทดสอบแม่พิมพ์ ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์มีหลายปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง เช่น การหาแรงในการกดอัด ความเค้น ความเครียดของชิ้นส่วนรับแรง เป็นต้น เมื่อทำการตรวจสอบและยืนยันแบบเป็นที่เรียบร้อยแล้วจึงทำการสั่งผลิต จากนั้นเมื่อได้แม่พิมพ์ที่ต้องการแล้วจึงนำแม่พิมพ์ขึ้นทำการฉีดหรือขึ้นรูปชิ้นส่วน/ผลิตภัณฑ์ แต่ก่อนที่จะขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์นั้นจำเป็นต้องทำการตรวจสอบแม่พิมพ์เพื่อหาความผิดพลาดแล้วทำการปรับแต่งแม่พิมพ์ เช่น ความผิดพลาดในการปิดแม่พิมพ์ ความผิดพลาดจากชิ้นส่วนแม่พิมพ์ประกอบ และชิ้นงานบางชิ้นอาจมีความซับซ้อนเกินกว่าที่จะตรวจสอบด้วยตาได้ เนื่องจากขณะที่แม่พิมพ์ปิดจะไม่สามารถเห็นชิ้นส่วนภายในแม่พิมพ์ได้ ดังนั้น การลดเวลาในการผลิตแม่พิมพ์ตั้งแต่เริ่มออกแบบจนถึงการตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์จึงมีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตสินค้าอย่างมาก ปัญหาหลักที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ แม่พิมพ์มีน้ำหนักที่ค่อนข้างมากและมีชิ้นส่วนประกอบจำนวนมากเช่นกัน จึงทำให้ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถหรือไม่สะดวกต่อการใช้แรงในการยก ถอดประกอบ ทั้งนี้ยังเป็นอันตรายต่อการปฏิบัติงานด้านแม่พิมพ์ ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของอุปกรณ์ที่สามารถช่วยงานในการตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์ โดยสามารถลดภาระด้านกำลังคน มีความปลอดภัย ถูกต้องแม่นยำ และเวลาในการปรับแต่งแม่พิมพ์ได้ จึงได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบให้มีขนาดเหมาะสำหรับการใช้งานโดยเริ่มทดลองใช้ในหลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อให้การตรวจสอบแม่พิมพ์ก่อนขึ้นฉีดหรือปั๊มขึ้นรูปโลหะแผ่น และเพื่อใช้ในการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งยังเป็นประโยชน์แก่นักศึกษาหรือผู้สนใจในเรื่องของการตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์ โดยจะแสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อไปในบทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย และผลการวิจัยในบทที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ในท้ายที่สุดบทที่ 5 คือการสรุปและอภิปรายผล

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

อุตสาหกรรมแม่พิมพ์ เป็นอุตสาหกรรมสนับสนุน (Supporting Industry) หรืออุตสาหกรรมกลางน้ำที่รองรับอุตสาหกรรมการผลิตที่สำคัญเกือบทุกประเภท เนื่องจากการผลิตสินค้าหลายสาขาจำเป็นต้องอาศัยแม่พิมพ์ (Mould and Die) ในการขึ้นรูป

และกำหนดรูปร่างผลิตภัณฑ์ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและขนาดตามความต้องการทั้งสิ้น จึงอาจกล่าวได้ว่า อุตสาหกรรมแม่พิมพ์เป็นอุตสาหกรรมที่เชื่อมโยงอุตสาหกรรมอื่นๆ โดยแม่พิมพ์ที่ดีจะส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตสามารถผลิตชิ้นส่วนได้อย่างรวดเร็วเป็นจำนวนมาก มีรูปร่างและขนาดได้มาตรฐาน รวมทั้งลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ส่งผลต่อความได้เปรียบในการแข่งขันของอุตสาหกรรมการผลิตที่เกี่ยวข้องอีกด้วย ปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์ยังมีน้อยมากหรือมีการผลิตออกมาแล้วแต่ไม่มีการเปิดเผยข้อมูลเนื่องจากเป็นองค์ความรู้ของบริษัทผู้ผลิต ผู้วิจัยจึงออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์ให้มีขนาดและประสิทธิภาพในการทำงานเหมาะสมกับแม่พิมพ์ขนาดเล็กถึงกลาง บนพื้นฐานความรู้และหลักการ ทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 การขัดแม่พิมพ์และฟิตติ้งแม่พิมพ์ (Polishing และ Fitting Mould)

ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกประกอบไปด้วยกระบวนการที่หลากหลาย รวมถึงขั้นตอนการบำรุงรักษาเครื่องจักรและชิ้นส่วนต่างๆ นั้น การบำรุงรักษาแม่พิมพ์หลังจากที่เริ่มผลิตไปแล้วระยะหนึ่งก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ช่วยรักษามาตรฐานคุณภาพชิ้นงานที่ฉีดออกมาได้ เนื่องจากแม่พิมพ์และชิ้นส่วนต่างๆ ที่ถูกใช้งานอย่างต่อเนื่องอาจเกิดความเสียหายและสึกหรอ จึงมีความจำเป็นที่ต้องซ่อมแซม ต่อเติมส่วนที่เสียหายและสึกหรอนั้นๆ โดยหลังจากที่ได้มีการซ่อมแซมหรือต่อเติมส่วนที่เสียหายแล้วนั้น การขัดผิวแม่พิมพ์ และการฟิตติ้งถือเป็นอีกหนึ่งขั้นตอนสำคัญที่จะทำให้ชิ้นงานที่ฉีดออกมายังคงรักษามาตรฐานคุณภาพได้

2.1.1 การขัดผิวแม่พิมพ์ (Polishing) และการตรวจสอบผิว (Surface Inspection)

เป็นการตกแต่งผิวของแม่พิมพ์ให้มีความเรียบเนียน เงาม หรือเป็นการกำจัดหรือลบผิวส่วนที่ไม่ต้องการหรือส่วนเกินออก ซึ่งในกรณีที่เป็นชิ้นส่วนภายใน (Insert) จะต้องมี การขัดผิว (Surface) ของงานที่ถูกฉีดออกมานั้นมีผิวเรียบเนียนได้ผิวและรูปร่างตามแบบ การขัดแม่พิมพ์เพื่อให้ได้พื้นผิวคุณภาพสูงเป็นกระบวนการสำคัญที่ต้องใช้เทคนิคเฉพาะความเอาใจใส่อย่างระมัดระวัง และการเลือกเครื่องมือขัดที่เหมาะสม การขัดแม่พิมพ์เป็นงานที่ต้องเรียนรู้ และฝึกฝนเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการในเวลาอันสั้นที่สุด การขัด เป็นทักษะที่ใช้อย่างระมัดระวัง ซึ่งส่งผลให้พื้นผิวเป็นเงา ด้วยค่าความคลาดเคลื่อนที่เข้มงวด ในปัจจุบันการขัดแม่พิมพ์ที่มีคุณภาพจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อชิ้นงานของแม่พิมพ์ฉีด เพื่อช่วยให้แน่ใจว่างานเสร็จอย่างรวดเร็วและถูกต้อง

2.1.2 การติดตั้งแม่พิมพ์และการถอดและประกอบแม่พิมพ์ (Mould Fitting and Assembly)

เป็นขั้นตอนการเก็บงานเพื่อให้สามารถประกอบแม่พิมพ์ โดยการติดตั้งจะเป็นการเก็บส่วนเกินของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ที่ไม่สามารถประกอบเข้ากับชิ้นส่วนอื่นๆ ได้พอดี ซึ่งจะใช้การตัดแต่งผิว การขัดผิว หรือการลบคมของชิ้นส่วนนั้นๆ ออกไป เพื่อให้สามารถประกอบเข้ากับส่วนอื่นๆ ได้อย่างพอดี การประกอบแม่พิมพ์เป็นหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญที่สุด ของกระบวนการทำแม่พิมพ์ โดยทุกชิ้นส่วนจะต้องประกอบเข้าด้วยกัน งานประกอบแม่พิมพ์ต้องมีความเข้าใจที่ครอบคลุมของโครงสร้างแม่พิมพ์เช่นเดียวกับการฉีดขึ้นรูป คุณภาพของการประกอบแม่พิมพ์จะเป็นตัวกำหนดความแม่นยำของแม่พิมพ์และความสามารถในการผลิตในการฉีด

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์ ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลและปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้กันในอุตสาหกรรม โดยเริ่มวางแผนตั้งแต่การศึกษาหลักการการทำงานของเครื่อง จากนั้นออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่เรียบง่ายและสามารถใช้งานได้จริง ดังภาพที่ 1

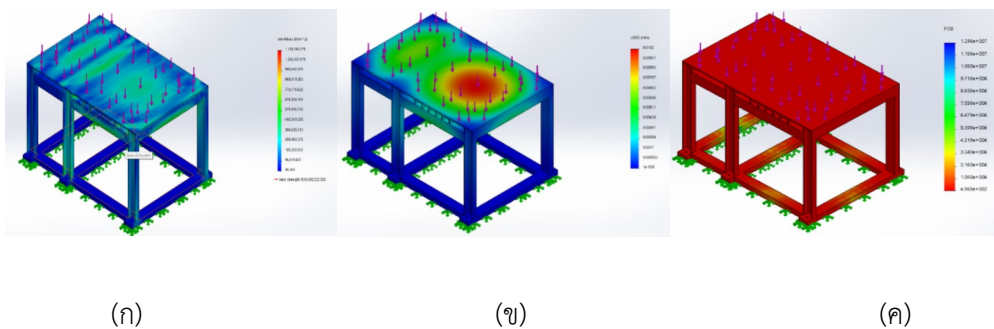


ภาพที่ 1 อุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์

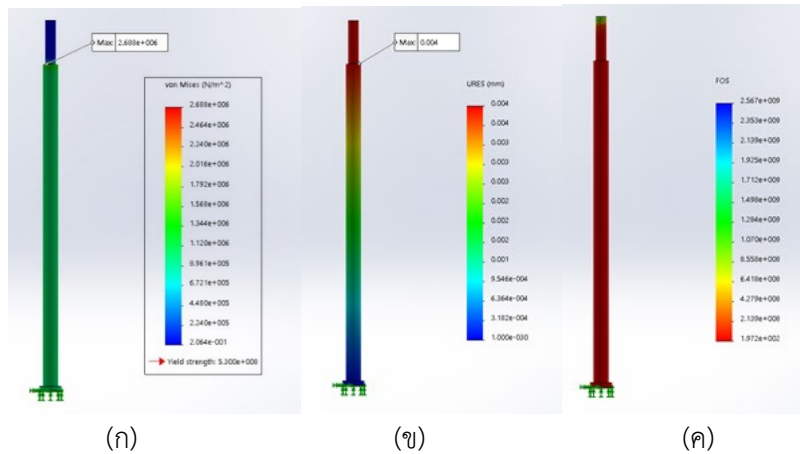
3.1 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์

3.1.1 ออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์และเหล็กเพลานำด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element methodology) รวมถึงการคำนวณเพื่อเลือกใช้ชิ้นส่วนมาตรฐานต่างๆ เช่น ขนาดเฟืองส่งกำลัง กำลังมอเตอร์ และความเร็รรอบ โดยเลือกใช้เหล็กทรงซี (C-Beam) ขนาด 50x25 มิลลิเมตร เพื่อใช้เป็นโครงสร้างของอุปกรณ์ โดยทำการวิเคราะห์โครงสร้างในรูปของ ค่าความเค้น (Von Mises Stress) การเสียรูป (Deformation) ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) จากการวิเคราะห์ค่าความเค้น (Von Mises Stress) ของโครงสร้างอุปกรณ์โดยกำหนดวัสดุเป็นเหล็ก S50C จากภาพที่ 2 (ก) จะเห็นว่าค่าความเค้นของโครงสร้างอุปกรณ์โดยรวมเป็นสีน้ำเงินและจุดที่รับแรงมากที่สุดคือพื้นที่สีเขียวเมื่อนำมาเทียบกับแถบสีด้านข้างจะมีค่าอยู่ที่ 1,159 นิวตัน/ตารางเซนติเมตร จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าการเสียรูป (Deformation) ของโครงสร้างอุปกรณ์ โดยกำหนดวัสดุเป็นเหล็ก S50C เช่นกัน

จากภาพที่ 2 (ข) จะเห็นว่าค่าความเสียรูปของโครงเครื่องโดยรวมเป็นสีน้ำเงินและจุดที่รับแรงมากที่สุดคือพื้นที่สีแดงเมื่อนำมาเทียบกับแถบสีด้านข้างจะมีค่าอยู่ที่ 0.0102 มิลลิเมตร จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ซึ่งภาพที่ 2 (ค) แสดงค่าความปลอดภัยของโครงสร้างอุปกรณ์โดยรวมเป็นสีแดงเมื่อนำมาเทียบกับแถบสีด้านข้างจะได้ค่าอยู่ที่ 5 เท่า



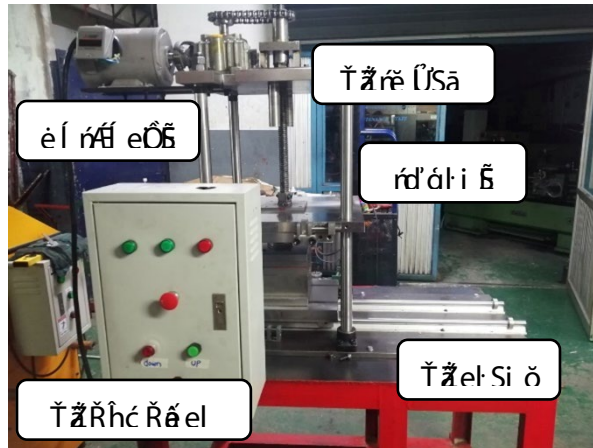
ภาพที่ 2(ก) ค่าความเค้นของโครงสร้าง (ข) ค่าการเสียรูปของโครงสร้าง
(ค) ค่าความปลอดภัยของโครงสร้าง



ภาพที่ 3 (ก) ค่าความเค้นของเพลาน้ำ (ข) ค่าการเสียรูปของเพลาน้ำ
(ค) ค่าความปลอดภัยของเพลาน้ำ

ภาพที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเค้น (Von Mises Stress) การเสียรูป (Deformation) ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ของเพลาน้ำ จากภาพที่ 3 (ก) จะเห็นว่าค่าความเค้นของเพลาน้ำมีจุดที่รับแรงมากที่สุดคือพื้นที่สีน้ำเงิน เมื่อนำมาเทียบกับแถบสีด้านข้างจะมีค่าอยู่ที่ 2.6 นิวตัน/ตารางเซนติเมตร ภาพที่ 3 (ข) จะเห็นว่าค่าความเสียรูปของเพลาน้ำมีจุดที่รับแรงมากที่สุดคือพื้นที่สีแดง เมื่อนำมาเทียบกับแถบสีด้านข้างจะมีค่าอยู่ที่ 0.004 มิลลิเมตร และค่าความปลอดภัยของเพลาน้ำมีจุดที่รับแรงมากที่สุดคือพื้นที่สีแดง เมื่อนำมาเทียบกับแถบสีด้านข้างจะมีค่าอยู่ที่ 1.9 เท่า ดังภาพที่ 3 (ค)

3.3.2 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์ หลังจากออกแบบและวิเคราะห์ผลค่าความทนทานทางกายภาพและคำนวณเพื่อเลือกใช้ชิ้นส่วนมาตรฐาน เช่น ขนาดเฟืองส่งกำลัง กำลังมอเตอร์ และความเร็วรอบแล้ว จึงทำการสร้างอุปกรณ์ตามการออกแบบเครื่องจักรกล CNC และคอมพิวเตอร์ช่วยในงานผลิต (CAM) ส่วนประกอบหลักสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4 และส่วนประกอบทั้งหมดจะแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบหลักอุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์

3.1.2 การคำนวณขนาดสกรูส่งกำลังและความเร็วรอบ

เลือกใช้สกรูเกลียวกำลังเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 32 มิลลิเมตร ซึ่งจะได้ค่า k จากการคำนวณเท่ากับ 7.124 มม. เมื่อหาอัตราส่วนความเพียวจากสมการ L_e/k มีค่าเท่ากับ 119.31 ซึ่งมากกว่า 110 จากสมการของออยเลอร์ ($L_e/k > 110$) ดังนั้นจึงต้องตรวจสอบน้ำหนักที่สกรูสามารถรับได้จากสมการ

$$W = \frac{\pi^2 EI}{NL_e^2} \quad (1)$$

เมื่อ $I = \pi(28.5)^4/64 = 32,385.40$ มม.⁴, $E = 207,000$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร (ค่าคงที่ทางกายภาพของ Carbon steel) แทนค่าในสมการที่ (1) จะได้น้ำหนักที่สกรูสามารถทนทานได้คือ 3,056 กิโลกรัม จากนั้นทำการคำนวณความเร็วรอบจากสมการ

$$N_2 = \frac{N_1 \times D_1}{D_2} \quad (2)$$

เมื่อ $D_1 =$ พูลเลย์ขับ, $D_2 =$ พูลเลย์ตาม, $N_1 =$ ความเร็วรอบมอเตอร์ (รอบ/นาที) แทนค่าในสมการที่ (2) จะได้ความเร็วรอบ 893 รอบ/นาที เนื่องจากมีความเร็วรอบที่สูงซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นจึงมีการเลือกใช้ความเร็วรอบที่อัตราทดรอบ 1:20 ซึ่งจะได้ความเร็วรอบใช้งานจริงเท่ากับ 44.65 รอบ/นาที

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบอุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์

รายการ	วัสดุและขนาด	หน่วย
โครงสร้างอุปกรณ์	<input type="checkbox"/> 1125 x 760 x 750	มิลลิเมตร
ขนาดแม่พิมพ์ที่ใช้กับเครื่อง	<input type="checkbox"/> 250 x 300	มิลลิเมตร
แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านบน	<input type="checkbox"/> 500 x 320	มิลลิเมตร
แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านล่าง	<input type="checkbox"/> 350 x 300	มิลลิเมตร
เพลาน้ำ	Ø35 x 850 วัสดุเหล็ก S50C	มิลลิเมตร
รางสไลด์	Ø20 x 1000	มิลลิเมตร
ระยะไทร์บาร์	365.75	มิลลิเมตร
เพลากेतีสองส่งกำลัง	เกตีสี่เหลี่ยมคางหมู M32 ระยะพิตซ์ 3 ยาว 1,000	มิลลิเมตร
การจับยึดแม่พิมพ์	สตีปแคลมป์ แบบร่องสล๊อตที่	-
ตัวกำหนดตำแหน่ง (Stopper)	เพลากันแผ่นชนด้านบน 2 ตัว ตัวล็อกแผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านล่าง 4 ตัว	-
มอเตอร์	Hz50 V220 A5.9 ความเร็วรอบ 1430 PF 0.82 ทดรอบ 1:20 รอบ	โวลต์

4. ผลการวิจัย

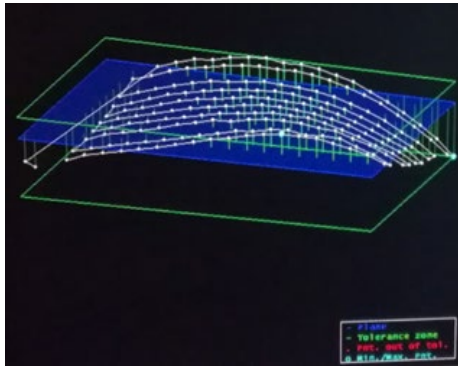
หลังจากสร้างอุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์เสร็จสมบูรณ์แล้ว จึงได้ทำการทดลองการทำงานเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์และเพื่อตรวจสอบหาความสามารถของอุปกรณ์ต้นแบบ โดยแบ่งขั้นตอนการทดสอบดังนี้

4.1 ตรวจสอบค่าความตรง

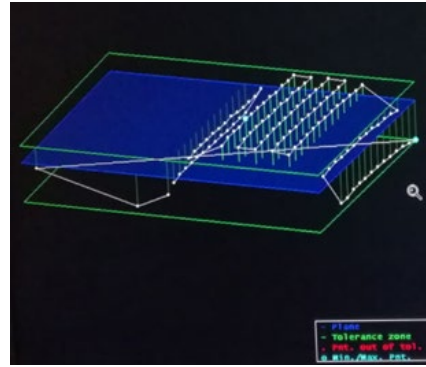
ทำการตรวจสอบวัดขนาดตามจุดที่กำหนดไว้ โดยทำการตรวจสอบขนาดของแผ่นยึดทั้ง 2 แผ่น และเสาประคองแผ่นโดยใช้เครื่องตรวจสอบพิกัด CMM ในการตรวจสอบได้ผลดังต่อไปนี้

4.1.1 การตรวจสอบแผ่นยึดด้านบนและล่าง

จากการวัดค่าความตรง แผ่นยึดด้านบนวัดได้ 0.105 มม. โดยค่าต่ำสุดอยู่ที่ -0.077 มม. และค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.028 มม. สำหรับแผ่นยึดด้านล่าง ค่าที่วัดได้ คือ 0.08 มม. ซึ่งค่าต่ำสุดอยู่ที่ -0.055 มม. และค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.025 มม. ดังภาพที่ 5 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 5 (ก) การตรวจสอบวัดค่าความตรงแผ่นยึดด้านบน

(ข) การตรวจสอบวัดค่าความตรงแผ่นยึดด้านล่าง

4.2 ตรวจสอบขนาดของไทร์บาร์

จากการตรวจสอบเพลานำหรือไทร์บาร์ จะเห็นได้ว่าชิ้นที่วัดค่าได้ในแต่ละจุดไม่เท่ากันแต่ยังอยู่ในพิสัยความเผื่อ ดังนั้นการเปรียบเทียบของขนาดชิ้นส่วนที่ออกแบบและขนาดชิ้นส่วนที่สร้างจึงอยู่ในพิสัยทั้งหมดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบจุดตรวจของเพลาน้ำ (ไทร์บาร์) หน่วย: มิลลิเมตร

จุดตรวจวัด	ขนาด \emptyset ที่ออกแบบ	ความยาวที่ออก แบบ (มม.)	ค่าพิกัดความ คลาดเคลื่อน (มม.)	ขนาดชิ้นส่วน ที่วัดจริงครั้งที่ 1 (มม.)	ขนาดชิ้นส่วน ที่วัดจริงครั้งที่ 2 (มม.)	ขนาดชิ้นส่วน ที่วัดจริงครั้งที่ 3 (มม.)	ขนาดชิ้นส่วน ที่วัดจริงครั้งที่ 4 (มม.)	หมายเหตุ
A	35	850	± 0.05	35.05	34.99	34.98	850.02	อยู่ในพิกัด
B	35	850	± 0.05	35.00	34.95	34.98	849.98	อยู่ในพิกัด
C	35	850	± 0.05	34.99	35.05	34.99	849.97	อยู่ในพิกัด
D	35	850	± 0.05	35.05	34.99	35.01	850	อยู่ในพิกัด

4.3 ตรวจสอบความกว้างของไทร์บาร์

การตรวจสอบความกว้างระหว่างเสาของเพลาน้ำ (ไทร์บาร์) แต่ละจุด จะเห็นได้ว่า ระยะระหว่างเสาบางจุดบีบเข้าหากัน เมื่อทำการทดสอบแผ่นให้เคลื่อนที่ขึ้นลงหลายๆ ครั้ง ทำให้แผ่นแต่ละมุมขึ้นไม่เท่ากันจึงเกิดการติดขัดบ้างเล็กน้อยจึงได้ทำการแก้ไขปรับแต่งให้สามารถใช้งานได้อย่างไม่ติดขัด

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความกว้างระหว่างเสาของของเพลาน้ำ (ไทร์บาร์) หน่วย: มิลลิเมตร

จุดตรวจวัด	ขนาดความกว้างที่วัด		
	จริง ครั้งที่ 1	จริง ครั้งที่ 2	จริง ครั้งที่ 3
A – B	365.85	365.70	365.85
B – C	365.90	365.90	365.70
C – D	365.80	365.80	365.10
D – A	365.80	365.90	365.75

4.4 ตรวจสอบระยะเวลาและอัตราเคลื่อนที่ ขึ้น-ลง ของแผ่นเพลท

ทำการทดสอบระยะเวลาและอัตราเคลื่อนที่ในการการเปิด - ปิด จากการตรวจสอบพบว่าระยะขึ้น-ลงของแผ่นเพลทอยู่ที่ 30 - 500 มม. โดยทดลองกับแม่พิมพ์ที่มีขนาด 250 x 300 มม. ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบระยะเวลาและอัตราเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ของแผ่นเพลท

การทดลอง	ระยะทาง (มม.)	เวลา (วินาที)	อัตราความเร็ว (มม./วินาที)
เคลื่อนที่ขึ้น	500	64	7.8
เคลื่อนที่ลง	330	63	5.2

5. สรุปและอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์ มีพื้นที่การทำงานขนาด 1,125 x 760 x 750 มม. สามารถใช้กับแม่พิมพ์ขนาดสูงสุด 250 x 300 มม. ตัวอุปกรณ์ใช้เพลากลีเยว 4 เหลี่ยมคางหมู ขนาด M32 x 3 ยาว 1,000 มม. เป็นเพลาส่งกำลัง

และใช้มอเตอร์เป็นตัวต้นกำลัง ใช้ความเร็วรอบที่ 44.65 รอบ/นาที พื้นที่รับงานตรวจสอบ ด้านล่างสามารถเลื่อน เข้า-ออก ได้ ค่าความตรงของแผ่นจับยึดด้านบนอยู่ที่ 0.105 มม. และแผ่นจับยึดด้านล่างอยู่ที่ 0.08 มม. ระยะเปิดแม่พิมพ์อยู่ที่ 500 มม. ใช้เวลาเฉลี่ยขึ้นอยู่ที่ 1 นาที อัตราเคลื่อนที่ 7.8 มม./วินาที และใช้เวลาลงเฉลี่ยอยู่ที่ 1 นาที อัตราเคลื่อนที่ 5.2 มม./วินาที

5.2 ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์

อุปกรณ์ช่วยปรับแต่งแม่พิมพ์นี้ใช้ชุดเฟืองทดรอบเป็นการกำหนดความเร็วรอบให้อยู่ที่ 893 รอบ/นาที แล้วใช้มอเตอร์ทดรอบ 1:20 เพื่อลดความเร็วมอเตอร์ให้เหลือ 44.65 รอบ/นาที เนื่องจากถ้าใช้ความเร็วสูงเกินไปอาจเกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้ ตารางที่ 5 แสดงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบช่วยตรวจสอบและปรับแต่งแม่พิมพ์

ประเภท	รายการ	ประสิทธิภาพ	หน่วย
ค่าความตรง	แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านบน	ค่าความตรงที่วัดได้ 0.105	มิลลิเมตร
	แผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านล่าง	ค่าความตรงที่วัดได้ 0.08	มิลลิเมตร
เพลาน้ำ (ไทร์บาร์)	เพลาน้ำ	ค่าเฉลี่ยความโตที่วัดได้ 35	มิลลิเมตร
	ระยะไทร์บาร์	ค่าเฉลี่ยความกว้างที่วัดได้ 364.8	มิลลิเมตร
อุปกรณ์ต้นแบบ	ช่วงการขึ้นสูงสุด	500	มิลลิเมตร
	ช่วงการลงต่ำสุด	30	มิลลิเมตร
	แท่นเครื่อง (กว้าง x ยาว)	350 x 300	มิลลิเมตร
	ขนาดแม่พิมพ์ (กว้าง x ยาว)	250 x 300	มิลลิเมตร
	ขนาดของโต๊ะ (กว้าง x ยาว x สูง)	1125 x 760 x 750	มิลลิเมตร
ระบบส่งกำลัง	การส่งกำลัง	เพลากลียวสี่เหลี่ยมคางหมู M32 x 3 ยาว 1,000	มิลลิเมตร
	แรงมอเตอร์	2	แรงม้า
	ความเร็วที่ใช้	44.65	รอบ/นาที
ระบบไฟฟ้า	กระแสสลับ AC	220V	โวลต์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ รวมถึงทุนวิจัยบางส่วนในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

คมกริช ละครวรรณงษ์. (2561). “ออกแบบแม่พิมพ์โลหะ”. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม. (2560). “งานฉีดพลาสติก”. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น
สมเกียรติ ตั้งจิตสีตเจริญ. (2561). “วิศวกรรมการผลิตขั้นสูง”. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย. (2560). “การขัดผิวแม่พิมพ์”. กรุงเทพฯ: สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย

สิริณี ไทยวัฒนา. (2562) “ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ความเสียหายวัสดุและเทคโนโลยีพื้นผิว” หน่วยงานวิจัยประสิทธิภาพการใช้งานวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง, อติเรก ชัยนวกุล, อีร์วัฒน์ แสงภาค และศุภชัย อัครนรากุล. (2560). “การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกหมุนเหวี่ยง”. การประชุมวิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ (RMTC2017). หน้า 107-111.

อติเรก ชัยนวกุล, อีร์วัฒน์ แสงภาค, ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง และศุภชัย อัครนรากุล. (2560). “การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปแผ่นพลาสติกเทอร์โมฟอร์มมิ่งขนาดเล็ก”. การประชุมวิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ (RMTC2017). หน้า 112-117.

ABIS Tooling & Molding. (2560). วิธีการตรวจสอบแม่พิมพ์ฉีดก่อนการทดสอบ. (ออนไลน์), 1 มีนาคม 2564. สืบค้นจาก URL: <http://th.abismoldmaker.com/info>

A. Hürkamp, T. Ossowski, K. Dröder. (2022). “In-mould assembly of functionally integrated structures: A surrogate model for fast quality assessment”. CIRP Annals, Vol. 71, No. 1, pp. 37-40.

C Leetera, N Munkeed, N Choomrit. (2019). “Reducing Setup and Adjustment Time of Plastic Injection Mold”. Engineering Journal Chaing Mai University, Vol. 26, No.3, pp. 102-110.

- Futaba Standard Plastic Mold Components. “Blue Book Vol. 1”. (ออนไลน์), <https://www.fjthai.com/th>
- Huei-Huang Lee. (2021). “Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 2021, 1st Edition”, New York, SDC Publications, ISBN1630574562
- L. Grandguillaume, S. Lavernhe, Y. Quinsat, C. Tournier, (2015). Mould Manufacturing Optimization: A Global Approach of Milling and Polishing Processes.
- M. Kaufmann, I. Effenberger, M. F. Huber. (2022). “Study on Algorithms for the Virtual Assembly and Best Combinations of In-line Measured Injection-Molded Parts”. Procedia CIRP, Vol. 107, pp 239-245.
- Misumi Thailand. Polishing & Fitting Mold. (ออนไลน์), 1 มีนาคม 2564. สืบค้นจาก URL: <https://th.misumi-ec.com/th>
- SPI Surface Finishing for Plastics and Metal Standard Scale. “SPI surface finish standard”. [ระบบออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2563. <http://www.spifinish.com/technology>
- Thai-German Special Steel Center. “Cold Work Steel 2379”. [ระบบออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2563. www.thai-germansteel.com

การออกแบบอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริดสำหรับระบบจำหน่าย

ศุภวัฒน์ คำทิพย์¹ ประสงค์ วงศ์ชัยบุตร¹จิรพนธ์ ทาแกง¹และวันไชย คำเสน¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
200 หมู่ 17 ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000

E-mail: supawatkamtip@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริดสำหรับระบบไฟฟ้าระบบจำหน่าย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาและความผิดพลาดที่มาจากความผิดปกติ ของรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและรูปคลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้า กรณีของไฟฟ้าแรงดันตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว และการลัดวงจร การออกแบบของเซอร์กิต เบรกเกอร์แบบไฮบริด ขนาดของกระแสทริป 10 แอมแปร์ พิกัดแรงดัน 230 โวลต์ 50 เฮิร์ต เพื่อเป็นอุปกรณ์ป้องกันสำหรับระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด ซึ่งการทำงาน ของอุปกรณ์ป้องกันสำหรับระบบจำหน่ายแรงต่ำจะมีการตรวจจับโดยใช้เทคนิคการตรวจจับแบบ เหนี่ยวหน้าและการตรวจจับแบบอาร์เอ็มเอสต่อจากนั้นทำการแปลงสัญญาณเข้าไมโครคอนโทรเลอร์ ส่งสัญญาณให้สวิตซ์ทำงานตัดและต่อวงจร การจำลองและการทดสอบอุปกรณ์การป้องกัน เมื่อเกิดไฟฟ้าแรงดันตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว การลัดวงจร ของระบบไฟฟ้าโดยอ้างอิงมาตรฐาน IEEE 242-2001 การทดลองการทำงานของอุปกรณ์ ป้องกันสามารถป้องกันและตรวจจับ ไฟฟ้าแรงดันตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว และการลัดวงจรของระบบไฟฟ้าจำหน่ายได้

คำสำคัญ อุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด,การตรวจจับแบบเหนี่ยวหน้า,การตรวจจับแบบอาร์เอ็มเอส,มาตรฐาน IEEE 242-2001

A Design of the Hybrid Protective Device for Distribution System

Supawat Kamthip¹ Prasong Wongchaibutr¹
Jiraphon Takaeng¹ and Wanchai Kamsaen¹

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang
200 moo.17 Tambon Pichai Amphoe Muang Lampang 52000

E-mail: supawatkamtip@rmutl.ac.th

Abstract

The paper presents the design of the hybrid protective device for the distribution system. This aims to focus the fault from abnormal signal of current and voltage incase of under voltage, overvoltage, overcurrent, leakage-current, and short-circuit design, hybrid breaker with rated of tripping current of 10 A. 220 V. and 50 Hz. The protective device was designed and operated when the fault of the power system, For this reason, the performance of hybrid protective devices was studied. The hybrid protective device was detected by hall effect detection and RMS technique. The signal of current was converted and sent to the microcontroller. Then it sends a signal to the on and off circuit controlled switch. The simulation and testing under the condition of undervoltage, overvoltage, overcurrent, leakage-current, and short-circuit were carried out by referring to standard IEEE 242-2001. To summarize, the hybrid protective device hybrid type could be operated to detect for distribution system in case of all faults.

Keywords: Protective device hybrid type, Hall effect sensor, RMS detection, IEEE 242-2001 standard

1. บทนำ

เมื่อกล่าวถึงอุปกรณ์ป้องกันหรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีอยู่ในอดีตและปัจจุบันจะนิยมใช้ป็นอุปกรณ์ป้องกันเบื้องต้นของระบบไฟฟ้าเมื่อระบบเกิดความผิดพลาดของอุปกรณ์จะทำงานหรือตัดวงจรเมื่อเกิดขึ้นซึ่งเมื่อเกิดความผิดปกติพร่องนอกเหนือจากนี้จึงทำให้ระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาวะอันตรายและปัญหาความไว ความแม่นยำของการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์เชิงกล เมื่อเกิดการตัดวงจรยังมีพลังงานในรูปเส้นแรงแม่เหล็กอยู่หลังจากนั้นเส้นแรงแม่เหล็กก็จะยุบตัวทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าจ่ายให้กับวงจรอีกครั้ง ดังนั้นการสวิตซ์ที่กล่าวถึงยังมีปัญหาที่ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้น ปัญหาของการตรวจจับของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในปัจจุบันและอดีตจะสามารถป้องกันในสภาวะที่เกิดการลัดวงจรและกระแสเกินเท่านั้นไม่สามารถตัดวงจรหรือทำงานเมื่อเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติพร่อง อาทิเช่น แรงดันผิดปกติกระแสรั่วในระบบ ดังนั้นความผิดปกติพร่องที่เกิดในระบบ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีอยู่ในปัจจุบันจะไม่สามารถป้องกันและตัดวงจรได้นั้นแสดงให้เห็นว่าระบบไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบันและอดีตมีความเสี่ยงและอันตรายอย่างมากเพราะว่าไม่สามารถทำงานได้โดยอ้างอิงจากการออกแบบระบบไฟฟ้า สิ่งสำคัญที่ต้องการในระบบไฟฟ้าคือความเร็วขณะทำงานความถูกต้องแม่นยำ ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าเมื่อมีการทำงานสามารถทำงานได้หลายครั้งอย่างมั่นใจรวมถึงการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในช่วงของการตัดและต่อในสภาวะปกติและสภาวะเกิดความผิดพลาดของระบบไฟฟ้าแรงต่ำ วัตถุประสงค์ของบทความนี้คือศึกษาปัญหาของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า กรณีของไฟฟ้าแรงดันตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว และการลัดวงจร และออกแบบการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบไฮบริด ขนาดของกระแสทริป 10 แอมแปร์ พิกัดแรงดัน 230 โวลต์ 50 เฮิร์ต เพื่อป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดปกติพร่องในระบบไฟฟ้าและเป็นแนวทางการพัฒนาอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด

การออกแบบอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด สามารถแบ่งส่วนการทำงานได้ดังนี้คือ ส่วนการทำงานในการตรวจจับแรงดันและกระแส ส่วนการทำงานตัดและต่อวงจร ส่วนการทำงานในการประมวลผลตามที่กำหนด และ โหลดทางไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรสำหรับทดสอบ

2. ทฤษฎีการตรวจจ็บและดำเนินการวิจัย

2.1 การตรวจจ็บแบบอาร์เอ็มเอส

การตรวจจ็บกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโดยวิธีการตรวจจ็บแบบอาร์เอ็มเอส เป็นการนำค่ายอดของลูกคลื่นสัญญาณมาเข้าสมการคณิตศาสตร์และเข้าในชุดคำสั่ง (1)

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt} \quad (1)$$

2.2 การตรวจจ็บแบบค่ายอด

การตรวจจ็บแบบค่ายอดจะใช้การตรวจจ็บของความผิดปกติ จากการลัดวงจร และแรงดันเกิน โดยการอ้างอิงสัญญาณกระแสและแรงดันเข้าไปในไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ $v_i(t)$ คือแรงดันของสัญญาณด้านเข้า(2)

$$v_i(t) = v_p \sin^2(\omega t) \quad (2)$$

เมื่อ v_p คือค่ายอดของสัญญาณด้านเข้า ถ้า มีการเลื่อนมุม 90 องศาทางไฟฟ้า จะการวัดค่าสูงสุด นำสัญญาณมาเข้าสมการคณิตศาสตร์และเข้าใน เพื่อนำไปสั่งการให้ อุปกรณ์ป้องกันทำงาน (3)

2.3 การตรวจจับแบบเปรียบเทียบอาร์เอ็มเอส

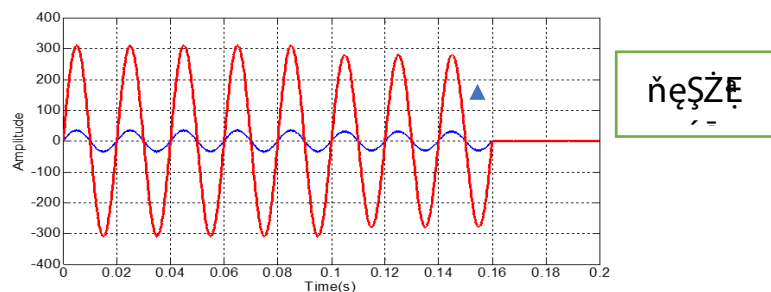
การตรวจจับกระแสรั่วจะใช้หลักการ การเปรียบเทียบสัญญาณของกระแสเข้าและกระแสออก โดยจะนำกระแสให้เป็นค่าอาร์เอ็มเอส (3)

$$i_{com} = i_{in} - i_{out} > 25 \text{ mA} \quad (3)$$

เมื่อ i_{com} คือ สัญญาณกระแสอาร์เอ็มเอสของชุดประมวลผล i_{in} คือ สัญญาณกระแสอาร์เอ็มเอสด้านเข้า i_{out} คือสัญญาณอาร์เอ็มเอสด้านออก ถ้าสัญญาณกระแสอาร์เอ็มเอสด้านเข้าลบสัญญาณกระแสอาร์เอ็มเอสด้านออกมีค่ามากกว่า 25 มิลลิแอมแปร์ สัญญาณกระแส i_{com} จะสั่งให้ชุดประมวลผลทำงาน และขั้นตอนทำการวิจัย ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ต่างๆและอุปกรณ์ป้องกันแบบต่างๆ วิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด ออกวงจรของอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด จำลองการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด สร้างต้นแบบอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด ทดสอบชิ้นงานของอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด เปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบและสรุปผล

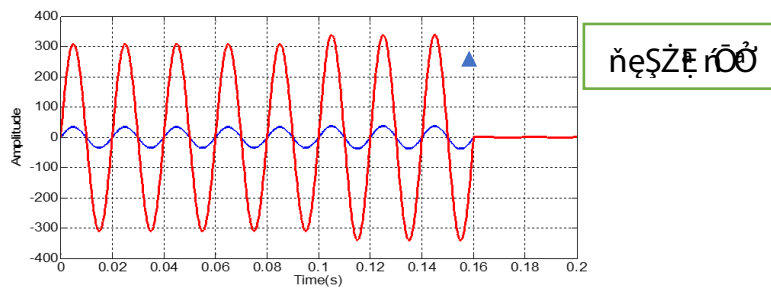
3. ผลการจำลอง

การจำลองจะใช้ Matlab/Simulink ในการศึกษาปัญหาแบบต่างๆ ผลการจำลองนี้หมายถึงกราฟแสดงอัตราการไหลของลูกสัญญาณคลื่นไซน์ที่ตรวจพบเมื่อเกิดเหตุการณ์ต่างๆในการทดลอง เช่น ผลจำลองการทำงานเมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าตก ผลจำลองการทำงานเมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน ผลจำลองการทำงานเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าเกิน ผลจำลองการทำงานเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้ารั่ว ผลจำลองการทำงานเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ดังต่อไปนี้



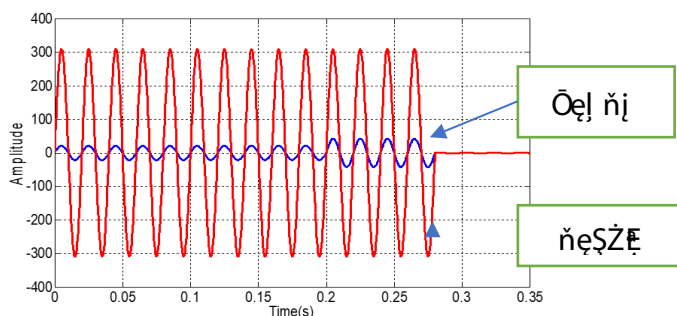
รูปที่ 3.1 ผลจำลองการทำงานเมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าตก

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าผลการจำลองอุปกรณ์ตรวจจับสามารถตรวจจับแรงดันไฟฟ้าตกในช่วงเวลา 0 ถึง 200 มิลลิวินาที ได้ในช่วงเวลาที่ 100-160 มิลลิวินาที และตัดวงจรออกเมื่อถึงช่วงเวลาที่ 60 มิลลิวินาที นับจากที่กรณีเกิดการตรวจพบแรงดันไฟฟ้าตก โดยเริ่มให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบเป็น 207 โวลต์ เป็นเวลา 60 มิลลิวินาที หรือ 3 รูปคลื่นสัญญาณไซน์ อุปกรณ์ป้องกันจะทำการตัดวงจรออกโดยใช้ รีเลย์เป็นตัดวงจรการทำงาน



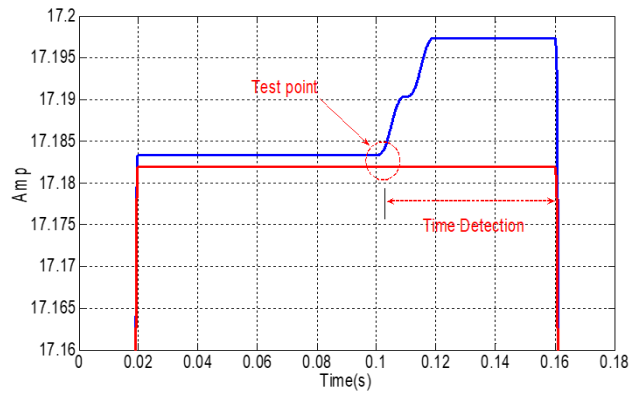
รูปที่ 3.2 ผลจำลองการทำงานเมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าผลการจำลองอุปกรณ์ตรวจจับสามารถตรวจจับแรงดันไฟฟ้าเกินในช่วงเวลา 0 ถึง 200 มิลลิวินาที ได้ในช่วงเวลาที่ 100-160 มิลลิวินาที และตัดวงจรออกเมื่อถึงช่วงเวลาที่ 60 มิลลิวินาที นับจากที่กรณีเกิดการตรวจพบแรงดันไฟฟ้าตกโดยเริ่มให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบเป็น 250 โวลต์ เป็นเวลา 60 มิลลิวินาที หรือ 3 รูปคลื่นสัญญาณไซน์ อุปกรณ์ป้องกันจะทำการตัดวงจรออกโดยใช้ รีเลย์เป็นตัดวงจรการทำงาน ของอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด



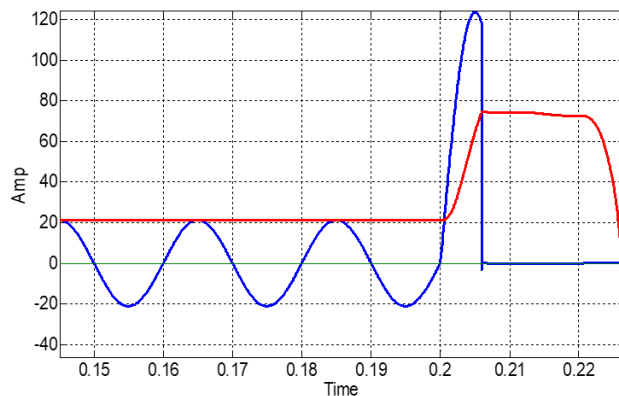
รูปที่ 3.3 ผลจำลองการทำงานเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าเกิน

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าผลการจำลองอุปกรณ์ตรวจจับสามารถตรวจจับกระแสไฟฟ้าเกินในช่วงเวลา 0 ถึง 350 มิลลิวินาที ในช่วงเวลาที่ 200-275 มิลลิวินาที และ ตัดวงจรออกเมื่อถึงช่วงเวลาที่ 75 มิลลิวินาที หรือ 4 รอบคลื่นสัญญาณไซน์ นับจากที่กรณีเกิดการตรวจพบ โดยเริ่มให้ค่ากระแสไฟฟ้าเกินในระบบ อุปกรณ์ป้องกันจะทำการตัดวงจรออกโดยใช้รีเลย์เป็นตัวตรวจการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด



รูปที่ 3.4 ผลจำลองการทำงานเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้ารั่ว

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าผลการจำลองอุปกรณ์ตรวจจับสามารถตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่วในช่วงเวลา 2 ถึง 16 มิลลิวินาที ในช่วงเวลาที่ 10 มิลลิวินาที เริ่มทำการตรวจจับกระแสรั่ว มีความผิดปกติเกิดขึ้นจะมีการตรวจจับความผิดปกติเกิดขึ้นจะมีเวลาในการประมวลผล 14 มิลลิวินาทีโดยผลต่างของกระแสเข้ากับออก 20 mA



รูปที่ 3.5 ผลจำลองการทำงานเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร

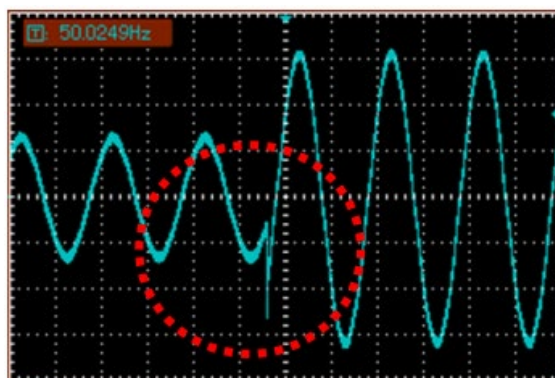
จากรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าผลการจำลองอุปกรณ์ตรวจจับสามารถตรวจจับกรณีลัดวงจรในช่วงเวลา 15 ถึง 25 มิลลิวินาที ในช่วงเวลาที่ 20-20.5 มิลลิวินาที เริ่มทำการตรวจจับลัดวงจร มีความผิดปกติเกิดขึ้น จะมีการตรวจจับความผิดปกติเกิดขึ้น จะมีเวลาในการประมวลผล 0.5 มิลลิวินาทีจึงมีการตัดวงจรป้องกันจะทำการตัดวงจรออกโดยใช้รีเลย์เป็นตัวตัดวงจรการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด]

การออกแบบและการจำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบไฮบริดผลการจำลองนั้นสรุปได้ว่าหลักการทำงานของไฮบริดเซอร์กิตเบรกเกอร์มีส่วนประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนการตรวจจับส่วนสวิตช์และส่วนการควบคุม ซึ่งส่วนการตรวจจับจะใช้หลักการแปลงกระแสและแรงดันให้เป็นสัญญาณและได้ทำการ ยกระดับสัญญาณเพื่อจะเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ ผลการจำลองการทำงานของไฮบริดเซอร์กิตเบรกเกอร์จะมีการจำลองความผิดปกติของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้างั้น เช่น กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว การลัดวงจร แรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าเกิน พิกัดของของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบไฮบริด ขนาดอัตราการทนกระแสทริป 10 แอมแปร์ พิกัดแรงดัน 230 โวลต์ เพื่อเป็นอุปกรณ์ป้องกันจากระบบไฟฟ้าที่มีความผิดปกติเกิดขึ้น

4. การทดสอบ

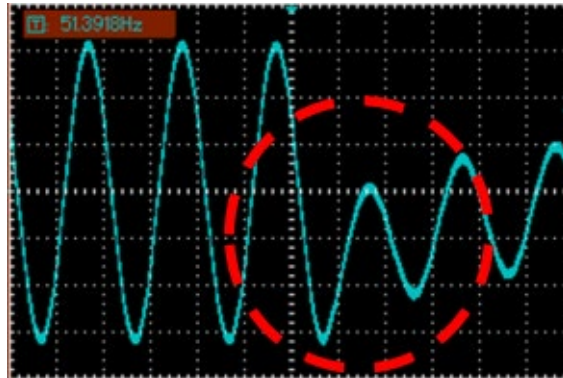
การดำเนินการ การออกแบบ ส่วนที่ 1 ทดสอบแรงดันเกินส่วนที่ 2 ทดสอบแรงดันตก ส่วนที่ 3 ทดสอบกระแสลัดวงจรส่วนที่ 4 ทดสอบกระแสเกินส่วนที่ 5 ทดสอบกระแสรั่วและเมื่อทำการทดสอบครบทุกการทดสอบที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนี้และจึงทำการบันทึกค่าเพื่อสรุปผลต่อไป

โดยก่อนเริ่มการทดสอบผู้จัดทำเตรียมอุปกรณ์ป้องกันแบบทั่วไปมาไว้เพื่อเปรียบเทียบ และเป็นตัวอ้างอิงค่ามาตรฐานแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส



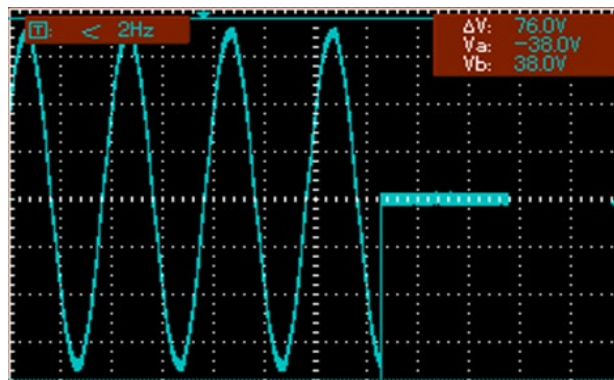
รูปที่ 4.1 สัญญาณผลการทดสอบแรงดันไฟฟ้าเกิน

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าการทดสอบนั้นจะเห็นรูปคลื่นสัญญาณของไซน์ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าปกติอยู่แต่เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นระหว่างการทดสอบ ดังแสดงอยู่ในวงกลมสีแดงอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูงขึ้นถึงค่าที่กำหนดไว้ อุปกรณ์ป้องกันให้เกิดการตัดวงจร



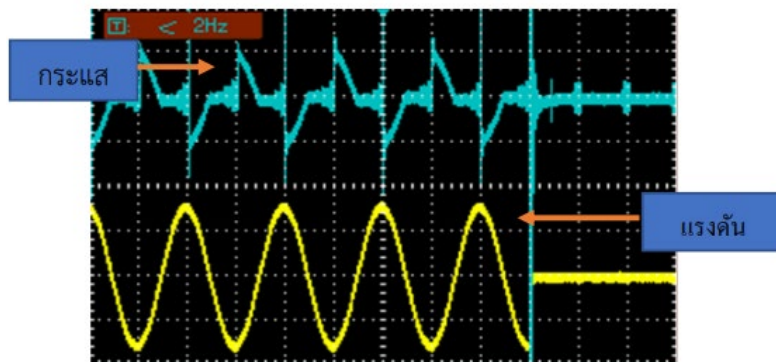
รูปที่ 4.2 สัญญาณผลการทดสอบแรงดันไฟฟ้าตก

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการทดสอบนั้นจะเห็นรูปคลื่นสัญญาณของไซน์ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าปกติอยู่แต่เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าต่ำลงระหว่างการทดสอบ ดังแสดงอยู่ในวงกลมสีแดงอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าต่ำลงถึงค่าที่กำหนดไว้ อุปกรณ์ป้องกันให้เกิดการตัดวงจร



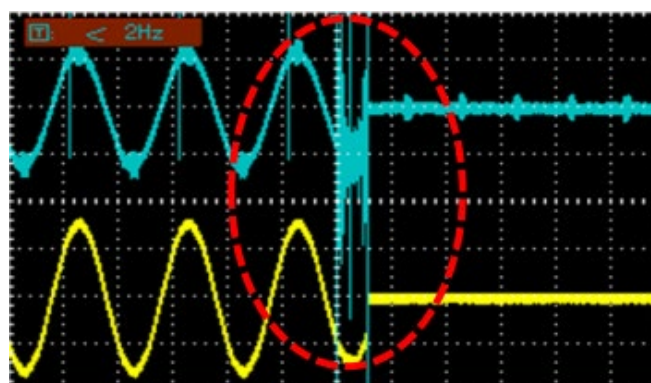
รูปที่ 4.3 สัญญาณผลการทดสอบกระแสไฟฟ้าเกิน

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการทดสอบนั้นเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าเกิน ดังแสดงอยู่ในวงกลมสีแดง อุปกรณ์ป้องกันตรวจพบค่ากระแสเกินจนถึงค่าที่ได้กำหนดไว้แล้ว จึงจะทำการตัดวงจร



รูปที่ 4.4 สัญญาณผลการทดสอบการทำงานของกระแสไฟฟ้ารั่ว

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการทดสอบนั้นจะเห็นรูปคลื่นสัญญาณของไซน์ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าปกติและกระแสไฟฟ้าปกติอยู่ แต่เมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วระหว่างการทดสอบ ดังแสดงอยู่ในวงกลมสีแดง อุปกรณ์ป้องกันที่มีการรั่วของกระแสไฟฟ้าถึงค่าที่กำหนดไว้ อุปกรณ์ป้องกันให้เกิดการตัดวงจร



รูปที่ 4.5 สัญญาณผลการทดสอบกระแสไฟฟ้าลัดวงจร

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าการทดสอบนั้นจะเห็นรูปคลื่นสัญญาณของไซน์ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าปกติและกระแสไฟฟ้าปกติอยู่ แต่เมื่อมีกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น

หรือลัดวงจรระหว่างการทดสอบ ดังแสดงอยู่ในวงกลมสีแดงอุปกรณ์ป้องกันที่มีการรั่วของกระแสไฟฟ้าถึงค่าที่กำหนดไว้

5.สรุป

การออกแบบอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริดสำหรับระบบไฟฟ้าระบบจำหน่ายสามารถตรวจจับและตัดวงจรเมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าผิดปกติในกรณีของไฟฟ้าแรงดันตก แรงดันไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้าเกิน กระแสไฟฟ้ารั่ว และการลัดวงจร และ ขนาดของกระแสทริป 10 แอมแปร์ พิกัดแรงดัน 230 โวลต์ 50 เฮิร์ต ดังตารางเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริดและอุปกรณ์ป้องกันทั่วไป กระแสเกินและการลัดวงจรสามารถทำได้ทั้งสองชนิด แต่เบรกเกอร์ทั่วไปไม่สามารถทำได้คือ แรงดันเกิน แรงดันตก และกระแสรั่วดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบการทำงานระหว่างอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด และอุปกรณ์ป้องกันทั่วไป

การทดสอบ	พิกัด	อุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด	เบรกเกอร์ทั่วไป
กระแสเกิน	$8A > X < 10A$	O	O
แรงดันเกิน	$\geq 250VAC$	O	X
แรงดันตก	$\leq 190VAC$	O	X
ลัดวงจร	$\geq 10A$	O	O
กระแสรั่ว	$>20mA$	O	X

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความเร็วระหว่างอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริดและอุปกรณ์ป้องกันทั่วไป

	กระแสเกิน	ลัดวงจร
อุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด	60-100 ms	20-40 ms
เบรกเกอร์ทั่วไป	3-100 s	0.1-1 s

การเปรียบเทียบความเร็วในการทำงานอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริดและอุปกรณ์ป้องกันทั่วไปสามารถแสดงให้เห็นความเร็วของกระแสเกิน จากอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด 60-100 ms และ เบรกเกอร์ทั่วไป 3-100 s ทำให้เห็นข้อแตกต่างและความเร็วในการลัดวงจร จากอุปกรณ์ป้องกันแบบไฮบริด 20-40 ms และ เบรกเกอร์ทั่วไป 0.1-1 s ดังตารางที่ 2

6. เอกสารอ้างอิง

Supawat Kamtip, Werachai Roynarin and Krischonme Bhumkittipich “Design of Rapid Shutdown Switching for Small PV-Wind Hybrid Systems using RMS” Technique 15th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, Pattaya, Chonburi, Thailand, December 7-10, 2022

ศุภวัฒน์ คำทิพย์, ไวยวิทย์ อุทัยเฉลิม, กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์ และ วิรัชย์ โรยนรินทร์ “การออกแบบอุปกรณ์ป้องกันแบบตัดเร็วสำหรับการใช้งานของระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน” การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 (TREC-15) รังแรม โนวาเทล ชุมพร บีส รีสอร์ท แอนด์ กอล์ฟ จังหวัดชุมพร 27 – 29 ตุลาคม 2565

Supawat K, Nathabhat P, and Krischonme B, “Simulation of SSCB Using IGBTs Model based on ORCAD/PSPICE program,” 11th EMSES. December 2013.

Zhiping Yang, Hongkun Chen, and et al, “Dynamic Simulation of the Overvoltage for Fault Current Limiter,” IEEE. 2011, p. 1-4.

William Long, Member IEEE, “Low-voltage Power circuit Breaker Comparison of Test Requirement,” International Electro technical Commission standard. IEC 60947-2.

IEEE Standards Board, “IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality,” IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality, IEEE STD 1159-1995, Approved 1995.

ความต้านทานการหมองของโลหะเงิน ที่เสริมด้วยวัสดุคาร์บอนต่อเหงื่อเทียมและไฮโดรเจนซัลไฟด์

กุลธิดา จันทะบาล*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ 254 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

*E-mail: koonthida5914@gmail.com , เบอร์โทรศัพท์: +66 90126 5914

บทคัดย่อ

เครื่องประดับเงินได้รับความนิยมเป็นอย่างมากจึงเป็นสินค้าที่น่าสนใจและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การเสื่อมสภาพของพื้นผิวของโลหะเงิน (การหมอง) ยังเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดของเครื่องประดับเงินคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาลักษณะของโลหะเงินที่เสริมด้วยวัสดุคาร์บอนโดยใช้วิธีการขึ้นรูปเหรียญ (Coin) และนำไปทดสอบความต้านทานการหมองของสีของโลหะเงินต่อเหงื่อเทียมและแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ผลของตัวอย่างที่เติมวัสดุคาร์บอนหลังทดสอบเหงื่อเทียม พบว่าการเติมคาร์บอนที่มีปริมาณธาตุออกซิเจนน้อยและกระจายตัวมากช่วยในเรื่องของการลดความหมองจากเหงื่อเทียมได้ดีกว่าเนื่องจากเมื่อเติม คาร์บอน (C) เข้าไปกระจายตัวในซิลเวอร์ (Ag) ทำให้พื้นที่ของซิลเวอร์ (Ag) น้อยลงส่งผลให้ลดการเกิดซิลเวอร์คลอไรด์ และผลของตัวอย่างที่เติมวัสดุคาร์บอนหลังการทดสอบแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าการเติมวัสดุคาร์บอนช่วยในเรื่องของการลดความดำจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีกว่าการที่ไม่เติมโดยสารตัวเติมยังมีปริมาณคาร์บอนมากยิ่งขึ้นช่วยให้ลดความหมองได้มากเนื่องจากเมื่อเติมวัสดุคาร์บอนเข้าไปแล้วคาร์บอน (C) จะไปช่วยสร้างพันธะกับซัลเฟอร์ (S) มากกว่าที่จะไปสร้างพันธะกับซิลเวอร์ (Ag) จึงทำให้ความหมองที่เกิดจากซิลเวอร์ซัลไฟด์ (Ag_2S) ลดน้อยลง และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณออกซิเจนก่อนต่อออกซิเจนหลังทดสอบ พบว่ามีปริมาณออกซิเจนของซิลเวอร์ที่เติมคาร์บอนเปลี่ยนไปน้อยกว่า ซิลเวอร์บริสุทธิ์ จะเห็นได้ว่าการเติมคาร์บอนไปช่วยในการลดการเกิด ซิลเวอร์ออกไซด์ (Ag_2O)

คำสำคัญ : ต้านทานการหมอง, เครื่องประดับเงิน, วัสดุคาร์บอน

Tarnish resistance of silver reinforced with carbon material to artificial sweat and hydrogen sulfide.

Kunthida Chanthaban*

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Address: 254 Phayathai Road, Wangmai, Pathumwan, Bangkok 10330

*E-mail: koonthida5914@gmail.com , Tel: +66 90126 5914

Abstract

Due to its immense popularity, silver jewelry is an intriguing product and has undergone continual development. The most significant issue with silver jewelry is the tarnish of the silver metal's surface. Therefore, using a coin making technique, the study team evaluated the properties of silver metal reinforced by carbon materials. Then the silver's sweat and hydrogen sulfide tarnishing were evaluated. Effects of adding carbon to samples after performing an artificial sweat test showed that the addition of carbon with less oxygen and more dispersed helped in reducing tarnish from artificial sweat. Since carbon (C) was used to spread silver (Ag), the area of silver (Ag) was reduced, leading to a reduction in silver chloride. Effects of samples with carbon after testing for hydrogen sulfide provided that adding carbon materials better reduced tarnish from hydrogen sulfide. Since carbon (C) reacted with sulfur (S) rather than silver (Ag) when carbon material was added, the tarnish brought on by silver sulfide (Ag_2S) was reduced. When comparing the amount of oxygen before the oxygenation after the test. It was found that the oxygen content of the carbonized silver changed less than pure silver. So adding carbon helped to reduce the occurrence of Silver Oxide (AgO_2).

Keywords: Tarnish, Silver jewelry, Carbon material

1. บทนำ

อุตสาหกรรมเครื่องประดับ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องประดับทอง เงิน แพลทินัม และอื่น ๆ เป็นอุตสาหกรรมที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเศรษฐกิจ โดยจากสถิติการส่งออกอัญมณี และเครื่องประดับไม่รวมทองคำ ในปี 2565 มีมูลค่า 7,987.50 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เพิ่มขึ้นร้อยละ 29.54 เมื่อเทียบกับปี 2564 ซึ่งประเทศไทยมีการส่งออกเครื่องประดับจัดเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก โดยเครื่องประดับทองมีอัตราการส่งออกสูงสุด รองลงมาเป็นเครื่องประดับเงิน โดยเครื่องประดับเงินเป็นสินค้าที่มีความน่าสนใจในแง่มูลค่าการส่งออกที่มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2565 มีการส่งออกเครื่องประดับเงินเป็นมูลค่า 1,736.27 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.18% เมื่อเทียบกับปี 2564 (GIT Information, 2022)

เครื่องประดับเงินได้รับความนิยมเป็นอย่างมากจึงเป็นสินค้าที่น่าสนใจและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่ด้วยคุณสมบัติของเงินนั้นเมื่อสัมผัสกับอากาศที่มีซัลเฟอร์อยู่ จะทำให้ผิวของเครื่องประดับเงินนั้นเกิดความหมองคล้ำเมื่อเวลาผ่านไป จากที่กล่าวมาการเสื่อมสภาพของพื้นผิวของโลหะเงิน (การหมอง) ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดของเครื่องประดับเงิน เนื่องจากได้รับผลกระทบอย่างมากเมื่อสัมผัสกับอากาศ ในแง่นี้ได้มีการศึกษาจำนวนมากเพื่อตรวจสอบการกัดกร่อนของโลหะเงินเมื่อสัมผัสกับอากาศ และเป็นที่ทราบกันดีว่าเมื่อโลหะเงินสัมผัสกับอากาศซึ่งมี กำมะถันหรือซัลเฟอร์ (sulfur หรือ S) เป็นองค์ประกอบสารเหล่านี้เมื่อสัมผัสกับโลหะเงินแล้ว จะทำปฏิกิริยากันและเกิดสารใหม่ที่เรียกว่า ซิลเวอร์ซัลไฟด์ (Silver sulfide หรือ Ag_2S) เคลือบที่ผิวของโลหะเงิน และด้วยความที่ซิลเวอร์ซัลไฟด์เป็นสารที่มีสีน้ำตาลดำ จึงทำให้โลหะเงินเกิดความหมอง ไม่แวววาวเหมือนเช่นเคย ซิลเวอร์ซัลไฟด์นอกจากพบได้ในอากาศแล้ว ยังเกิดขึ้นได้ในภาวะที่มีความชื้น ความเป็นเกลือสูงได้เช่นกัน อีกหนึ่งปัจจัยที่พบคือทองแดงที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มความแข็งให้แก่เงินนั้นเมื่อสัมผัสกับอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยาได้สารใหม่เป็น คอปเปอร์ออกไซด์ (Cu_2O) ซึ่งเป็นสารสีน้ำตาลแดง ส่งผลให้เครื่องประดับเงินเกิดความหมองเช่นกัน ปัจจุบันก๊าซที่มีฤทธิ์การกัดกร่อนที่มีความเข้มข้นสูง เช่น CO_2 , H_2S และ SO_2 มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมอันเป็นผลมาจากกิจกรรมที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้โลหะเงินมีความไวต่อการกัดกร่อนเมื่อสัมผัสอากาศมากขึ้น ดังนั้น การค้นหาวิธีที่มีประสิทธิภาพเพื่อต้านทานการหมองของโลหะเงินจึงมีความสำคัญ ปัจจุบันได้มีการศึกษาวิธีแก้ไขปัญหามากมายโดยมุ่งเน้นไปที่การผสมเงินกับโลหะอื่น ๆ เช่น Al, Ge, Si, Zn, Cd และ P เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันและการทำให้หมอง พบว่าการเติมเจอร์เมเนียมช่วยชะลออัตราการหมองของเงินได้ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้

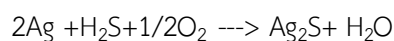
ใช้เวลานานและต้องใช้ข้อมูลภูมิที่สูงขึ้นซึ่งอาจนำไปสู่การสูญเสียโลหะเงินได้ (Elnaz Bahmani, 2021) (E. Bahmani, 2020) นอกจากการเติมเจอร์เมเนียมแล้วในงานเครื่องประดับเงินยังมีการใช้โรเดียมเป็นตัวชุบผิวของเงินเพื่อป้องกันการหมองและเพิ่มความมันวาวแต่โรเดียมมีราคาค่อนข้างสูง และยังมีการศึกษาพบว่า การชุบนิเกิลซึ่งมีราคาต่ำกว่านั้นก็ให้คุณสมบัติป้องกันการหมองและเพิ่มความมันวาวได้ดีเช่นกันกับโรเดียม แต่สารนิเกิลเมื่อสัมผัสกับผิวหนังอาจเป็นอันตราย ทำให้เกิดผื่นแดงหรือระคายเคืองต่อผิวหนังได้จึงไม่เป็นที่นิยมใช้ (R Kunter, 2016)

จากที่กล่าวมาข้างต้นการลดความหมองโดยการเติมโลหะหรือการเคลือบด้วยโลหะยังมีต้นทุนที่สูงและโลหะบางชนิดก็ยังคงส่งผลข้างเคียงต่อผิวมนุษย์จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะพัฒนาสารตัวเติมเพื่อลดความหมองของเครื่องประดับเงินให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นและสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้จากงานวิจัย (Muhammed Emre Ayhan, 2013) พบว่าการสังเคราะห์กราฟีนบนซิลเวอร์พอยโดยการเคลือบด้วยวิธี Chemical vapor deposition (CVD) ช่วยยับยั้งการเกิดซิลเวอร์ซัลไฟด์ป้องกันการหมองได้เนื่องจาก กราฟีนไปช่วยทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ได้ดีกว่าซิลเวอร์ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาลักษณะของโลหะเงินที่เสริมด้วยวัสดุคาร์บอนโดยใช้วิธีการขึ้นรูปเหรียญ (Coin) และนำไปทดสอบความต้านทานการหมองของสีของโลหะเงินต่อแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ และนอกจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้วเหรียญก็ยังเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการหมอง คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาลักษณะของโลหะเงินที่เสริมด้วยวัสดุคาร์บอนโดยใช้วิธีการขึ้นรูปเหรียญ (Coin) และนำไปทดสอบความต้านทานการหมองของสีของโลหะเงินต่อเหงื่อเทียม เพื่อศึกษาว่าวัสดุคาร์บอนสามารถช่วยลดการหมองจากเหงื่อได้หรือไม่อย่างไร

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

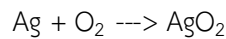
2.1 ตัวแปรในการทดสอบการหมองของเงิน

การทำให้หมองของเงินส่วนใหญ่พบว่า การหมองเกิดกระบวนการซัลไฟเดชัน ซึ่งเป็นการกัดกร่อนของธาตุโลหะที่มีสารประกอบซัลเฟอร์ โดยทำให้เกิดซิลเวอร์ซัลไฟด์ (Ag_2S) ซึ่งมีสีน้ำตาลดำ (Elnaz Bahmani, 2021) ด้วยเหตุนี้การทดสอบจึงใช้ตัวอย่างการทดสอบการหมองด้วยสารประกอบซัลเฟอร์ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ปฏิกิริยาที่ทำให้ผิวเงินหมองในบรรยากาศที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) คือ



มีมาตรฐานมากมายสำหรับการทดสอบการกัดกร่อนในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในญี่ปุ่น ยุโรป และสหรัฐอเมริกา มาตรฐานเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้วิธีรมควัน โดยมีความเข้มข้นของซัลเฟอร์ตั้งแต่ 400-30,000 ppb ในทางตรงกันข้ามอุตสาหกรรมเครื่องประดับนิยมใช้ทดสอบที่ความเข้มข้นของซัลเฟอร์สูงถึง 4 ล้าน ppb เพื่อทดสอบการกัดกร่อนในการทดสอบจึงใช้ความเข้มข้น 0.4% H₂S ความเข้มข้นในการทดลองนี้อาจจะมากเกินไปเมื่อเทียบกับโอกาสการสัมผัสกับซัลเฟอร์ในการใช้งานจริง (Boonrat Lohwongwatana, 2015)

มีการทดสอบโดยการนำเครื่องประดับเงินใส่ไว้ในถุงเป็นเวลาหกเดือน พบว่าเกิดการหมองของเครื่องประดับเงินและเมื่อนำไปตรวจสอบพบซัลเฟอร์เพียงเล็กน้อย จึงเป็นไปได้ว่าออกซิเจนก็เป็นอีกหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้เครื่องประดับเงินเกิดการหมอง (Boonrat Lohwongwatana, 2015) โดยออกซิเจนไปทำให้เกิดซิลเวอร์ออกไซด์ (AgO₂) ซึ่งมีสีดำ ปฏิกิริยาที่ทำให้ผิวเงินหมองในบรรยากาศที่มีออกซิเจน (O₂) คือ



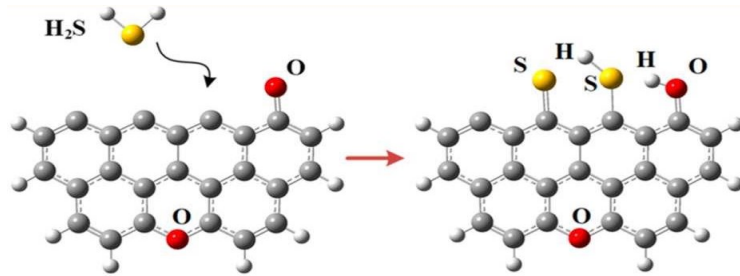
นอกจากนี้ยังมีตัวแปรอื่น ๆ ที่อาจทำให้เงินหมอง เช่น เหงื่อของผู้ใช้ซึ่งอาจได้รับซัลเฟอร์จากการรับประทานอาหารในชีวิตประจำวัน ผักหลายชนิดที่มีกลิ่นฉุน เช่น บรอกโคลี กะหล่ำปลี และถั่วลันเตา ขึ้นชื่อว่ามีซัลเฟอร์สูง ทำให้มีความเข้มข้นของซัลเฟอร์ในเหงื่อสูงตามไปด้วย อาจส่งผลทำให้เงินหมองมากขึ้น นอกจากนี้ความเป็นกรดและด่างของเหงื่อยังมีอิทธิพลอย่างมากต่อการหมองของเงิน (Boonrat Lohwongwatana, 2015)

โดยทั่วไปเหงื่อของคนเราจะมีค่า pH อยู่ที่ประมาณ 6-7 เหงื่อเทียมที่ใช้ในการทดสอบนี้จัดทำขึ้นอ้างอิงตาม EN 1811:2011 โดยการผสมยูเรีย (0.1 wt%), โซเดียมคลอไรด์ (0.5 wt%) และกรดแลคติก (0.1 wt%) ในน้ำปราศจากไอออน จะได้ pH ของสารละลายที่ 6.5 ± 0.05 (Klara Midander*, November 2016)

2.2 การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยคาร์บอน

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) เป็นหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้โลหะเงินหมอง ปัจจุบันการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้คาร์บอนได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น ในบรรดาวัสดุต่าง ๆ คาร์บอนถือเป็นตัวกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้เป็นอย่างดี โดยคาร์บอนจะช่วยดูดซับซัลเฟอร์ (C-S) ดังรูปที่ 1 จากที่กล่าวมาทางคณะผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานว่าการเติมคาร์บอนลงไปเครื่องประดับเงิน

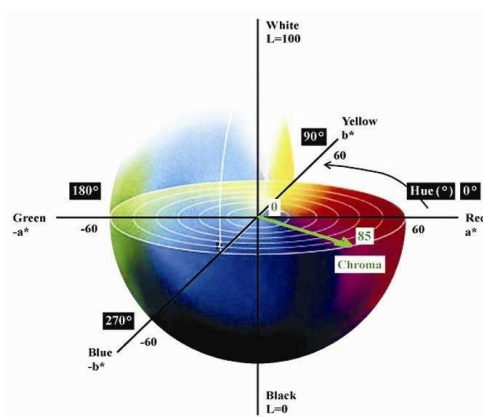
คาร์บอน (C) จะไปช่วยดูดซับซัลเฟอร์ (S) ทำให้ลดการเกิดซิลเวอร์ซัลไฟด์ (Ag_2S) ที่มีสีน้ำตาลดำซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้โลหะเงินหมอง



รูปที่ 1 การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้คาร์บอน (Fenghua Shen, 2019)

2.3 การวัดค่าสีโดยเครื่องมือวัดค่าสี (Colorimeter)

สีคือคุณสมบัติเชิงแสงที่บ่งบอกลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ และถูกนำมาเป็นตัวแปรหนึ่งในการกำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ กระบวนการตรวจวัดสีด้วยสายตาจากคนธรรมดา อาจมีความคลาดเคลื่อนสูง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดสีเนื่องจากสายตา และแหล่งกำเนิดแสง องค์กร International Commission on Illumination (CIE) ได้กำหนดการวัดความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน ซึ่งสามารถหาได้ จากค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสว่าง, ความเป็นสีแดง-เขียว และความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟการวัดสี L^* a^* b^* (ponpe.com, 2015)

แกน L* บ่งบอกถึง ความสว่าง (lightness) มี ค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว
 แกน a* บรรยายแกนสี จากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*)
 แกน b* บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*)
 สามารถหาค่าความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานได้ดังสมการ

$$\Delta L^* = L^* \text{ของตัวอย่างมาตรฐาน} - L^* \text{ของตัวอย่าง} \quad (1)$$

$$\Delta a^* = a^* \text{ของตัวอย่างมาตรฐาน} - a^* \text{ของตัวอย่าง} \quad (2)$$

$$\Delta b^* = b^* \text{ของตัวอย่างมาตรฐาน} - b^* \text{ของตัวอย่าง} \quad (3)$$

ถ้า ΔL^* มีค่าน้อย หมายถึงมีการเปลี่ยนจากสีเดิมไปน้อย

Δa^* เป็นบวก หมายถึงมีความเป็นสีเขียวมาก, Δa^* เป็นลบ หมายถึงมีความเป็นสีแดงมาก

Δb^* เป็นบวก หมายถึงมีความเป็นสีน้ำเงินมาก, Δb^* เป็นลบ หมายถึงมีความเป็นสีเหลืองมาก

นอกจากจะบอกความแตกต่างด้วยค่า ΔL^* , Δa^* , Δb^* แล้ว สามารถบอกเป็นค่าความแตกต่างของสีโดยรวมระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน (total color difference) ΔE เมื่อ

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (4)$$

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 สารคาร์บอนที่ใช้เป็นตัวเติม

ลำดับ	สารคาร์บอนตัวเติม	องค์ประกอบ (ร้อยละปริมาณสาร)				ที่มา
		CK (Wt%)	NK (Wt%)	OK (Wt%)	SK (Wt%)	
1	CL-1	40.05	21.61	22.69	15.66	บริษัท คริสตัลไลต์ จำกัด
2	CL-2	43.00	14.27	17.55	25.19	บริษัท คริสตัลไลต์ จำกัด
3	CL-3	42.92	15.94	13.04	28.10	บริษัท คริสตัลไลต์ จำกัด
4	แกรฟีน ออกไซด์	59.72	1.90	35.66	2.71	Luoyang Tongrun Nano Technology
5	แกรฟีน	89.00	2.58	7.77	0.65	Sigma Aldrich
6	แกรฟีนแท่ง	86.46	2.85	9.94	0.75	Alfa Aesar, Thermo Fisher Scientific
7	คาร์บอนแบล็ค	91.93	1.63	6.23	0.22	Alfa Aesar, Thermo Fisher Scientific
8	แอคติเวทเต็ดคาร์บอน	89.69	2.21	7.28	0.81	-

หมายเหตุ: กลุ่มที่ 1 CL-1, CL-2, CL-3 จัดเป็นเป็นคาร์บอนที่สังเคราะห์ขึ้นมา (Carbon Synthetic) โดยมีปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยประมาณ 42 Wt% และมีออกซิเจนประมาณ 15 Wt%

กลุ่มที่ 2 แกรฟีนออกไซด์ จัดเป็นคาร์บอนออกไซด์ โดยมีปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยประมาณ 60 Wt% และมีออกซิเจนประมาณ 36 Wt%

กลุ่มที่ 3 แกรฟีน, แกรฟีนแท่ง, คาร์บอนแบล็ค, แอคติเวทเต็ดคาร์บอน จัดเป็นคาร์บอนบริสุทธิ์ (Pure carbon) โดยมีปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยประมาณ 90 Wt% และมีออกซิเจนประมาณ 8 Wt%

ตารางที่ 2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	ชื่อสาร	สัญลักษณ์	ที่มา
1	ผงซิลเวอร์นาโน	Ag-301	Prime Nanotechnology Co.,Ltd.
2	โพแทสเซียม ซัลไฟด์	K ₂ S	KemAus
3	กรดไฮโดรคลอริก	HCl	KemAus
4	โซเดียม คลอไรด์	NaCl	Loba Chemie Pvt. Ltd.
5	กรดแลคติก	C ₃ H ₆ O ₃	Chemipan Corporation Co., Ltd.
6	ยูเรีย	CH ₄ N ₂ O	Market

3.2 การเตรียมและขึ้นรูปเหรียญตัวอย่าง (Coin)

ผสมผงซิลเวอร์ Ag-301 ซึ่งก่อนการใช้งาน ได้อบที่อุณหภูมิ 110°C Overnight กับวัสดุคาร์บอน (CL-1, CL-2, CL-3, แกรฟีนออกไซด์, แกรฟีน, แกรฟีนแท่ง, คาร์บอนแบล็ค และแอคติเวทเต็ดคาร์บอน) โดยกำหนดความเข้มข้นของวัสดุคาร์บอนที่เติมลงไปเป็น 1% โดยน้ำหนัก ด้วยการบด หลังจากนั้นนำผงที่ได้ 500 mg ไปอัดขึ้นรูปเหรียญด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ด้วยแรงอัดที่ 100 kg/cm² เป็นเวลา 30 วินาที

3.3 วิธีการทดสอบความต้านทานความหมอง

3.3.1 วิธีการทดสอบความต้านทานความหมองของสีต่อเหงื่อเทียม (Sweat Tarnish) การเตรียมสารละลาย ผสมโซเดียมคอไรด์ 100 mg, กรดแลคติก 20 mg, ยูเรีย 20 mg และน้ำปราศจากไอออน 19.56 ml การทดสอบจุ่มตัวอย่างลงไปในการละลายที่เตรียมไว้ เป็นเวลา 15 วินาที แล้วนำไปวิเคราะห์ปัจจัยที่ควบคุมการทดลอง

1. ดำเนินการวันสัปดาห์ใน 5 นาทีหลังจากจุ่มเหงื่อเทียม เนื่องจากหากทิ้งไว้เกิน 5 นาที ตัวอย่างจะดำเท่ากันจนไม่สามารถแยกความแตกต่างได้
2. สารละลายทดสอบได้กับหนึ่งตัวอย่าง ห้ามทดสอบซ้ำ

3.3.2 วิธีการทดสอบความต้านทานความหมองของสีต่อแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S Tarnish) การเตรียมสารละลาย ผสมโพแทสเซียมซัลไฟด์ 210 mg กับกรดไฮโดรคลอริก 21ml การทดสอบวางตัวอย่างรอบ ๆ บริเวณแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เตรียมไว้ เป็นเวลา 15 วินาที แล้วนำไปวิเคราะห์ปัจจัยที่ควบคุมการทดลอง

1. หลังจากทดสอบนำไปวัดค่าสีทันที ไม่ควรทิ้งตัวอย่างไว้เกิน 1 วันหลังจากทดสอบ
2. วางตัวอย่างให้สม่ำเสมอโดยกำหนดระยะห่างจากบีกเกอร์ของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ 10 เซนติเมตร เพื่อให้แก๊สทั่วถึงบริเวณผิวของตัวอย่างที่ต้องการทดสอบเท่า ๆ กัน

3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.4.1 เครื่องมือวัดค่าสี (Colorimeter)

ตัวอย่างถูกนำไปวิเคราะห์ด้วย เครื่องมือวัดค่าสี (Colorimeter) โมเดล UltraScan VIS เพื่อวัดค่าความแตกต่าง ของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพของตัวอย่าง

3.4.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (Scanning electron microscope-energy dispersive X-ray spectroscopy : SEM-EDX)

ตัวอย่างถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (SEM) ของ Hitachi mode S-3400N และเครื่อง X-ray spectroscopy แบบกระจายพลังงาน (EDX) เพื่อตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพื้นผิวและองค์ประกอบของธาตุ ตามลำดับ

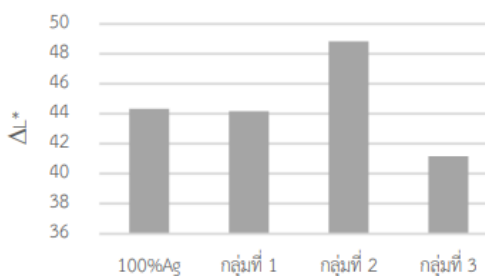
4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสี (Colorimeter)

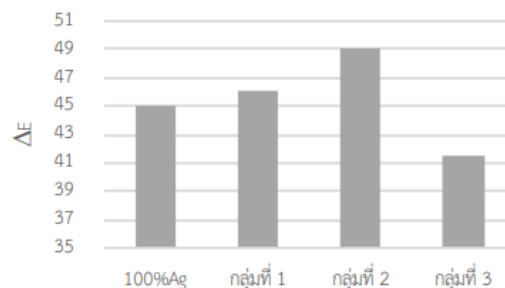
เพื่อศึกษาการต้านทานความหมอง ได้มีการวิเคราะห์ค่าความต่างของสี โดยการแปลผลการศึกษาระหว่างจะแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 เป็นการเติมคาร์บอนที่สังเคราะห์ขึ้นมา (Carbon Synthetic) กลุ่มที่ 2 เป็นการเติมคาร์บอนออกไซด์ และกลุ่มที่ 3 เป็นการเติมคาร์บอนบริสุทธิ์ (Pure carbon) ดังตารางที่ 1

4.1.1 ผลการทดสอบความต้านทานความหมองของสีต่อเหงื่อเทียม (Sweat Tarnish)

ค่า ΔL^* ซึ่งบ่งชี้ถึงความแตกต่างของสีขาว-ดำ และ ΔE ซึ่งบ่งชี้ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน ผลของค่าสีที่วัดได้หลังการทดสอบความต้านทานความหมองของสีต่อเหงื่อเทียม (Sweat Tarnish) พบว่าตัวอย่างที่เติมคาร์บอนกลุ่มที่ 3 (C=90 Wt% O=8 Wt%) แสดงค่า ΔL^* และค่า ΔE ต่ำกว่า ซิลเวอร์บริสุทธิ์ แต่กลุ่มที่ 2 (C=60 Wt%, O=36 Wt%) แสดงค่า ΔL^* และค่า ΔE สูงกว่าค่า ซิลเวอร์บริสุทธิ์ ดังรูปที่ 3 แสดงว่าการเติมคาร์บอนที่มีปริมาณธาตุออกซิเจนน้อยและเมื่อพิจารณาอีกหนึ่งปัจจัยพบว่าคาร์บอนที่คุณสมบัติการกระจายตัวดีช่วยในเรื่องของการลดความดำจากเหงื่อเทียมได้ดีกว่าการที่ไม่เติม



(1) ค่าความแตกต่างของสีขาว-ดำ ΔL^*



(ข) ค่าความแตกต่างของสีโดยรวม ΔE

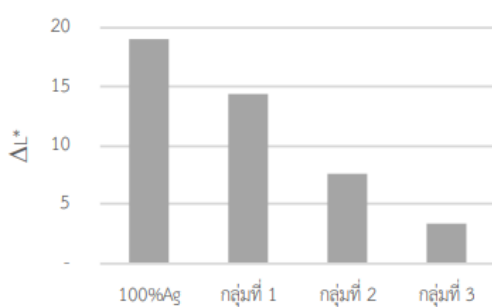
รูปที่ 3 ค่าความแตกต่างระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน

หลังการทดสอบ ความต้านทานความหมองของสีต่อเหงื่อเทียม (Sweat Tarnish)

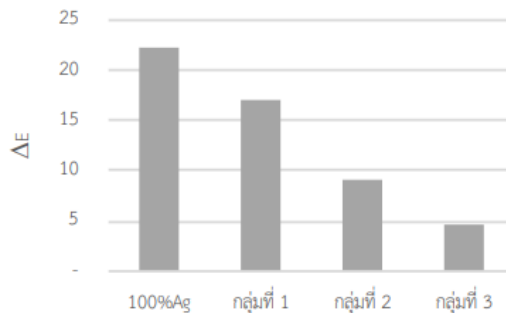
4.1.2 ผลการทดสอบความต้านทานของสีต่อแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S

Tarnish)

ค่า ΔL^* ซึ่งบอกลถึงความแตกต่างของสีขาว-ดำ ระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน ผลของค่าสีที่วัดได้หลังการทดสอบความต้านทานของสีต่อแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S Tarnish) พบว่าคาร์บอนกลุ่มที่ 3 (C = 90 Wt%) แสดงค่า ΔL^* ต่ำที่สุดแสดงว่าต้านทานการหมองได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มที่ 2 (C=60 Wt%) กลุ่มที่ 1 (C = 42 Wt%) และซิลเวอร์บริสุทธิ์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 5 แสดงว่าการเติมคาร์บอนช่วยในเรื่องของการลดความดำจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีกว่าการที่ไม่เติมโดยยังมีปริมาณคาร์บอนมากยิ่งขึ้นช่วยให้ลดความหมองได้มาก ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานยิ่งคาร์บอนมากจะไปช่วยทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ได้มากกว่า จึงช่วยลดการเกิดซิลเวอร์ซัลไฟด์ได้มากกว่า (Elnaz Bahmani, 2021) (E. Bahmani, 2020)



(ก) ค่าความแตกต่างของสีขาว-ดำ ΔL^*



(ข) ค่าความแตกต่างของสีโดยรวม ΔE

รูปที่ 4 ค่าความแตกต่างระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน

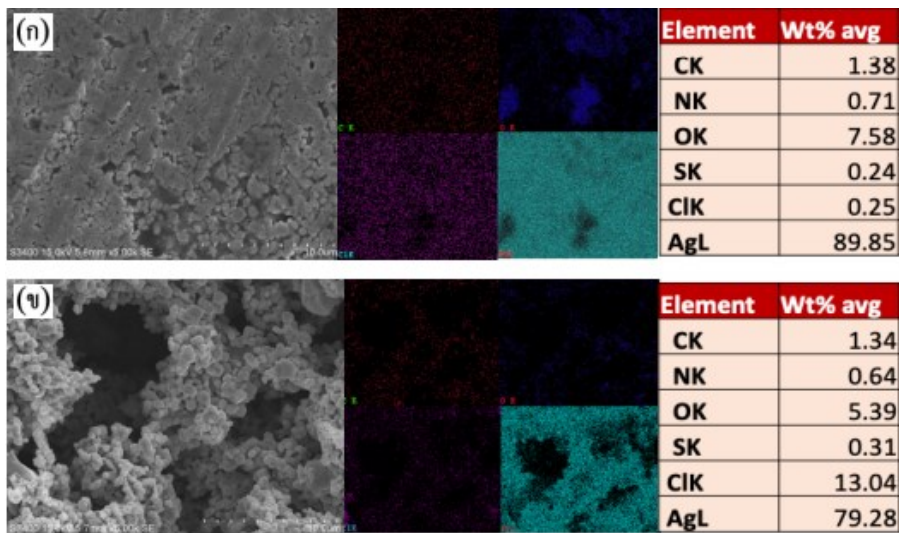
หลังการทดสอบความต้านทานของสีต่อแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S Tarnish)

4.2 ผลการวิเคราะห์ SEM-EDX

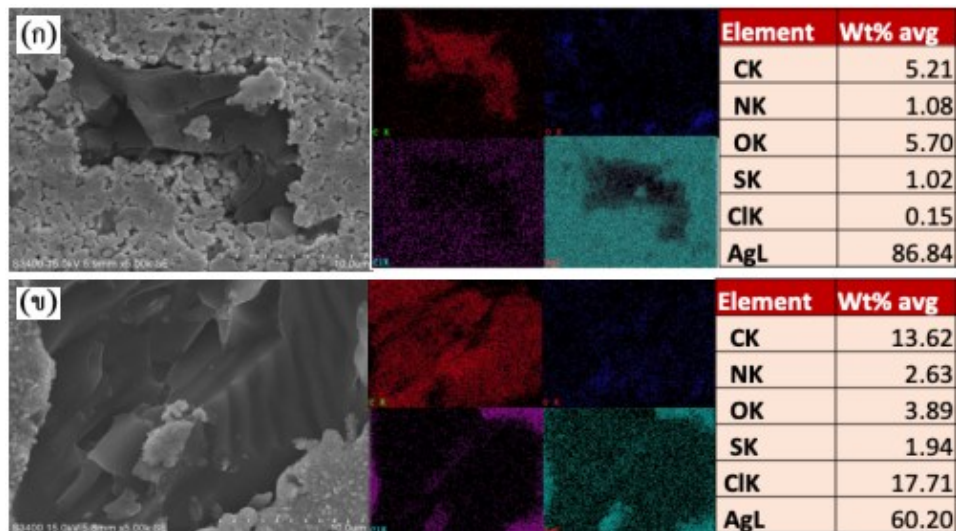
เพื่อศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการต้านทานความหมอง และการจับตัวสารที่นำไปสู่ความหมอง ได้มีการวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยการใช้เครื่อง scanning electron microscope energy dispersive X-ray analysis

4.2.1 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ก่อนและหลังจากทดสอบกับเหงื่อเทียม (Sweat Tarnish)

จากรูปที่ 5 และ รูปที่ 6 จุดที่เกิดการหมองจะสังเกตเห็นว่าตำแหน่งที่มีคาร์บอน (C) จะไม่พบคลอรีน (Cl) ในบริเวณนั้น อนุมานได้ว่าคาร์บอน (C) ไม่ทำปฏิกิริยากับคลอรีน (Cl) ดังนั้นเมื่อเติมคาร์บอน (C) เข้าไปช่วยกระจายตัวแทนที่ซิลเวอร์ (Ag) ทำให้ลดการหมองจากการเกิด AgCl ได้ จากรูปที่ 5 คือรูป SEM-EDX ก่อนและหลังนำตัวอย่างซิลเวอร์บริสุทธิ์ไปทดสอบกับเหงื่อเทียม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณซิลเวอร์ก่อนต่อซิลเวอร์หลังทดสอบ (89.85Wt%:79.28Wt%) และรูปที่ 6 คือรูปก่อนและหลังนำตัวอย่างที่เสริมด้วย 1% BC64G-PS1 ไปทดสอบกับเหงื่อเทียมเมื่อเปรียบเทียบปริมาณซิลเวอร์ก่อนต่อซิลเวอร์หลังทดสอบ (86.84Wt%:60.20Wt%) จะเห็นได้ว่าการเติมคาร์บอนไปช่วยในการลดซิลเวอร์ไม่ให้ไปจับกับคลอไรด์ซึ่งเป็นสาเหตุของการทำให้หมอง



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ SEM-EDX (ก) ก่อนนำตัวอย่างซิลเวอร์บริสุทธิ์ไปทดสอบกับเหงื่อเทียม
(ข) หลังนำตัวอย่างซิลเวอร์บริสุทธิ์ไปทดสอบกับเหงื่อเทียม

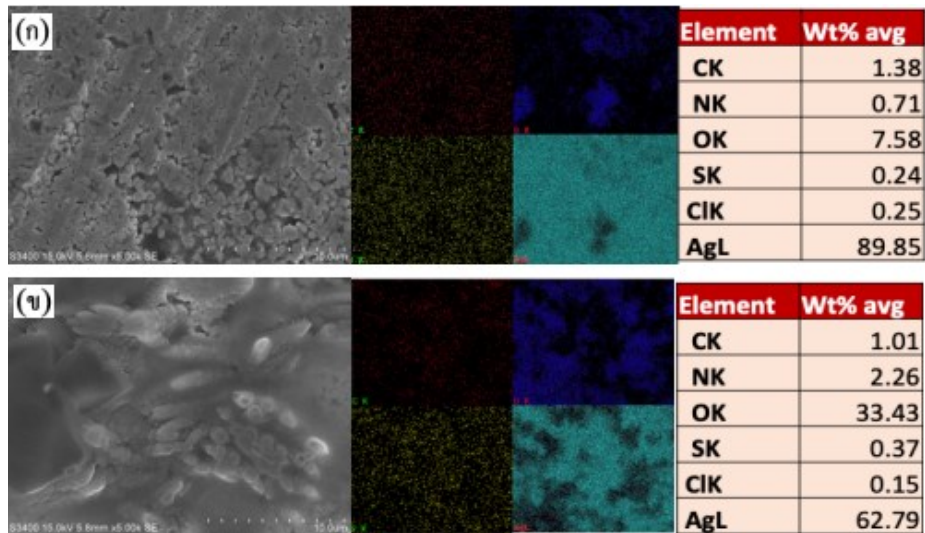


รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ SEM-EDX (ก) ก่อนนำตัวอย่างที่เสริมด้วย 1% BC64G-PS1 ไปทดสอบกับเหงื่อเทียม (ข) หลังนำตัวอย่างที่เสริมด้วย 1% BC64G-PS1 ไปทดสอบกับเหงื่อเทียม

4.2.2 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์หลังจากทดสอบกับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S Tarnish)

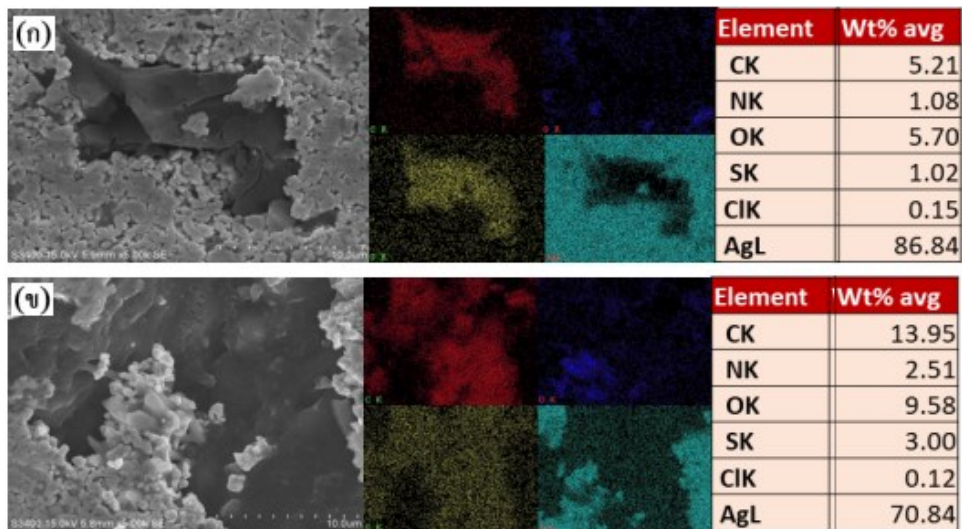
ผลการวิเคราะห์ SEM-EDX หลังนำตัวอย่างที่เสริมด้วย 1% BC64G-PS1 ไปทดสอบกับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S Tarnish) จุดที่เกิดการหมองจะสังเกตเห็นว่าตำแหน่งที่มีคาร์บอน (C) จะสังเกตเห็นซัลเฟอร์ (S) ในบริเวณนั้น ดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8 สรุปได้ว่าคาร์บอน (C) ทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ (S) ดังนั้นเป็นการช่วยให้ซัลเฟอร์ (S) ไม่ไปทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ (Ag) จึงยับยั้งการเกิด ซิลเวอร์ซัลไฟด์ (Ag_2S) (Muhammed Emre Ayhan, 2013)

นอกจากนี้ จากรูปที่ 7 คือรูป SEM-EDX ก่อนและหลังนำตัวอย่างบริสุทธิ์ไปทดสอบเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนก่อนต่อออกซิเจนหลังทดสอบ (7.58Wt%:33.43Wt%) พบว่าออกซิเจนหลังการทดสอบมีปริมาณเพิ่มขึ้น และรูปที่ 8 คือรูปก่อนและหลังนำตัวอย่างที่เสริมด้วย 1% BC64G-PS1 ไปทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนก่อนต่อออกซิเจนหลังทดสอบ (5.70Wt%:9.58Wt%) พบว่ามีปริมาณออกซิเจนเปลี่ยนไปน้อยกว่าซิลเวอร์บริสุทธิ์ จะเห็นได้ว่าการเติมคาร์บอนไปช่วยในการลดการเกิดซิลเวอร์ออกไซด์ (Ag_2O) (Elnaz Bahmani, 2021)



รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ SEM-EDX

- (ก) ก่อนนำตัวอย่างซิลเวอร์บริสุทธีไปทดสอบกับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์
 (ข) หลังนำตัวอย่างซิลเวอร์บริสุทธีไปทดสอบกับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์



รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ SEM-EDX

- (ก) ก่อนนำตัวอย่างที่เสริมด้วย 1% BC64G-PS1 ไปทดสอบกับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์
 (ข) หลังนำตัวอย่างที่เสริมด้วย 1% BC64G-PS1 ไปทดสอบกับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

5. สรุปและอภิปรายผล

จากผลการวิเคราะห์ค่าสี ตัวอย่างที่เติมวัสดุคาร์บอนหลังทดสอบเหงื่อเทียม พบว่าการเติมคาร์บอนที่มีปริมาณธาตุออกซิเจนน้อยและมีการกระจายตัวมากจะ ช่วยในเรื่องของการลดความหมองจากเหงื่อเทียมได้ดีกว่าการที่ไม่เติม และจากผลการวิเคราะห์ SEM-EDX หลังการทดสอบกับเหงื่อเทียม ถ้าตำแหน่งใดที่มีคาร์บอน (C) จะไม่สังเกตเห็นคลอรีน (Cl) ในบริเวณนั้น อนุมานได้ว่าคาร์บอน (C) ไม่จับตัวกับคลอรีน Cl ดังนั้นเมื่อเติม คาร์บอน (C) เข้าไปกระจายตัวในซิลเวอร์ (Ag) ทำให้พื้นที่ของซิลเวอร์ (Ag) ที่จะเกิดการหมองจากการจุ่มเหงื่อเทียม มีความหมองน้อยลง

ตัวอย่างที่เติมวัสดุคาร์บอนหลังการทดสอบแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าการเติมวัสดุคาร์บอน ช่วยในเรื่องของการลดความดำจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีกว่าการที่ไม่เติมโดยสารตัวเติมยังมีปริมาณคาร์บอนมากยิ่งช่วยให้ลดความหมองได้มาก จากผลการวิเคราะห์ SEM-EDX หลังการทดสอบกับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมื่อเติมวัสดุคาร์บอนเข้าไปแล้วคาร์บอน (C) จะไปช่วยสร้างพันธะกับซิลเฟอร์ (S) มากกว่าที่จะไปสร้างพันธะกับซิลเวอร์ (Ag) จึงทำให้ความหมองที่เกิดจากซิลเวอร์ซัลไฟด์ (Ag_2S) ลดน้อยลง นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนก่อนต่อออกซิเจนหลังทดสอบ พบว่ามีปริมาณออกซิเจนของซิลเวอร์ที่เติมคาร์บอนเปลี่ยนไปน้อยกว่า ซิลเวอร์บริสุทธิ์ จะเห็นได้ว่าการเติมคาร์บอนไปช่วยในการลดการเกิด ซิลเวอร์ออกไซด์ (Ag_2O)

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ดำเนินการจนประสบความสำเร็จจลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก ศ.ดร. จุงใจ ปั้นประณต (อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก) ผศ.ดร.ขจีพร วงศ์ปรีดี ดร.สุธาสนี วัตต์มณี และ บริษัท คริสตัลโลด์ จำกัด ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาความรู้ ข้อคิด ข้อเสนอแนะ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดจนงบประมาณสนับสนุนในงานวิจัยนี้ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- A. Zakeri, A. Sabour Rouh Aghdam E. Bahmani. (2020). *A fast and efficient approach to fabricate tarnish-resistant nanocrystalline Ag-Ge thin films by direct current electrodeposition*. Materials Letters.
- Ali Zakeri , Alireza Sabour Rouh Aghdam Elnaz Bahmani. (2021). *Protection of silver electrodeposit surfaces against accelerated and natural atmospheric corrosion by Ge incorporation in Ag structure; a microstructural investigation*. Surfaces and Interfaces.
- Anneli Julander, Jolinde Kettelarij, Carola Liden Klara Midander*. (November 2016). Testing in artificial sweat e Is less more? Comparison of metal release in two different artificial sweat solutions. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 381-386.
- center GIT Information. (2022). *สถานการณ์ส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับไทยเดือนมกราคม-ธันวาคม ปี 2565*. เข้าถึงได้จาก <https://infocenter.git.or.th/infographic/marketing?page=1>
- et al. Boonrat Lohwongwatana. (2015). Comparative Tests for Identification of Silver Tarnishing. *Lohwangwatana*, 249.
- Golap Kalita*, Subash Sharma , and Masaki Tanemura Muhammed Emre Ayhan. (2013). *Chemical vapor deposition of graphene on silver foil as a tarnish-resistant coating*. www.pss-rapid.com.
- Jing Liu,* Chenkai Gu, and Dawei Wu Fenghua Shen. (2019). Roles of Oxygen Functional Groups in Hydrogen Sulfide Adsorption on Activated Carbon Surface: A Density Functional Study. pubs.acs.org/IECR.
- ponpe.com. (2015). เข้าถึงได้จาก <https://www.ponpe.com/tech/770-colorimeter.html>
- S Mridha R Kunter. (2016). *Gold: Alloying, Properties, and Applications*. Elsevier Inc. .

ท้องฟ้าจำลองด้วยแผนที่เสียงของสื่อเรียนรู้ผ่านการคลำสัมผัส สำหรับนักเรียนผู้บกพร่องทางการเห็นระดับประถมศึกษา

ยุพดี หัตถสิน^{1*}, ศิวศิษย์ กุลศิริ²

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่

¹E-mail: uht@rmutl.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 066-851-647683

²E-mail: siwasit_ku50@rmutl.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 066-986-939451

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาสื่อท้องฟ้าจำลองสำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษาตอนต้นที่มีความบกพร่องทางการมองเห็น จากเดิมที่ไม่มีเสียงบรรยายและสื่อมีความแปรปรวนต่อการสัมผัสจนทำให้หมุดยึดกลุ่มดาวหลุดง่าย งานวิจัยนี้ได้เติมเต็มช่วยเพิ่มการเปล่งเสียงบอกชื่อ พร้อมบรรยายลักษณะ และช่วยป้องกันความสับสนในการแยกแยะระดับกลุ่มดวงดาว ในการเรียนรู้เกี่ยวกับกลุ่มดาวรอบโลก อีกทั้งช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนมีจินตนาการ ถึงรูปร่างลักษณะของกลุ่มดาวจำนวน 7 กลุ่มได้ถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ งานวิจัยได้ประยุกต์ใช้บอร์ด Arduino UNO ควบคุม Serial MP3 Players ให้เล่นและเปล่งเสียงบรรยายผ่านออกทางลำโพง และควบคุมการกดปุ่มสวิตซ์ทั้ง 7 ปุ่ม อีกทั้งมีการใช้ไวลุ่มปรับระดับเสียงได้ มีการใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรม ในช่วงแพร่ระบาดของโควิด 19 งานวิจัยนี้ยังจำเป็นต้องทดสอบด้านฟังก์ชันพื้นฐานของระบบ การทดสอบการใช้งานได้จริงจากอาสาสมัครที่เป็นผู้ดูแลระบบจำนวน 5 คน การทดสอบการใช้งานได้จริงของอาสาสมัครที่มีตาปกติ 10 คนโดยใช้วิธีปิดตา กับไม่ปิดตา ขณะทดสอบ และการทดสอบการใช้งานได้จริงจากอาสาสมัครผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็น พร้อมคุณครูผู้สอนนักเรียนระดับประถมศึกษาตอนต้นที่มีความบกพร่องทางการเห็นที่โรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือในพระบรมราชินูปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 5 คน โดยทำการประเมิน 3 ด้านคือ ด้านความสะดวกใช้งาน, ด้านการออกแบบ, และด้านความปลอดภัย ผลการประเมิน ที่ได้คือ ด้านการออกแบบจากผู้ดูแลระบบได้ร้อยละ 91.43 ผู้ที่มีสายตาทปกติแบบไม่ปิดตาได้ร้อยละ 88.75 ผู้ที่มีสายตาทปกติแบบใช้ผ้าปิดตาได้ร้อยละ 90.65 และนักเรียนระดับประถมศึกษาตอนต้น ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นและคุณครูผู้สอนได้ร้อยละ 85.63 ตามลำดับ ทั้งนี้ด้านที่ 2 และ 3 ก็มีผลประเมินใกล้เคียงกัน คืออยู่ในเกณฑ์ที่ดีถึงดีมากตามลำดับเช่นกัน อันแสดงถึงการช่วยสนับสนุน ให้สามารถจินตนาการตำแหน่งดวงดาวของท้องฟ้าจำลองได้ แม่นยำเหมือนคนตาปกติ

คำสำคัญ: ผู้บกพร่องทางการมองเห็น, อาดูโน้, กลุ่มดาว, จินตนาการ, คลำสัมผัส, โควิด 19.

The development of planetarium media with audio maps of tactile learning media for visually impaired elementary school students

Upady Hatthasin^{1*}, Siwasit Kulsiri²

^{1,2}Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Lanna, Chiang Mai, 128 HuayKaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

^{1*}E-mail: uht@rmutl.ac.th, Telephone (Author): 066-851-6847683

²E-mail: siwasit_ku50@rmutl.ac.th, Telephone: 066-986-939451

Abstract

This research has developed a planetarium media for visually impaired elementary school students. Originally, there was a narrative without audio sound, and the media was so fragile to the touch that the constellation pins could easily be off. This research was complementary with the articulation of names and descriptions, and helped to avoid confusion when differentiating between levels of constellations in the study of constellations around the world. It also encouraged students to imagine the shape and the characterization of the 7 constellations correctly according to science principles. This research applied the Arduino UNO board to control Serial MP3 Players to play and emit lectures articulate through the speakers, and to control the press of all 7 switch buttons, as well as to use adjustable volume buttons. In addition, the C language was used for programming. During the COVID-19 pandemic, this research was required to test the basic functions of the system, the usability test from 5 the usability test from their volunteer administrators, the usability test from 10 unblinded people with and without eyes covering during the test, and the usability test from their 5 visually elementary school students and teachers at the Northern region school for the blind under the royal patronage of Her Majesty the Queen, Chiang mai. The assessment consists of 3 aspects, user-friendliness design, and safety. The result of the design evaluation from administrators, unblinded people without eyes covering, unblinded people with eyes covering, and elementary visually impaired students and their teachers

were 91.43%, 88.75%, 90.65% and 85.63%, respectively. The rest showed a similar result trend which were in the criteria of good to very good. This represented the support for visually impaired students to be able to imagine and position as accurately as a normal person.

Keywords: Visually impaired, Arduino, Constellation, Imagination, tactile, COVID 19.

1. บทนำ

ในปัจจุบันการศึกษามีส่วนสำคัญเป็นอย่างมากต่อเยาวชนไทย โดยเฉพาะนักเรียนผู้บกพร่องทางการเห็น(ร.ร.สอนคนตาบอด, 2565)(มูลนิธิธรรมิกชน, 2560) ที่มีความจำเป็นต้องอาศัยสื่อการเรียนรู้เพื่อทำความเข้าใจ แต่สื่อต่าง ๆ สำหรับพวกเขาก็ยังมีข้อจำกัดอยู่มากมาย เนื่องจากพวกเขาสามารถเรียนรู้ได้เพียง 2 ลักษณะ นั่นคือการฟังและการคลำสัมผัส แม้ปัจจุบันอุปกรณ์ทางการศึกษาสำหรับพวกเขาจะเริ่มมีรูปแบบมากขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์: สัตว์และสิ่งแวดล้อม 3 มิติ(Upady, 2021), ไมโครแทกเตอร์และเซ็นเซอร์(Upady, 2020), ออกแบบ LED เป็นรูปทรงเลขาคณิตและตัวอักษร(Upady, 2020) เป็นต้น แต่ก็ยังถือว่ามีการแสดงออกมาไม่เด่นชัดให้สอดคล้องกับภาวะของผู้เรียนและสอนได้เท่าที่ควร โดยเฉพาะสื่อห้องฟ้าจำลอง(พิสิฐฐ และ สุวนิตย์, 2562) ดังแสดงในรูปที่ 1 ที่ยังคงมีข้อจำกัดอันเนื่องมาจากการไม่มีเสียงบรรยายในตัวสื่อ ส่งผลกระทบให้คุณครูผู้สอนต้องพูดซ้ำทุก ๆ ครั้งแม้ผู้เรียนจำเป็นต้องทบทวนบทเรียนก็ตาม อีกทั้งวัสดุของสื่อก็ทำมาจากโฟมซึ่งเป็นวัสดุไม่คงทนต่อการคลำสัมผัสซ้ำ ๆ ในระยะยาวของการเรียนรู้ รวมไปถึงเข็มหมุดที่ปักโฟมในแต่ละกลุ่มดวงดาวซึ่งเมื่อหลุดออกมาจากโฟมแล้ว การซ่อมแซมปักหมุดเข้าไปใหม่ จะไม่ติดแน่นเหมือนตอนแรก

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยจึงได้สร้างสื่อเครื่องห้องฟ้าจำลองที่มีนวัตกรรมการเปล่งเสียงบอกชื่อกลุ่มดวงดาวได้ พร้อมกับเปล่งเสียงบรรยายลักษณะกลุ่มดวงดาวได้ มีความคงทนต่อการคลำสัมผัสในระยะยาวโดยไม่ต้องซ่อมแซมปักหมุดซ้ำ ๆ อีกแล้ว มีการยึดหมุดติดแน่นถาวรประจำตำแหน่งกลุ่มดวงดาว อีกทั้งมุ่งเป้าหมายไปที่ 7 กลุ่มดวงดาวที่สามารถถูกสังเกตเห็นได้จากห้องฟ้ายามค่ำคืนในประเทศไทยอันคือ 1 (กลุ่มดาวนายพราน, 2562), 2 (กลุ่มดาววัว, 2562), 3 กลุ่มดาวลูกไก่(วรเชษฐ์, 2563), 4 (กลุ่มดาวหมีเล็ก, 2562), 5 (กลุ่มดาวหมีใหญ่, 2562), 6 (กลุ่มดาวสิงโต, 2563), และ 7 (กลุ่มดาวคนคู่, 2562) ตามลำดับ อีกทั้งเพื่อช่วยให้ผู้เรียนผู้บกพร่องทางการเห็นสามารถทบทวนหน่วยเรียนได้ด้วยตนเองโดยไม่ต้องรบกวนผู้สอนอีกต่อไป

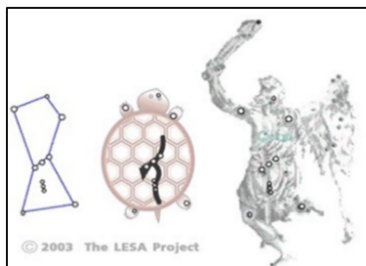


รูปที่ 1 สื่อที่สร้างจากโฟมเพื่อทำท้องฟ้าจำลองรุ่นแรก (พิสิฏฐ และ สุวนิตย์, 2562)

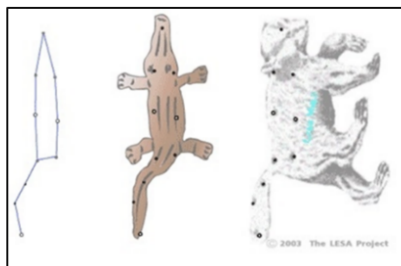
2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 Constellations หรือ “กลุ่มดวงดาว”

กลุ่มดวงดาว (Constellations) บนท้องฟ้ามีความแตกต่างกันไปตามวัฒนธรรม เช่น ชาวยุโรปซึ่งอยู่บนภูเขามืออาชีพล่าสัตว์ มองเห็นกลุ่มดาวนายพราน (Orion) เป็นรูปนายพราน ส่วนคนไทยตั้งบ้านเรือนอยู่ริมน้ำ จึงมองเห็นกลุ่มดาวนี้เป็นรูปเต่า/คันไถ ดังในรูปที่ 2 ก) ส่วนกลุ่มดาวหมีใหญ่ (Ursa Major) ก็เช่นกัน ชาวยุโรปซึ่งใช้ชีวิตบนภูเขามองเห็นเป็นรูปหมีใหญ่ แต่คนไทยใช้ชีวิตอยู่ริมน้ำ จึงมองเห็นเป็นรูปจระเข้ ดังในรูปที่ 2 ข) ตามจินตนาการและความแตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น เชื้อชาติ ภาษา และวัฒนธรรม



ก) กลุ่มดาวเต่าหรือกลุ่มดาวนายพราน



ข) กลุ่มดาวจระเข้หรือกลุ่มดาวหมีใหญ่

รูปที่ 2 กลุ่มดาวนายพรานและหมีใหญ่ (LESA, 2564)

กลุ่มดาวในความหมายที่แท้จริง: ดาวฤกษ์บนท้องฟ้า (LESA, 2564) แท้จริงมีขนาดไม่เท่ากัน และอยู่ห่างจากโลกของเรา ด้วยระยะทางที่แตกต่างกันออกไป แต่เนื่องจากดาวฤกษ์แต่ละดวงอยู่ห่างจากเรามาก เราจึงมองเห็นเป็นเพียงจุดแสง เพียงแต่แตกต่างกันที่สีและความสว่าง ในความเป็นจริง ดาวฤกษ์ต่าง ๆ มีขนาดแตกต่างกันมาก และมีระยะทางห่างจากโลกแตกต่างกันมากด้วย

2.2 ลักษณะของผู้บกพร่องทางการเห็น

นิยามทางการแพทย์ ระบุว่าคนที่บกพร่องทางการมองเห็น (มูลนิธิธรรมิกชน, 2566) หรือคนตาบอด คือ ผู้ที่มองไม่เห็นหรือพอเห็นเห็นแสง เห็นเลือนราง และมีความบกพร่องทางสายตาทั้งสองข้าง โดยสามารถมองเห็นได้ไม่ถึง 1/10 ของคนปกติ หลังจากที่ได้รับการรักษาและแก้ไขทางการแพทย์ ถูกแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ 1) ตาบอดสนิท หมายถึงไม่สามารถมองเห็นได้เลย หรืออาจมองเห็นได้บ้างไม่มากนัก ไม่สามารถใช้สายตาหรือไม่มีการใช้สายตาให้เป็นประโยชน์ในการเรียน การสอน หรือทำกิจกรรมได้ ต้องใช้ประสาทสัมผัสอื่นแทนในการเรียนรู้ 2) ตาบอดไม่สนิทหรือบอดเพียงบางส่วน สายตาเลือนราง หมายถึง มีความบกพร่องทางสายตา สามารถมองเห็นบ้าง แต่ไม่เท่าคนปกติ

ปกติแล้ว คนตาบอดจะได้รับการสอนให้ใช้อักษรเบรลล์เป็นสื่อในการอ่าน และเขียนหนังสือ นอกจากนี้ก็อาจเรียนรู้ผ่านสื่ออื่นๆ เช่น เสียง สื่ออิเล็กทรอนิกส์ หรือคอมพิวเตอร์ และอักษรขยายใหญ่สำหรับคนที่เห็นเลือนรางได้ โดยการเรียนรู้ในช่วงเรียนชั้นประถม ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทำความรู้จักอักษรเบรลล์ เพื่อเตรียมความพร้อมในสิ่งที่พวกเขาจำเป็นต้องเผชิญในอนาคต โดยอาจขึ้นอยู่กับเหตุปัจจัยหลายประการ เช่น ทักษะในการทำควมคุ้นเคยกับสภาพแวดล้อม และการเคลื่อนไหว เทคนิคในการใช้ไม้เท้าขาว หรืออุปกรณ์ช่วยในการเดินทางชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ ยังขึ้นกับสภาพแวดล้อม เจตคติของผู้คนรอบข้าง ความคาดหวังของผู้อื่น หรือตนเองที่มีต่อความสามารถของคนตาบอดแต่ละคน

2.3 กรอบแนวคิดของงานวิจัยสื่อท้องถิ่นจำลอง

เพื่อที่จะนำมาสร้างให้เป็นสื่อการสอนท้องถิ่นจำลองด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ได้อย่างสมบูรณ์ จึงมีการเชื่อมโยงหลักการต่าง ๆ เข้าด้วยกันอย่างลงตัวจนสามารถเขียนออกมาเป็นกรอบแนวคิดได้ 3 บล็อกใหญ่ๆ ที่มีเส้นประของส่วน INPUT, PROCESS, และ OUTPUT ดังแสดงในรูปที่ 3 ทั้งนี้ในแต่ละบล็อกเส้นประก็ยังคงประกอบด้วยบล็อกย่อย ๆ เพื่อเน้นให้เห็นรายละเอียดอันจะช่วยเติมเต็มแก้ปัญหาจากงานสื่อเดิมให้ใช้งานได้กับนักเรียนผู้บกพร่องทางการเห็นระดับประถมต้น โดยแสดงหน้าที่ของแต่ละบล็อกย่อยได้ดังนี้

บล็อก A: เป็นพื้นที่สื่อเรียนรู้ให้ผู้เรียนสามารถใช้มีสื่อคำสั่งสัมผัสเปรียบเทียบตำแหน่งกลุ่มดาวกับปุ่มกด

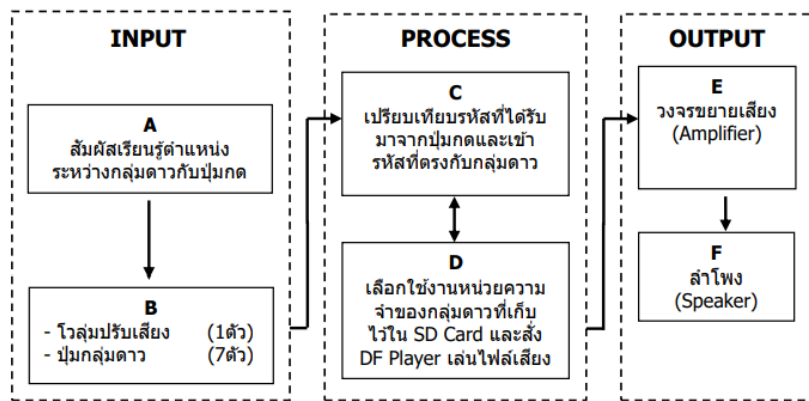
บล็อก B: เป็นสวิตช์ปุ่มกดประจำอยู่บนพื้นที่สื่อท้องถิ่นจำลองประจำกลุ่มดวงดาวจำนวน 7 ตัว และ โวลุ่มปรับเสียงจำนวน 1 ตัว

บล็อก C: เปรียบเทียบสัญญาณที่ได้รับมาจากบล็อก B โดยใช้ Micro-processor รุ่น Arduino UNO และทำการเรียกใช้ข้อมูลจาก SD Card ที่อยู่ในบล็อก D ตามที่ได้โปรแกรมเอาไว้

บล็อก D: เลือกใช้ข้อมูลกลุ่มดาวที่ถูกเก็บไว้ใน SD Card และสั่ง DF Player เล่นไฟล์เสียง

บล็อก E: ขยายสัญญาณที่ส่งมาจากบล็อก D ให้แรงมากขึ้นก่อนส่งต่อไปให้บล็อก F

บล็อก F: รับสัญญาณจากบล็อก E และแปลงให้สัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณเสียงออกลำโพง



รูปที่ 3 กรอบแนวคิดการทำงานของการทำสร้างเครื่องทอ้งฟ้าจำลอง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การถอดกรอบแนวคิดให้ออกมาเป็นโครงสร้างระบบด้านฮาร์ดแวร์

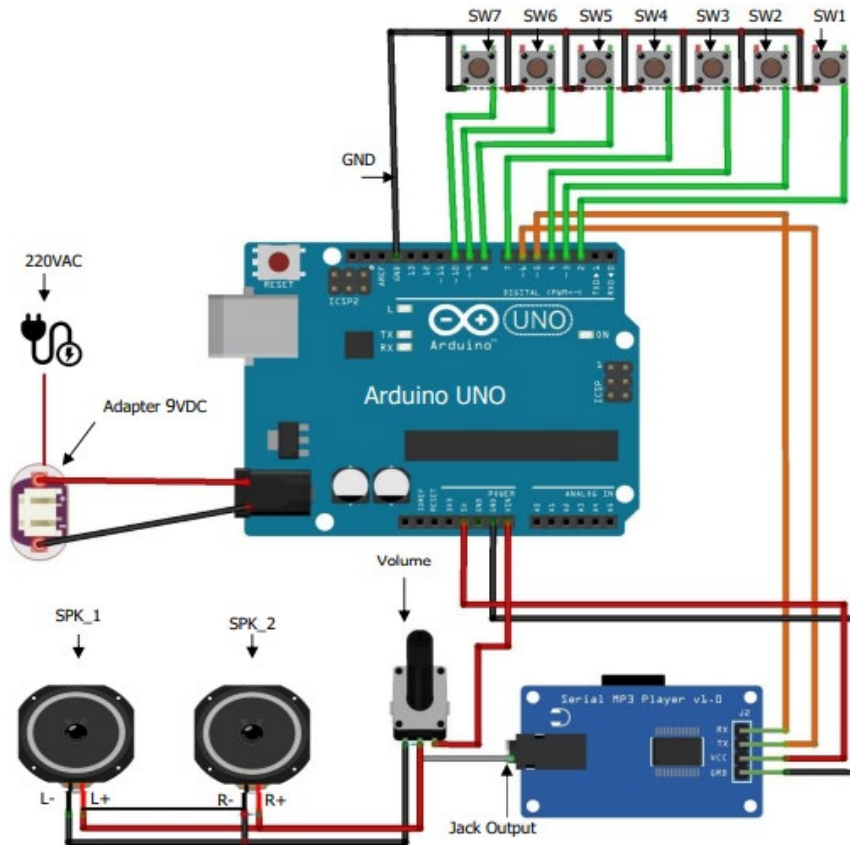
การถอดความหมายจากนามธรรมของกรอบแนวคิดให้ออกมาเป็นรูปธรรมทางฮาร์ดแวร์ ได้ถูกจัดทำขึ้นอย่างเป็นโครงสร้างระบบ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้รับคำแนะนำจากทีมคุณครูผู้สอนที่ (รร.สอนคนตาบอด, 2565) ในด้านขีดจำกัดด้านการเรียนรู้ของนักเรียนผู้บกพร่องทางการเห็น ระดับประถมต้น

นวัตกรรมที่สร้างขึ้นจึงประกอบด้วย: 1) สื่อการเรียนการสอนที่สนับสนุนให้นักเรียนสามารถจินตนาการได้ถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์, 2) ความต้องการให้นักเรียนได้รับรู้ผ่านการคลำสัมผัสถึงความเป็นรูปลักษณะเฉพาะของแต่ละกลุ่มดาวแทนการบอกเล่าเพียงคำพูด, 3) ความมีลักษณะมิติโค้งเว้าสมจริงของสื่อเมื่อแหงนหน้ามองขึ้นไปบนท้องฟ้าแบบการรับรู้ของคนปกติเท่าที่จะเป็นไปได้, และ 4) มีเสียงเปล่งบอกชื่อกลุ่มดาวพร้อมบรรยายถึงลักษณะของมันในช่วงสั้น ๆ ได้อย่างสัมพันธ์กันกับกลุ่มดวงดาวทั้ง 7 บนท้องฟ้าจำลอง อนึ่ง สิ่งสำคัญก่อนจะลงมือสร้างให้เป็นระบบฮาร์ดแวร์ ผู้ทำวิจัยก็ยังคงคำนึงถึงขีดความสามารถและขีดจำกัดของอุปกรณ์แต่ละชนิด

3.2 การออกแบบสร้างระบบด้านฮาร์ดแวร์

จากรูปที่ 4 เป็นไดอะแกรมวงจรที่ประยุกต์ใช้การเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกัน มี Arduino UNO เป็นตัวประมวลผลกลาง มีการเชื่อมต่อกับ Serial MP3 Player (MP3 Serial UART Arduino, 2565) โดยต่อกับไฟ 9V ของ Arduino UNO เข้าขา Vcc และต่อกับกราวด์(GND) กับขาที่ GND ของ Serial MP3 Player

แล้วต่อขาที่ 5-6 ของ Arduino UNO ต่อเข้ากับขาที่ 6(Tx) และ 5(Rx) ของ Serial MP3 Player ตามลำดับ, ทำการเชื่อมต่อ VCC และต่อกับกราวด์(GND) จาก Arduino UNO เข้ากับ Serial MP3 Player และ เอาต์พุตคือพอร์ต Jack ต่อลำโพงออกลำโพงภายนอก(แอมพลิฟายเออร์, 2565), จากนั้นทำการต่อปุ่มสวิตช์ประจำกลุ่มดาวเข้ากับ Arduino UNO เป็นกลุ่มดาวที่ 1-7 ให้เชื่อมต่อกับขาที่ 2-4, และ 7-10 ตามลำดับ



รูปที่ 4 Element Diagram

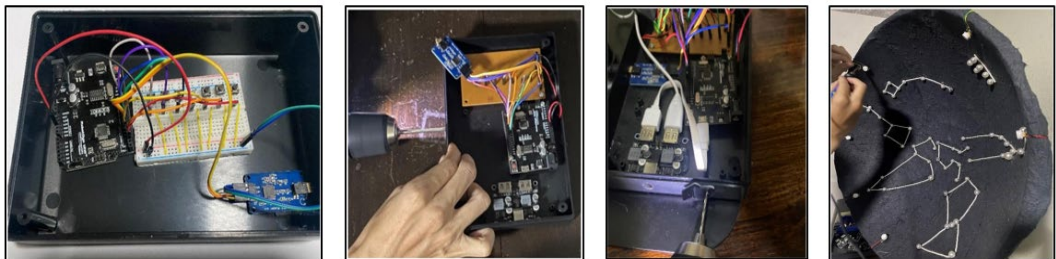
3.3 ออกแบบเพื่อวางตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารเครื่องท้องฟ้าจำลอง

ผ้าลูกบอลลอนออกเป็นครึ่งซีก แล้วนำมาคลุมด้วยเส้นใยแก้วเพื่อป้องกันไฟฟ้าช็อต ก่อนลงเลซินเคลือบผิวให้ยึดแข็งอยู่ตัว จากนั้นวาดรูปกลุ่มดวงดาวลงไปตรงที่เป็นแฉ่งดังในรูปที่ 5 (ก) พร้อมเจาะรูเพื่อปักหมุดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางหลากหลายขนาดอันจะช่วยให้นักเรียน แยกแยะได้ว่าดาวดวงใดใหญ่ที่สุดสว่างในหม่กลุ่มดาวนั้น ๆ, รูปที่ 5 (ข) ทำการแปะกระดาษสาสี เพื่อเก็บพื้นผิวท้องฟ้าให้ราบเรียบ, รูปที่ 5 (ค) ลงมือปักหมุดร้อยเชือกโยงความสัมพันธ์ แต่ละกลุ่มดาว, และรูปที่ 5 (ง) แสดงตำแหน่งการปักหมุดและเส้นโยงกลุ่มดาวทั้ง 7 ที่ทำเสร็จในเบื้องต้น



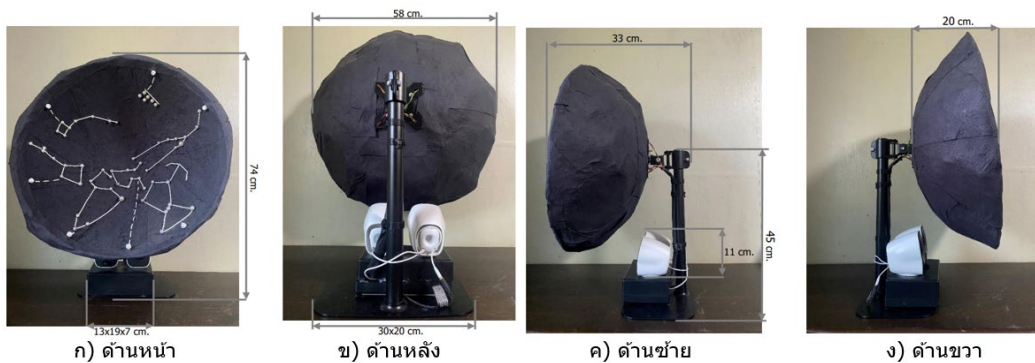
ก) วาดรูปพร้อมเจาะรูชิ้นงาน ข) แปะกระดาษสา ค) ปักหมุดร้อยเชือกโยงกลุ่มดาว ง) ตำแหน่งปักหมุดและเส้นโยง

รูปที่ 5 บรรยากาศขณะสร้างท้องฟ้าจำลอง



ก) หาตำแหน่งวางวงจรในกล่อง ข) เจาะรูเพื่อยึด ค) เจาะรูใส่ตัวล็อก ง) เชื่อมต่อสวิทช์เข้ากับกล่อง

รูปที่ 6 ประกอบวงจรเข้ากับกล่องควบคุมและเชื่อมโยงสายไฟเชื่อมปุ่มสวิทช์

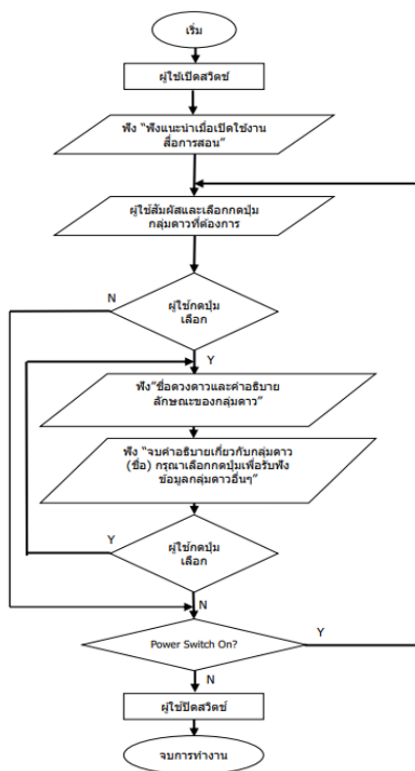


รูปที่ 7 ลักษณะของสื่อการเรียนการสอนเครื่องท้อฟ้าจำลองสำหรับผู้ปกครองทางการเห็น
ระดับประถมต้น

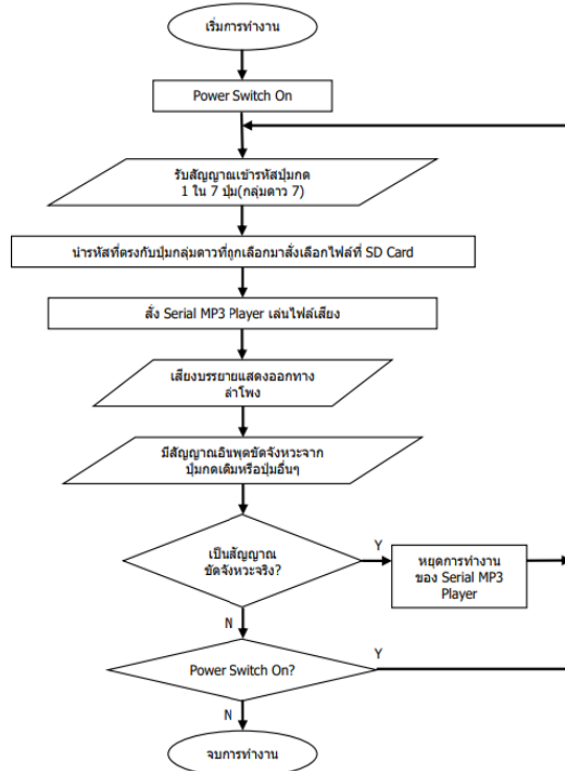
นำอุปกรณ์จากรูปที่ 6 มาประกอบเชื่อมต่อและสร้างเป็นวงจร จากนั้นออกแบบหาตำแหน่งการวางแผ่นวงจรลงในกล่องควบคุมดังแสดงในรูปที่ 6 (ก), ส่วนรูปที่ 6 (ข) เป็นการใช้สว่านเจาะรูกล่องควบคุมเพื่อยึดกับแผ่นวงจร, รูปที่ 6 (ค) ทำการเจาะรูเพื่อใส่ตัวล็อกเข้ากับขาตั้งของเครื่องท้อฟ้าจำลองฯ, และทำการเดินสายสัญญาณจากกล่องควบคุมผ่านขาตั้งขึ้นไปเชื่อมต่อกับแต่ละสวิทช์ประจำกลุ่มดวงดาวที่มีอยู่รายรอบชายขอบท้อฟ้าจำลองดังแสดงในรูปที่ 6 (ง) ทั้งนี้ ลักษณะมิติด้านหน้า/ด้านหลัง/ด้านซ้าย/ด้านขวาของสื่อการเรียนการสอนเครื่องท้อฟ้าจำลองฯ เมื่อสร้างได้เสร็จสมบูรณ์สามารถแสดงได้ในรูปที่ 7

3.4 การออกแบบโปรแกรมควบคุมด้านอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

การออกแบบซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8 โดยรูปที่ 8 (ก) แสดงแผนผังเป้าหมายการทำงานของผู้ใช้งาน (Users) ที่เป็นนักเรียนผู้ปกครองทางการเห็นระดับประถมต้น ส่วนรูปที่ 8 (ข) แสดงแผนผังการทำงานของระบบ (System) เพื่อควบคุมระบบท้อฟ้าจำลองที่เป็นฮาร์ดแวร์มีการใช้ภาษาซีเพื่อเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์ให้เชื่อมต่อกับหน่วยอินพุต/เอาต์พุตฮาร์ดแวร์ Arduino UNO ดังกล่าว



ก) แผนผังการทำงานของผู้ใช้งานหรือ Users



ข) แผนผังทำงานของระบบเครื่องทอ่งฟ้าจำลอง

รูปที่ 8 ออกแบบแผนผังการทำงานของ Users และ System

4. ผลการวิจัย

4.1 เตรียมการก่อนลงมือทดสอบ

ในช่วงเกิดโควิด 19 ได้มีการออกแบบใบประเมินเพื่อตรวจสอบคุณภาพและประสิทธิภาพของระบบ มีหัวข้อที่ใช้ประเมินอยู่ 3 ด้านอันประกอบด้วย: ความสะดวกใช้งาน, การออกแบบ, และความปลอดภัย ตามลำดับ ซึ่งก่อนการทดสอบต้องสาธิตวิธีใช้งานเครื่องทอ่งฟ้าจำลองให้แก่อาสาสมัคร โดยตำแหน่งสวิตซ์แสดงได้ในรูปที่ 9 กรณีกลุ่มผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่จะทำการทดสอบใช้งานจริงนี้ จะต้องทำการปิดตาผู้ทดสอบก่อนลงมือใช้งานทดสอบในรอบแรกเพื่อให้ผู้ทดสอบได้รับรู้และได้เข้าถึงความขาดแคลนประสาทสัมผัสทางกายภาพด้านการมองเห็น ส่วนรอบที่สองจึงอนุญาตให้เอาผ้าปิดตาออก (สามารถมองเห็นเครื่องทอ่งฟ้าจำลอง)

จากนั้นจึงแจกใบประเมิน เพื่อให้ผู้ทดสอบกรอกคะแนนประเมินผล ในช่วงที่มีการแพร่ระบาดของเชื้อโควิด 19 งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ทดสอบใช้งานจากกลุ่มอาสาสมัครจำนวน 4 กลุ่มคือ 1) ผู้ดูแลระบบที่มีสายตาศักดิ์จำนวน 5 คน, 2) ผู้ใช้งานสายตาศักดิ์จำนวน 10

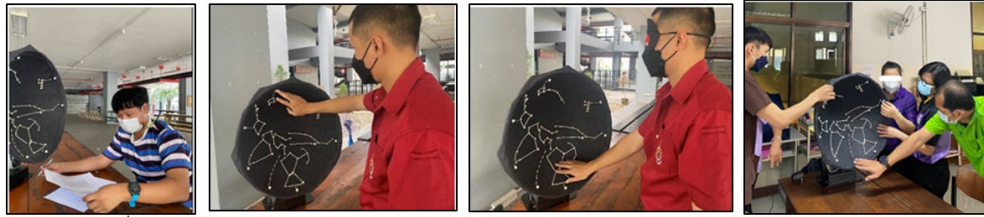
คน, 3) ผู้ใช้งานสายตาศายตาปกติแต่ได้ใช้ผ้าปิดตาขณะประเมินจำนวน 6 คน ระดับปริญญาตรีปี3-4 หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์จาก(มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงใหม่, 2565), และ 4) นักเรียนผู้บกพร่องทางการเห็นพร้อมคุณครูผู้สอนเด็กชั้นประถมต้นจำนวน 5 คนจาก (รร.สอนคนตาบอด, 2565) โดยบรรยากาศการประเมินแสดงได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 ตำแหน่งสวิตช์ปุ่มกดทั้ง 7 กลุ่มดวงดาวบนเครื่องทอผ้าจำลองที่นำเสนอ

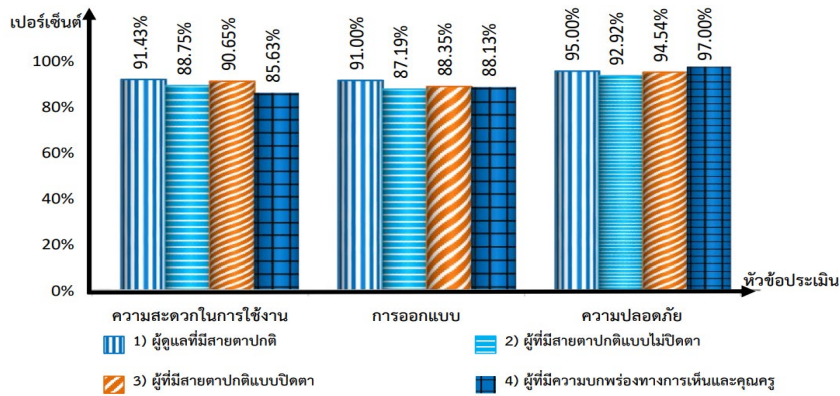
4.2 กราฟผลประเมินการทดสอบจากอาสาสมัคร 4 กลุ่ม

จากการประเมิน 3 ด้านคือ ด้านสะดวกใช้งาน, ด้านออกแบบ, และด้านความปลอดภัย ผลการประเมินที่ได้คือ ด้านสะดวกใช้งานจาก ผู้ดูแลระบบได้ร้อยละ 91.43, ผู้สายตาศายตาแบบไม่ปิดตาได้ร้อยละ 88.75, ผู้สายตาศายตาแบบใช้ผ้าปิดตาได้ร้อยละ 90.65, นักเรียนผู้บกพร่องทางการเห็นพร้อมคุณครูผู้สอนเด็กชั้นประถมต้นได้ร้อยละ 85.63 ตามลำดับ ทั้งนี้ด้านที่ 2 และ 3 ก็มีผลประเมินใกล้เคียงกัน คืออยู่ในเกณฑ์ที่ดีมากตามลำดับเช่นกัน อันแสดงถึงการช่วยสนับสนุนให้สามารถจินตนาการตำแหน่งดวงดาวของทอผ้าจำลองได้แม่นยำเหมือนคนตาปกติ โดยสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 11 ซึ่งผลการประเมินดังกล่าวต้องนำมาหาค่าเฉลี่ยทางสถิติ แล้วปรับหน่วยให้อยู่ในเปอร์เซ็นต์ จะได้เกณฑ์คะแนนอยู่ระหว่างดีจนถึงดีมากสำหรับทุก ๆ หัวข้อประเมิน



ก) ผู้ดูแลระบบที่มีสายตาปกติ ข) ผู้มีสายตาสายตาปกติแบบไม่ปิดตา ค) ผู้มีสายตาสายตาปกติแบบปิดตา ง) ผู้บกพร่องทางการเห็น

รูปที่ 10 บรรยากาศขณะทำการทดสอบและประเมินโดยอาสาสมัคร ทั้ง 4 กลุ่มเกี่ยวกับเครื่องท้องฟ้าจำลอง



รูปที่ 11 ผลการประเมินจากผู้ทดสอบทั้ง 4 กลุ่ม ในด้านความสะดวกใช้งาน การออกแบบและความปลอดภัย

4.3 การแปลความหมายและวิเคราะห์ผลที่ค้นพบ

ผลลัพธ์ของการประเมินหรือคะแนนที่ได้มาจากการประเมินของกลุ่มอาสาสมัครทั้ง 4 กลุ่มนี้ เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยทางสถิติแล้วแสดงผลเป็นกราฟดังในรูปที่ 11 นั้นได้ถูกแปลความหมายผลเปรียบเทียบกรณีการออกแบบสื่อเรียนรู้เครื่องท้องฟ้าจำลอง ทำให้ได้ทราบว่าด้านการออกแบบที่ได้คะแนนสูงสุดมาจากคือ ผู้ดูแลที่มีสายตาปกติได้คะแนนร้อยละ 91.00 และต่ำสุดคือ ผู้มีสายตาปกติแบบไม่ปิดตาได้คะแนนร้อยละ 87.19 ถูกแสดงให้เห็นว่าผู้ดูแลที่มีสายตาปกติได้พิจารณาวิเคราะห์เจาะไปถึงความเหมาะสมที่เครื่องถูกออกแบบมาใช้งานได้ตรงตามจุดประสงค์และตอบโจทย์เรื่องการมีคู่มือข้อมูลแล้วไว้ใช้แก้ไขกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน ส่วนผู้มีสายตาปกติแบบไม่ใช้ผ้าปิดตาที่ให้คะแนนต่ำสุดหมายความว่า พวกเขาสามารถมองเห็นการใช้วัสดุที่เหมือนกันในการทำเส้นเชื่อมโยงกลุ่มดวงดาวทำให้มองเห็นสีสันทันน้อยลง

รวมถึงมองเห็นหอดูดาวประจำตำแหน่งของกลุ่มดวงดาวที่มีสีเดียวกัน ซึ่งเป็นความต้องการ
ขั้นพื้นฐานของมนุษย์ที่มีตาปกติที่จะต้องการให้มีเส้นเพื่อช่วยแยกแยะระดับความแตกต่างกลุ่มดวง
ดาว ส่วนนักเรียนผู้บกพร่องทางการเห็นพร้อมคุณครูผู้สอนเด็กชั้นประถมต้น ได้ให้คะแนนสูง
ในด้านความปลอดภัยเนื่องจากพวกเขาต้องมั่นใจในทุกๆอย่างก่อนตัดสินใจกระทำใดๆ

ทั้งนี้ กลุ่มคะแนนที่เกือบใกล้เคียงกันด้านการออกแบบคือได้ร้อยละ 88.13 กับ 88.35
ในรูปที่ 11 นำมาจากผู้สายตาปกติแบบใช้ผ้าปิดตาขณะใช้งาน กับ นักเรียนผู้บกพร่องทางการเห็น
พร้อมคุณครูผู้สอนเด็กชั้นประถมต้นซึ่งแปลหมายความได้ว่าผู้ประเมินทั้ง 2 กลุ่มได้ถูกบังคับ
ให้อยู่ในภาวะเดียวกันคือมีขีดความสามารถรับรู้ได้ผ่านการคลำสัมผัสและฟังเสียงเท่านั้น
จึงทำให้ได้ข้อสรุปผลการประเมินที่เกือบตรงกันว่า พวกเขาได้มีการได้ใช้สื่อเรียนรู้
เครื่องทอผ้าจำลองช่วยจินตนาการย่อมดีกว่าการได้ฟังเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีสื่อให้คลำสัมผัสรับ
รู้ตำแหน่งและมิติโครงสร้างของกลุ่มดวงดาวทั้ง 7 กลุ่มบนท้องฟ้าจำลอง

5. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ให้เป็นสื่อการเรียนรู้ทอผ้าจำลองที่แปลงเสียงได้แ
ละคลำสัมผัสได้ เพื่อช่วยให้นักเรียนผู้บกพร่องทางการเห็นระดับประถมต้นมีโอกาส
ได้รับประสบการณ์เสมือนจริงเกี่ยวกับ 7 กลุ่มดวงดาวตามหลักวิทยาศาสตร์ ซึ่งสื่อทอผ้าจำลองนี้
สามารถแปลงเสียงบรรยายรูปลักษณะโครงสร้างกลุ่มดวงดาวที่มีอยู่จริงในท้องฟ้า ช่วยให้สะดวกต่อ
การจินตนาการ ฝึกทบทวนหน่วยเรียนได้ด้วยตนเอง มีการประยุกต์ใช้อาร์ดูโนยูโน
เป็นตัวประมวลผลกลางและออกแบบตัวเครื่องให้มีขนาดพอเหมาะกะกับวัยของผู้เรียน
ได้รับการทดสอบใช้งานเครื่องทอผ้าจำลองจากอาสาสมัครทั้ง 4 กลุ่มคือ ผู้ดูแลระบบ
ผู้ใช้งานโดยใช้ผ้าปิดตา ผู้ใช้งานปกติ และผู้บกพร่องทางการเห็น พร้อมทั้งครูผู้สอนเด็กบกพร่อง
ทางการมองเห็นชั้นประถมต้น โดยใช้การประเมิน 3 ด้าน มีผลปรากฏว่าด้านความสะดวกใช้งาน
การออกแบบและความปลอดภัยของงานวิจัยนี้อยู่ในระดับที่ดีถึงดีมาก แนวทางพัฒนาต่อยอด
คือการปรับเพิ่มพื้นที่ชิ้นงานให้มีอักษรเบรลล์แก่เด็กชั้นประถม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทีมคุณครูผู้สอนที่ (รร.สอนคนตาบอด, 2565) ที่ให้คำแนะนำด้านการผลิตสื่อ
การเรียนรู้ได้ตรงตามจุดประสงค์การสอนนักเรียนผู้บกพร่องทางการเห็นระดับประถมต้น
และโดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบคุณ คุณพงษ์ศักดิ์ โชติ และทีมอาสาสมัครที่มีสายตาปกติ
ระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 3-4 ในหลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชชมงคลล้านนาเชียงใหม่, 2565) ที่ช่วยอนุเคราะห์หลากหลายสิ่ง จนเกิดเป็น ผลการประเมินออกมาได้แม้อยู่ในช่วงการแพร่ระบาดเชื้อโควิด 19

7. เอกสารอ้างอิง

- รร.สอนคนตาบอด. (2565). โรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่ เลขที่ 41 ถนนอารักษ์ ตำบลพระสิงห์ อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200. สืบค้น 11 เมษายน 2566 จาก <http://www.cmbind.ac.th/th>
- มูลนิธิธรรมิกชน. (2560). โลกของคนตาบอด. มูลนิธิธรรมิกชนเพื่อคนตาบอดในประเทศไทย ใน พระ บ ร ม รา ชู ป ถ ม ภ์ . สื บ ค ้น 1 1 เม ษ า ย น 2 5 6 5 จ า ก <http://cfbt.or.th/kr/index.php/article/12-blind-world>
- Upady Hatthasin, Pratch Piyawongwisal. (2021). Developing Animal Habitat Learning Aid for Visually-Impaired Primary School Students. In Proceedings of the 18th international conference on electrical engineering, electronics, computer, telecommunications and information technology (ECTI-CON 2021), Online presentation, May 19-22, 2021, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand. DOI: 10.1109/ECTI-CON51831.2021.9454739
- Upady Hatthasin, Pratch Piyawongwisal. (2020). Designing Protractor and Compass Learning Aid for Visually-Impaired Primary Students. Proceedings Book of The SICE Annual International Conference on Society of Instrument and Control Engineers 2020 (SICE 2020), 23-26 September 2020, Online, Thailand. DOI: 10.23919/SICE48898.2020.9240360
- Upady Hatthasin. (2020). Geometric Shapes and Alphabets Learning Aid using LED for Elementary School Students with Low Vision. Proceedings Book of The 10th International Conference on Sciences, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being 2020 (STISWB 2020), 24 July 2020, Online, Thailand, Pages (1-10).
- พิสิฏฐ์ นิธิยานันท์ และ สุวนิตย์ วุฒสังข์. (2019). คู่มือฉบับย่อสู่สื่อเพื่อการสัมผัส: ท้องฟ้าในมือคุณ. บุคลากรจากสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ. จดลิขสิทธิ์ภายใต้ Creative Commons Attribution 4.0 international License. สืบค้น 11 เมษายน 2566 จาก https://translation.iaua.org/en/wp-content/uploads/sites/5/2019/10/TheSkyInYourHands_THAI.pdf

LESA. (2564). กลุ่มดาว - ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์: Learning center for Earth Science and Astronomy (LESA). สืบค้น 11 เมษายน 2566 จาก <http://www.lesa.biz/astromy/celestial-sphere/constellations>

กลุ่มดาวนายพรานและกลุ่มดาววัว. (2562). รู้จักกับกลุ่มดาววัว จากตำนานสู่กลุ่มดาวยามค่ำคืน. สืบค้น 11 เมษายน 2566 จาก <https://spaceth.co/taurus-constellation/>

วรเชษฐ์ บุญปลอด. (2563). ดาวศุกร์กับกระจุกดาวลูกไก่. สืบค้น 11 เมษายน 2566 จาก <http://thaiastro.nectec.or.th/skyevent/article/venus-m45/>

กลุ่มดาวหมีเล็ก. (2562). กลุ่มดาวหมีเล็ก - กลุ่มดาวที่ปรากฏเฉพาะซีกโลกเหนือ. สืบค้น 11 เมษายน 2566 จาก <https://ngthai.com/science/24921/ursa-minor/>

กลุ่มดาวหมีใหญ่. (2562). กลุ่มดาวหมีใหญ่ เรื่องเล่า ตำนาน และความจริงเกี่ยวกับกลุ่มดาวที่พบเห็นได้ง่ายที่สุด. สืบค้น 11 เมษายน 2566 จาก <https://ngthai.com/science/24851/ursa-major/>

กลุ่มดาวสิงโต. (2562). กลุ่มดาวสิงโต (สิงโต: leo). สืบค้น 11 เมษายน 2566 จาก http://www.digitalschool.club/digitalschool/science1_2_2/science22/more/item20.php

กลุ่มดาวคนคู่. (2562). กลุ่มดาวคนคู่ (Gemini) หรือดาวฝาแฝด. สืบค้น 11 เมษายน 2566 จาก <https://ngthai.com/science/25016/gemini/>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงใหม่. (2565). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ เลขที่ 128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300. สืบค้น 11 เมษายน 2566 จาก <http://www.rmutl.ac.th>

MP3 Serial UART Arduino. (2565). สอนใช้งาน Arduino YX6300 เล่นเพลง ไฟล์เสียง MP3 Serial UART Arduino Control Music Player Module. สืบค้น 11 เมษายน 2566 จาก <http://www.cybertice.com/article/420/สอนใช้งาน-arduino-yx6300-เล่นเพลง-ไฟล์เสียง-mp3-serial-uart-arduino-control-music-player-module>

แอมพลิฟายเออร์. (2565). พารู้จักหนึ่งในชุดเครื่องเสียงสุดฮิตตลอดกาล เครื่องขยายเสียง (Amplifier). สืบค้น 11 เมษายน 2566 จาก <http://www.audio2home.com/บทความระบบเสียง/เครื่องขยายเสียง-Amplifier.html>

แบบจำลองความจริงเสริม (AR)
สำหรับการก่อสร้างงานวางท่อระบบประปาใต้ดิน
โดยประเมินผลจากการเลือกใช้แบบจำลอง FUZZY AHP

นนชกร นุชประมุล^{1*} ฌนิศา รุ่งแจ้ง^{2*} และ พงษ์ศักดิ์ สุริยวานกุล^{3*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการบริหาร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{*}E-mail: nonchakorn.n@ku.th

บทคัดย่อ

การก่อสร้างงานวางท่อระบบประปาใต้ดินเป็นงานวิศวกรรมขั้นสูงที่มีความซับซ้อนมักพบปัญหาและความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุระหว่างการก่อสร้างและอาจส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ทางเป็นอย่างมากเนื่องจากแนวเขตวางท่อประปานั้นจะเกาะแนวถนนเป็นหลัก การนำเทคโนโลยีความจริงเสริม (Augmented Reality, AR) มาประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างงานวางท่อระบบประปาใต้ดินจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสร้างแบบจำลอง AR สำหรับการก่อสร้างงานวางท่อระบบประปาใต้ดิน โดยงานวิจัยนี้ได้ออกแบบกระบวนการทำงานของแบบจำลองฐานข้อมูล โดยรวบรวมกระบวนการก่อสร้างงานวางท่อระบบประปาใต้ดิน และนำกระบวนการดังกล่าว ไปประยุกต์ในการสร้างแบบจำลอง AR สำหรับการก่อสร้างงานวางท่อระบบประปาใต้ดิน โดยนำเข้าข้อมูลสำคัญต่างๆ ตั้งแต่กระบวนการสำรวจ การออกแบบ การวิเคราะห์ การขออนุญาตก่อสร้าง การวางแผนงาน การปิดการจราจรและไปจนถึงเสร็จสิ้นการก่อสร้าง เพื่อนำไปพัฒนาเป็นแบบจำลอง AR ทั้งในรูปแบบข้อมูลงานก่อสร้าง 2 มิติ ข้อมูล 3 มิติ ข้อมูลเทคโนโลยีสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling, BIM) แบบจำลอง AR ที่สร้างขึ้นพัฒนาจากโปรแกรม AUGIN ร่วมกับโปรแกรม BIM ผลงานวิจัยนี้ได้แบบจำลองฐานข้อมูล AR ที่สามารถนำเข้า สืบค้น แก้ไขข้อมูล แสดงผล วิเคราะห์และจัดการฐานข้อมูลได้ระบบโครงข่ายประปาใต้ดิน วัตถุประสงค์ 2) การพัฒนาแบบจำลองฐานข้อมูลให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพควรคำนึงถึงความพร้อมของหน่วยงาน การนำไปใช้งาน ความพร้อมของอุปกรณ์และโปรแกรม ซึ่งวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลอง AR ด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (Fuzzy Analytical Hierarchy Process, FAHP) โดยได้ทำการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม มีการแบ่งกลุ่มผู้ทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม โดยมีปัจจัยหลักคือ ความสามารถด้านบุคลากร ด้านองค์กร โปรแกรมและคอมพิวเตอร์ การนำไปใช้ และปัจจัยทางเลือกคือ เทคโนโลยี 2

มิติ(เดี่ยว) เทคโนโลยี 2 และ 3 มิติ เทคโนโลยี 3 มิติ และ AR เทคโนโลยี AR ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพิจารณา พบว่า ปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้นวัตกรรมแบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดิน ได้แก่ โปรแกรมและคอมพิวเตอร์ องค์กร การนำไปใช้และความสามารถของบุคลากร ตามลำดับ แบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินเหมาะสม ได้แก่ แบบจำลองฐานข้อมูลแบบ 2 มิติ (2D) การผสมผสานแบบจำลองฐานข้อมูลแบบ 3 มิติ และแบบความจริงเสริม (3D และ AR) การผสมผสานแบบจำลองฐานข้อมูลแบบ 3 มิติ (3D) และแบบจำลองฐานข้อมูลแบบความจริงเสริม (AR) ตามลำดับ

คำสำคัญ: แบบจำลองสารสนเทศอาคาร, เทคโนโลยีความจริงเสริม, การก่อสร้างงานวางท่อระบบประปาใต้ดิน

Augmented Reality (AR) Model for Underground Water Supply Construction and Evaluating of Using Selected Model of FUZZY AHP

Nonchakorn Nuchpramool^{1*} Kanisa Rungjang^{2*} and Pongsak Suriyavanagul^{3*}

¹Infrastructure Engineering and Management Department of Civil Engineering,
Faculty of Engineering, Kasetsart University

² 50 Ngamwongwan Road, Ladyao Subdistrict, Chatuchak District, Bangkok 10900

*E-mail: nonchakorn.n@ku.th

Abstract

The construction of the underground water supply system is an advanced engineering work that is complex and often encounters problems and risks of accidents during construction. It may cause significant delays to motorists because of the boundary line for laying. The plumbing will stick to the main road. The application of Augmented Reality (AR) technology in the construction of underground tap water pipework, thereby increasing work efficiency. The purpose of this research is: 1) To create an AR model for the construction of underground tap water supply systems. In this research, the working process of the database model was designed. The construction process data of laying pipes for underground tap water supply systems was collected. The aforementioned process to create an AR model for the construction of underground waterworks was then applied. Important information from the survey process, design, analysis, construction permit application, work planning, traffic closure and until completion of construction was imported to be developed into an AR model in the form of 2D construction data, 3D data, Building Information Modeling (BIM) data, the AR model was developed from the AUGIN program together with the BIM program. This research resulted in an AR database model that can be imported, searched, edited, displayed, analyzed and managed the database underground waterworks network system. 2) To develop a database model for efficient use. Consideration should be given to the readiness of the agency. implementation Availability of equipment and programs that analyze the weights of key factors in deciding to use. The AR model using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP). The data were collected from questionnaires. The experimental

group was divided into 3 groups, with the main factors of Personnel abilities, organizations, programs and computers, and applications. Alternative factors were 2D technology (single), 2 and 3D technology, 3D technology and AR, AR technology. Since the data was considered, the key factors for choosing to use innovative database models for the construction of underground water supply systems, namely programs and computers, organization, application, and personnel competency. Suitable database models for underground water supply construction were database models 2D (2D), 3D and augmented reality (3D and AR), database model combination 3D (3D) and augmented reality (AR) database model combination number.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), Augmented Reality (AR), Construction of the underground water supply.

1. บทนำ

การก่อสร้างงานวางท่อระบบประปาใต้ดินเป็นงานวิศวกรรมขั้นสูงที่มีความซับซ้อน จึงมีการพัฒนาแบบจำลองฐานข้อมูลจึงเป็นประโยชน์อย่างมากในงานก่อสร้างทั้งเทคโนโลยีแบบ 2 มิติ 3 มิติ เทคโนโลยีสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling, BIM) ไปจนกระทั่ง เทคโนโลยีความจริงเสริม (Augment Reality, AR) เทคโนโลยี AR เป็นเทคนิคการแสดงผลภาพเสมือนที่มีศักยภาพในการมองเห็นด้วยแบบจำลอง 3 มิติของวัตถุจริงที่ระบุตำแหน่งบนระบบพิกัดบนพื้นโลก [2] เทคโนโลยี AR ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง และงานอื่นอีกมากมาย เช่น งานการแพทย์ งานการผลิต อุตสาหกรรม เป็นต้น [3] งานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานสำคัญหลายอย่างเป็นงานขุดใต้ดินระดับลึกที่ต้องรับผิดชอบและเกี่ยวข้องกับหลายหน่วยงาน เช่น งานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดและไม่ขุดเป็นงานที่มีการขุดเจาะใต้ดินระดับลึกซึ่งมีกระบวนการที่ซับซ้อนและต้องปฏิบัติงานในเขตทางจำกัด ตามที่ได้รับอนุญาตกรมทางหลวงไว้นั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตเมือง ซึ่งมีอาคารบ้านเรือนหนาแน่น มีการจราจรคับคั่ง ผู้ใช้ทางและสัญจรมากมายที่ต้องเสี่ยงต่ออันตรายที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างก่อสร้างในกระบวนการต่าง ๆ ข้อมูลสถิติแสดงให้เห็นว่าอุบัติเหตุร้ายแรงจากดินถล่มอันเนื่องมาจากการขุดดินสามารถพบได้บ่อยครั้ง โดยเฉพาะในการทำงานก่อสร้างซึ่งการทำงานขุดดินนั้น จัดได้ว่าเป็นหนึ่งในงานที่มีความเสี่ยงจากดินถล่มหรือการพังทลายของดินสูงมาก ข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานขุดดิน ในช่วง 10 ปีระหว่าง ปี ค.ศ. 1990 ถึง 2000 ในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่าสาเหตุหลักที่ทำให้เสียชีวิตเกือบครึ่ง (ร้อยละ 48) มีสาเหตุจากดินถล่มหรือการพังทลายของดิน (Cave-in) [5] ทั้งนี้งานก่อสร้างใต้ดินเป็นงานที่มีความซับซ้อนด้วยเหตุหลายประการ [6] เช่น การทำงานใต้ดินในสภาพที่คาดการณ์ได้ยากระยะเวลาในการปฏิบัติงานจำกัด ผลกระทบจากการปฏิบัติงานที่มีต่อผู้ใช้ทางและประชาชนโดยรอบ ความหลากหลายของสาธารณูปโภคที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น ผลกระทบที่ตามมาจากความผิดพลาดในการปฏิบัติงานอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุที่ร้ายแรงต่อประชาชนอันเป็นมูลค่าความสูญเสียได้ ดังที่เหตุการณ์สำคัญในหลายประเทศ [7] - [8] ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร BIM ทำงานร่วมกับเทคโนโลยี AR ในการวางแผนงานก่อสร้างงานจริง การนำนวัตกรรมมาใช้ พัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันอุบัติเหตุเพื่อเพิ่มระดับความปลอดภัยและลดอุบัติเหตุที่เกิดจากโครงการก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดและไม่ขุด พัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมดูแลการใช้และการดำเนินการใด ๆ ที่เกี่ยวข้องการงานวางท่อในเขตทาง ไหล่ทาง และทางเท้า รวมถึงการใช้ประโยชน์ทรัพย์สินทางหลวงอื่นๆ พัฒนาและส่งเสริมการวิจัยพัฒนาการสร้างนวัตกรรม การสร้างระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ และเทคโนโลยีดิจิทัล

ด้านการอำนวยความสะดวกสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบชุด AR เป็นเทคโนโลยีใหม่ ที่ผสมผสานเอาโลกแห่งความเป็นจริง เข้ากับโลกเสมือน โดยผ่านทางอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์รวมกับการใช้ซอฟต์แวร์ต่างๆ ทำให้สามารถมองเห็นภาพที่มีลักษณะเป็นวัตถุ แสดงผลในจอภาพกลายเป็นวัตถุ 3 มิติ ลอยอยู่เหนือพื้นผิวจริง มีการเคลื่อนไหว สามารถเดินเข้าไปในสถานที่จริงได้ AR ทราบแนวทางและรูปแบบการก่อสร้างงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบชุดและไม่ต้องชุด การใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร BIM เป็นแบบจำลอง 3 มิติ ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ เพื่อจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลอาคาร ประกอบด้วย ข้อมูลเชิงพื้นที่ของชิ้นส่วนอาคาร ข้อมูลคุณลักษณะของชิ้นส่วนอาคาร ข้อมูลสัมพันธ์เชิงพื้นที่ทำงานร่วมกับเทคโนโลยี AR ฐานข้อมูล AR ช่วยในการตัดสินใจในการทำงานลดการเปลี่ยนแปลงคำสั่ง ลดข้อผิดพลาดในงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบชุดและไม่ต้องชุดลดการใช้ทรัพยากรบุคคล ลดระยะเวลาในการก่อสร้างลดค่าใช้จ่ายในการทำงานให้น้อยลง และเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสาร

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองฐานข้อมูลเทคโนโลยีความจริงเสริม (Augmented Reality, AR) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปา

วิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลอง AR ด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (Fuzzy Analytical Hierarchy Process, FAHP)

3. วิธีการวิจัย

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ AHP เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการตัดสินใจหลายเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision-making, MCDM) [12] ถูกพัฒนาขึ้นโดย Thomas L. Saaty [11] สามารถประเมินทางเลือกหรือการตัดสินใจในกรณีที่ปัจจัยหรือทางเลือกมีความซับซ้อนได้ ซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการที่แพร่หลายที่สุดในการจัดลำดับความสำคัญที่มีความสมเหตุสมผล ลดอคติส่วนบุคคล และช่วยให้เปรียบเทียบทางเลือกที่มีความซับซ้อนได้อย่างมีความยืดหยุ่น [10] ขั้นตอนวิเคราะห์ในกระบวนการ AHP มี 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) กำหนดปัญหา 2) กำหนดวัตถุประสงค์ของปัญหา 3) กำหนดเกณฑ์ที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรม 4) กำหนดโครงสร้างการตัดสินใจ 5) เปรียบเทียบแต่ละปัจจัย โดยเปรียบเทียบทีละคู่เพื่อกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญระหว่างปัจจัย 6) คำนวณค่า Eigen สูงสุด ค่าดัชนีความสอดคล้อง ค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง

การวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) กำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์ 2) กำหนดโครงสร้างการตัดสินใจตามทฤษฎีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ 3) สํารวจข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญด้วยแบบสอบถาม 4) วิเคราะห์อัตราความสอดคล้อง (Consistency Ratio, C.R.) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index, C.I.) และค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Index, R.I.) 5) วิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัย และจัดลำดับความสำคัญการตัดสินใจเลือกใช้นวัตกรรมแบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดวางและไม่ต้องขุดวาง และปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้นวัตกรรมแบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดวางและไม่ต้องขุดวางจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ ตามทฤษฎีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ AHP

3.1 การกำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์

ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์ และรวบรวมปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้นวัตกรรมแบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดวางและไม่ต้องขุดวางผ่านทางบทความทางวิชาการและรายงานการศึกษา

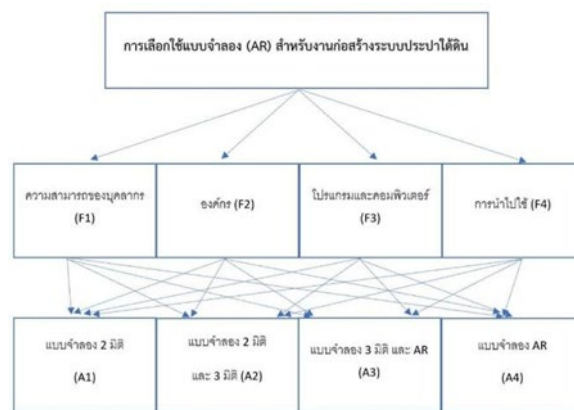
3.2 การกำหนดโครงสร้างการตัดสินใจตามทฤษฎีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ AHP โดยการจัดแบ่งโครงสร้างการตัดสินใจเป็นแบบลำดับชั้น (Hierarchy) (ดังรูปที่ 1) ประกอบด้วย

3.2.1 โครงสร้างระดับที่ 1 ได้แก่ เป้าหมาย (Goal) ซึ่งอยู่ระดับบนสุดของลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

3.2.2 โครงสร้างระดับที่ 2 ได้แก่ หลักเกณฑ์หลัก (Criteria) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ใช้ในการจัดลำดับรูปแบบเทคโนโลยีสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดวางและไม่ต้องขุดวางประกอบด้วย 1) ปัจจัยด้านความสามารถของบุคลากร (Caliber or Worker Perform) หมายถึง บุคคล ผู้บริหาร วิศวกร ผู้ปฏิบัติงาน หรือผู้ที่มีความรู้ความสามารถในงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดวางและไม่ต้องขุดวาง ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดวางและไม่ต้องขุดวาง 2) ปัจจัยด้านองค์กร (Organization) หมายถึง การกำหนดนโยบายขององค์กรและเป้าหมายในอนาคตขององค์กร และการพัฒนาองค์กรในด้านเทคโนโลยี 3) ปัจจัยด้านโปรแกรมและคอมพิวเตอร์ (Hardware and Software limitations) หมายถึง อุปกรณ์ เครื่องมือ โปรแกรม และเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในการการทำงาน 4) ปัจจัยด้านการนำไปใช้ (Implementation) หมายถึง การเข้ากันได้ระหว่างบุคลากรกับเทคโนโลยี และองค์กรกับเทคโนโลยี

ในการก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดวางและไม่ต้องขุดวางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

3.2.3 โครงสร้างระดับที่ 3 ได้แก่ ทางเลือกของแบบจำลองฐานข้อมูล สำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดวางและไม่ต้องขุดวางประกอบด้วย 1) แบบจำลองฐานข้อมูลแบบ 2 มิติ 2) การผสมผสานแบบจำลองฐานข้อมูลแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ 3) การผสมผสานแบบจำลองฐานข้อมูลแบบ 3 มิติ และเทคโนโลยีความจริงเสริม 4) แบบจำลองฐานข้อมูลแบบ ความจริงเสริม



รูปที่ 1 โครงสร้างกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

คำอธิบายโครงสร้างกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ โดยหลักการการวิเคราะห์โดยใช้ AHP

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process: AHP) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการวินิจฉัยเพื่อช่วยในการตัดสินใจประเด็นปัญหาที่มีความซับซ้อนให้คิดง่ายขึ้น โดยทำการแบ่งองค์ประกอบของปัญหาทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรมออกเป็นส่วนๆ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องสร้างรูปแบบโครงสร้างของปัญหาให้อยู่ในรูปของแผนภูมิลำดับชั้น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามของผู้ตัดสินใจมาใช้เป็นตัวกำหนดค่าวินิจฉัยเพื่อเปรียบเทียบลำดับความสำคัญของปัจจัยและวิเคราะห์ว่าปัจจัยทางเลือกใดที่จะมีลำดับความสำคัญสูงสุดเพื่อหาบทสรุป และทางเลือกที่เหมาะสมกับปัญหาดังกล่าว

3.3 การเก็บข้อมูลการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ

งานวิจัยนี้เก็บข้อมูลแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดวางและไม่ต้องขุดวางจำนวน 30 ท่าน ประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญจากการประปาส่วนภูมิภาค (กปภ.) จำนวน 15 ท่าน กรมทางหลวง (ทล.) จำนวน 3 ท่าน กรมทางหลวงชนบท (ทช.) จำนวน 3 ท่าน บริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) จำนวน 3 ท่าน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) จำนวน 3 ท่าน และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) จำนวน 3 ท่าน โดยผู้ตอบแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามหน้าที่ความรับผิดชอบในการดำเนินการก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดวางและไม่ต้องขุดวาง ได้แก่ กลุ่มหน่วยงานก่อสร้างระบบท่อประปาใต้ดิน (กลุ่ม 1) กลุ่มหน่วยงานทางและเจ้าของพื้นที่ (กลุ่ม 2) และกลุ่มหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง (กลุ่ม 3) โดยผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านมีประสบการณ์หน้าที่ความรับผิดชอบที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดิน เช่น วิศวกรและช่างเทคนิค โดยมีประสบการณ์ทำงานเฉลี่ย 15 ปี การตัดสินใจเป็นการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักความสำคัญ (w_i/w_j) ระหว่างปัจจัยหรือทางเลือกเป็นรายคู่ i และ j ใดๆ จำนวนทั้งสิ้น n ปัจจัย หรือทางเลือก โดยใช้ตัวเลขแทนค่าความสำคัญเชิงเปรียบเทียบของส่วนย่อยในแต่ละระดับชั้น เมื่อพิจารณาภายใต้ปัจจัยหรือทางเลือก หรือส่วนประกอบในระดับที่เหนือกว่าขึ้นไป ค่ามาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบระดับความสำคัญเป็นตัวเลข 1 ถึง 9 แสดงระดับความสำคัญที่เท่ากันจนถึงระดับความสำคัญที่สูงกว่าอย่างมาก (ดังตารางที่ 1) [9]

ตารางที่ 1 มาตรฐานในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ

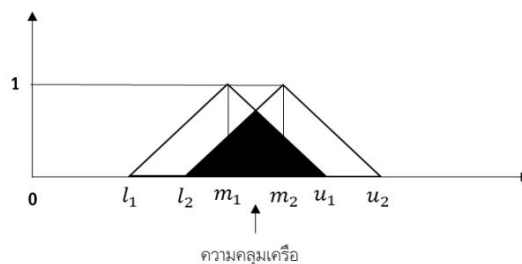
ระดับความสำคัญ	ความหมาย
1	สำคัญเท่ากัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก
7	สำคัญกว่ามากที่สุด
9	สำคัญกว่าสูงสุด
2,4,6,8	ค่าความสำคัญระหว่างกลางของค่าที่กล่าวไว้ข้างต้น

ที่มา : ดัดแปลงจาก Saaty, T.L. [9]

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและทดสอบความสอดคล้องของการตัดสินใจ

การทดสอบความสอดคล้องของการตัดสินใจเป็นการวิเคราะห์เมทริกซ์ค่าน้ำหนักที่ได้จากการเปรียบเทียบรายคู่ (Pairwise Comparison) โดยวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องของเหตุผล (Consistency Ratio, C.R.) จากสัดส่วนระหว่างดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index, C.I.) และค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Index, R.I.) หากมีค่าน้อยกว่า 0.1 แสดงว่าความไม่สอดคล้องของการตัดสินใจมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 หรือขึ้นอยู่กับขนาดของเมทริกซ์ ตามการพิสูจน์ของ Saaty [15] ทั้งนี้ค่า C.I. มีค่าเท่ากับ $(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$ โดยที่ λ_{\max} เป็นค่าสูงสุดของ Eigenvalue ของเมทริกซ์ และค่า R.I. สำหรับจำนวนปัจจัยหรือทางเลือก n ปัจจัยหรือทางเลือก งานวิจัยนี้พิจารณา 4 ปัจจัย ซึ่งต้องมีค่า C.I. น้อยกว่า 0.90 [9] (ดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3)

การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์ ด้วยวิธี Fuzzy AHP หรือ FAHP เป็นการวิเคราะห์ ข้อมูลการตัดสินใจที่กำหนดให้ความคลุมเคลือใน ลักษณะของเซตความคลุมเครือแบบสามเหลี่ยม (Triangular Fuzzy Member) ซึ่งเป็นรูปแบบที่ แสดงตรรกะ ให้เป็นตัวเลข ที่สอดคล้องต่อการ ตัดสินใจและประยุกต์ ใช้งานอย่างแพร่หลาย ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เซตความคลุมเครือแบบสามเหลี่ยม

การคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลในวิธีการ FAHP ทำได้หลายวิธีโดยวิธี ของ Chang เป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับานิยม โดยการคงรูปแบบการ เปรียบเทียบระดับความสำคัญเชิงคู่ของปัจจัย โดยการแปลงระดับ ความสำคัญในการเปรียบเทียบซึ่งเป็นให้เป็นตัวเลขน Fuzzy แบบ สามเหลี่ยมมาแทนการใช้ตัวเลขเดี่ยว 1 ถึง 9 โดยใช้รูปแบบตัวเลข Fuzzy เป็นรูปแบบ (l, m, u) โดย x เป็นค่าคะแนน, m เป็นค่ากลางของตัวเลข สามเหลี่ยมฟัซซี และ l, u เป็นค่าขอบเขตล่างและบนตามลำดับ และสามารถแสดงเป็นตัวเลขน Fuzzy สามเหลี่ยม (l, m, u) และคำนวณค่าได้ตามแสดงในสมการที่ 1

ระดับ	Triangular Fuzzy Scale	Reciprocal Scale
1	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
2	(3/4, 5/4, 7/4)	(4/7, 4/5, 4/3)
3	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
4	(5/4, 7/4, 9/4)	(4/9, 4/7, 4/5)
5	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
6	(7/4, 9/4, 11/4)	(4/11, 4/9, 4/7)
7	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
8	(9/4, 11/4, 13/4)	(4/13, 4/11, 4/9)
9	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

$$\mu(x/\tilde{M}) = \begin{cases} 0 & x < l \\ (x-1)/(m-1) & l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m) & m \leq x \leq u \\ 0 & x > u \end{cases} \quad (1)$$

ค่าความสำคัญของปัจจัยที่ i (Wi) ดังแสดงในสมการที่ 2

$$W_i = \frac{w_i'}{\sum_{i=1}^n w_i'} \quad (2)$$

เวกเตอร์ความสำคัญ (Wi') แสดงดังสมการที่ 3

$$W_i' = \min V(S_i \geq S_j | j = 1, 2, \dots, m; i \neq j) \quad (3)$$

ค่าระดับความเป็นไปได้ (V) ของ Si ≥ Sj เมื่อ Si = (l, m, u),
และ Sj = (l, m, u); i ≠ j ดังสมการที่ 4

$$V(S_i \geq S_j) = \begin{cases} 1, & m_i \geq m_j \\ 0, & l_j \geq u_i \\ \frac{(l_j - u_i)}{(m_i - u_i) - (m_j - l_j)}, & \text{Other} \end{cases} \quad (4)$$

ขอบเขตสังเคราะห์ฟัซซี (Si) คือขอบเขตสังเคราะห์ของปัจจัยที่ใช้เป็น เกณฑ์ในการตัดสินใจซึ่งเป็นผลคูณของผลรวมตัวเลขฟัซซีและผลต่างตอบ แทนรวมของ l, m, u ทุกเกณฑ์การตัดสินใจ ดังแสดงในสมการที่ 5

$$S_i = \sum M_{gij} \otimes m_{j=1} [\sum \sum M_{gij}] m_{j=1} n_{i=1} - 1 \quad (5)$$

ตารางที่ 2 เมทริกซ์การเปรียบเทียบปัจจัยภายใต้วัตถุประสงค์ของปัญหา

เกณฑ์หรือปัจจัย	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปัจจัยที่ n	น้ำหนัก ของปัจจัย
ปัจจัยที่ 1	1*W ₁	A ₁₂ *W ₂	A _{1n} *W _n	S ₁
ปัจจัยที่ 2	A ₂₁ *W ₁	1*W ₂	A _{2n} *W _n	S ₂
ปัจจัยที่ n	A _{n1} *W ₁	A _{n2} *W ₂	1*W _n	S ₃

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงคู่ (R.I.)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

ที่มา : ดัดแปลงจาก Saaty, T.L. [9]

3.5 การคำนวณค่าน้ำหนักของปัจจัย

การคำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ในแต่ละชั้นสามารถหาได้จากการสังเคราะห์ข้อมูล โดยคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ 1 และสมการที่ 2

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1.0 \quad (2)$$

เมื่อ W_i คือ น้ำหนักคะแนนของแต่ละหลักเกณฑ์
 V_i คือ ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิต
 n คือ จำนวนตัวเลขที่นำมาหาค่าเฉลี่ย

4. ผลและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการออกแบบกระบวนการทำงาน

ผลการสำรวจการตัดสินใจและวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของการตัดสินใจเลือกใช้นวัตกรรมแบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดวางและไม่ต้องขุดวาง

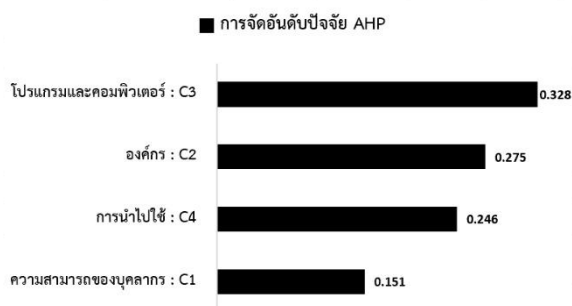
จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 30 ท่านประสบการณ์เฉลี่ย 15 ปี ซึ่งแบ่งตามหน้าที่รับผิดชอบแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มหน่วยงานก่อสร้างระบบท่อประปาใต้ดิน ได้แก่ การประปาส่วนภูมิภาค (จำนวน 15 ท่าน) กลุ่มหน่วยงานทางและเจ้าของพื้นที่ ได้แก่ กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (จำนวน 9 ท่าน) และกลุ่มหน่วยงานสาธารณสุขปโภค และส่วนเกี่ยวข้องในการดำเนินงาน ได้แก่ การประปาส่วนภูมิภาค และบริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) (จำนวน 6 ท่าน)

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องการตัดสินใจ

ผลการวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องการตัดสินใจ (C.R.) พบว่าค่า C.R. อยู่ระหว่าง 0.005 ถึง 0.095 ซึ่งหมายความว่าข้อมูลการตัดสินใจที่รวบรวมได้มีความสอดคล้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (มีค่า C.R. น้อยกว่า 0.10) [11] โดยค่าความสอดคล้องการตัดสินใจ (C.R.) เป็นค่าสัดส่วนของค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index, C.I) ต่อค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Index, R.I.) $C.R. = C.I./R.I.$ ซึ่งเมื่อค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio, C.R.) มีค่าไม่เกิน 0.10 ซึ่งเป็นค่าความสอดคล้องที่ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับกรณีที่พิจารณา 4 ปัจจัย

4.3 ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้แบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดิน

ผลการวิเคราะห์การจัดลำดับปัจจัยสำคัญ จากวิธี AHP ปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดวางและไม่ต้องขุดวาง ได้แก่ โปรแกรมและคอมพิวเตอร์ (0.328) องค์กร (0.275) การนำไปใช้ (0.246) และความสามารถของบุคลากร (0.151) ตามลำดับ (ดังรูป 3)



รูปที่ 3 คำนวณน้ำหนักปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลอง AHP

ตัวอย่างการคำนวณค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลอง (ดังตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้แบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดิน

ผู้เชี่ยวชาญ ลำดับที่	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปัจจัยที่ 3	ปัจจัยที่ 4	C.R.
1	0.134	0.508	0.049	0.309	0.077
2	0.263	0.054	0.298	0.385	0.065
3	0.121	0.045	0.389	0.445	0.069
.
30	0.041	0.113	0.351	0.494	0.059
Geometric Mean	0.151	0.275	0.328	0.246	0.067

4.4 การเลือกใช้แบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดิน

ผลการวิเคราะห์การจัดลำดับรูปแบบ จากวิธี AHP ค่าน้ำหนักของการเลือกใช้แบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดิน ได้แก่ แบบจำลองฐานข้อมูลแบบ 2 มิติ (0.362) การผสมผสานแบบจำลองฐานข้อมูลแบบ 3 มิติ และ AR (0.281) การผสมผสานแบบจำลองฐานข้อมูลแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ (0.210) และแบบจำลองฐานข้อมูลแบบ AR (0.147) ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4)



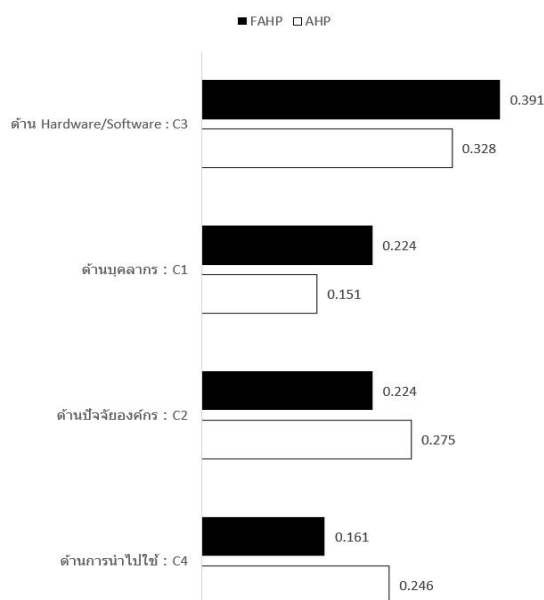
รูปที่ 4 ค่าน้ำหนักการเลือกใช้แบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดิน

เมื่อพิจารณาทางเลือก 2 มิติ ซึ่งมีค่าน้ำหนักความสำคัญ ของทางเลือกสูงสุด พบว่า สำหรับทางเลือกนี้ ค่าน้ำหนักปัจจัยด้านโปรแกรมและคอมพิวเตอร์ มีค่าสูงสุด (0.328) รองลงมาเป็นปัจจัยด้านองค์กร (0.275) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ทางเลือก 2 มิติ มีความเหมาะสมที่สุด

4.5 ผลการประเมินการเลือกใช้แบบจำลอง

ผลการประเมินความเหมาะสมแบบจำลอง AR โดยใช้วิธีกระบวนการ ลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัชซี (FAHP) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการตัดสินใจ ผลการวิเคราะห์ ค่าความสอดคล้องการตัดสินใจ (C.R.) พบว่าค่า C.R. อยู่ระหว่าง 0.005 ถึง 0.080 ซึ่งข้อมูลการตัดสินใจที่รวบรวม ได้มีความสอดคล้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ค่า C.R. น้อยกว่า 0.08) โดยค่าความสอดคล้องการตัดสินใจ (C.R.) ซึ่งเป็นค่าสัดส่วนของค่าดัชนีความ สอดคล้อง (C.I) ต่อค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (R.I.) มีค่าไม่เกิน 0.08 ซึ่ง แสดงให้เห็นว่าข้อมูลการตัดสินใจ มีความสอดคล้องในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

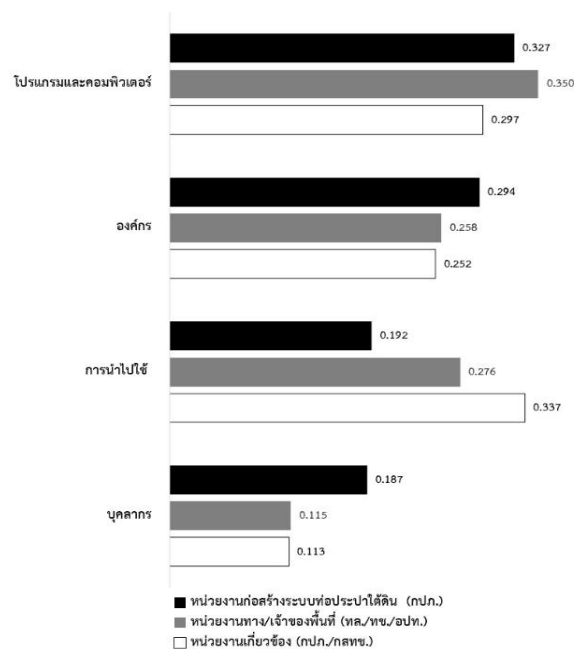
ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยในการเลือกใช้ แบบจำลองสำหรับ งานก่อสร้างระบบประปาใต้ดิน ได้แก่ โปรแกรมและ คอมพิวเตอร์ (0.391) ความสามารถของบุคลากร (0.224) องค์กร (0.224) และ การนำไปใช้ (0.161) ตามลำดับ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลอง FAHP

4.6 ปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้แบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบประปาใต้ดิน จำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ

4.6.1 ปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดในการจัดลำดับรูปแบบเทคโนโลยีสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินทั้งแบบขุดวางและไม่ต้องขุดวาง (ดังรูปที่ 6) และข้อมูล (ดังตารางที่ 6)



รูปที่ 6 ค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ

ตารางที่ 6 ค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ

หน่วยงาน	Hardware/Software	ปัจจัยองค์กร	การนำไปใช้	บุคลากร
หน่วยงานก่อสร้างระบบท่อประปาใต้ดิน (กปภ.)	0.327	0.294	0.192	0.187
(ทล./ทช./อปท.)	0.350	0.258	0.276	0.115
หน่วยงานเกี่ยวข้อง (กปภ./กสทช.)	0.297	0.252	0.337	0.113

4.6.2 ปัจจัยที่สำคัญลำดับรองลงมาเพื่อพิจารณาจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ

- กลุ่มหน่วยงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินเห็นว่า ให้ความสำคัญปัจจัย Hardware/Software (0.327) ปัจจัยองค์กร (0.294) การนำไปใช้ (0.192) และความสามารถของบุคลากร (0.187) ตามลำดับ

- กลุ่มหน่วยงานทางและเจ้าของพื้นที่ พบว่า ให้ความสำคัญปัจจัย Hardware/Software (0.350) ปัจจัยองค์กร (0.258) การนำไปใช้ (0.276) และความสามารถของบุคลากร (0.115) ตามลำดับ

- กลุ่มหน่วยงานสาธารณสุขปโภคและส่วนเกี่ยวข้อง พบว่า ให้ความสำคัญปัจจัย Hardware/Software (0.297) ปัจจัยองค์กร (0.252) การนำไปใช้ (0.337) และความสามารถของบุคลากร (0.113) ตามลำดับ (ดังตารางที่ 6) ผลการวิเคราะห์ปัจจัยพบว่า กลุ่มหน่วยงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินให้ความสำคัญกับปัจจัยองค์กรมากกว่ากลุ่มหน่วยงานทางและเจ้าของพื้นที่ เช่นเดียวกับกลุ่มหน่วยงานสาธารณสุขปโภคและส่วนเกี่ยวข้อง เนื่องจากการประสานส่วนภูมิภาคมีภารกิจหลักในการก่อสร้างระบบโครงข่ายท่อน้ำประปาใต้ดิน ซึ่งมีแผนและมีดัชนีชี้วัดผลงานหรือความสำเร็จของงาน (Key Performance Indicator, KPI) ให้เป็นไปตามเป้าหมายขององค์กร

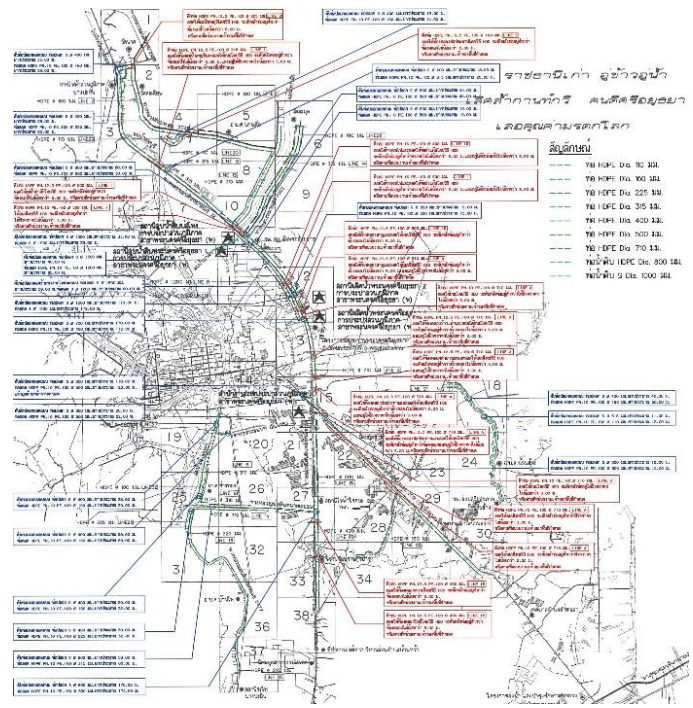
พื้นที่ ศึกษา สถานีผลิตน้ำพระนครศรีอยุธยา 1 (อ.เมือง) – สถานีผลิตน้ำพระนครศรีอยุธยา 2 (อ.บางไทร) จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ดังรูปที่ 7)

ลักษณะงาน การก่อสร้างท่อส่งจ่ายน้ำประปา ทั้งแบบขุดเปิดวาง และไม่ต้องขุด Horizontal Directional Drilling (HDD) , Pipe Jacking

เป็นระบบส่งจ่ายน้ำประปา ที่ใช้ชนิดท่อเป็น High Density Polyethylene (HDPE) เพื่อให้ทนต่อแรงดันน้ำได้สูงโดยใช้ชั้นคุณภาพ PN12 สามารถดึงท่อรอดใต้พื้นดินได้เป็นช่วง ๆ (ดังรูปที่ 8, รูปที่ 9)

การจำลองลักษณะหน้างานจริงโดยใช้เทคโนโลยี 3 มิติ การก่อสร้างท่อส่งจ่ายน้ำประปาแบบไม่ต้องขุด Horizontal Directional Drilling (HDD) , Pipe Jacking (ดังรูปที่ 10, รูปที่ 11)

แบบจำลองฐานข้อมูล (AR) สำหรับงานก่อสร้างระบบประปาใต้ดิน (ดังรูปที่ 12)



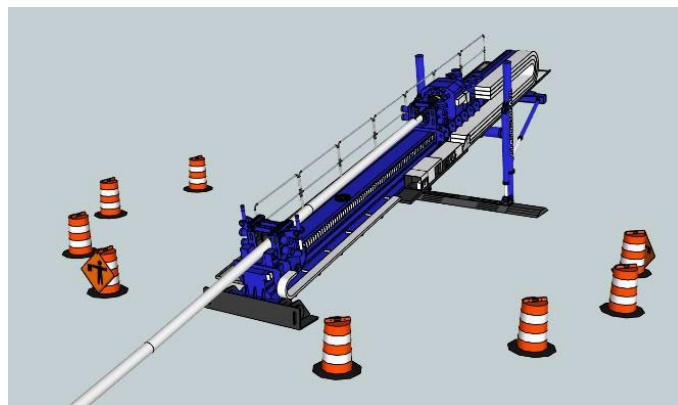
รูปที่ 7 แสดงแผนที่แนวเส้นทาง
โครงการก่อสร้างวางท่อประปาของการประปาสาขาพระนครศรีอยุธยา



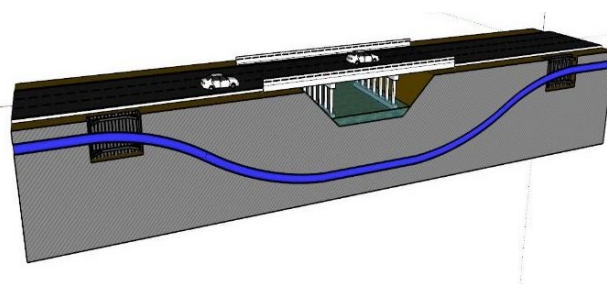
รูปที่ 8 แสดงงานก่อสร้างบ่อดันท่อรอดใต้ดิน



รูปที่ 9 แสดงภาพมุมสูงงานก่อสร้างบ่อตันท่อรอดใต้ดิน



รูปที่ 10 แสดงภาพ 3D (เครื่องจักร) ของงานก่อสร้างบ่อตันท่อรอดใต้ดิน



รูปที่ 11 แสดงภาพ 3D (ตำแหน่งหลุมเจาะที่หน้างาน) ของงานก่อสร้างบ่อตันท่อรอดใต้ดิน



รูปที่ 12 แบบจำลองฐานข้อมูล (AR) สำหรับงานก่อสร้างระบบประปาใต้ดิน

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในการตัดสินใจเลือกใช้นวัตกรรมแบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดิน วิเคราะห์ข้อมูลจากการตอบแบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินจำนวน 30 ท่าน มีประสบการณ์เฉลี่ย 15 ปี (ระหว่าง 1 ถึง 40 ปี) ผู้ตอบแบบสอบถามประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญจากการประปาส่วนภูมิภาค กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท บริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) การไฟฟ้า ส่วนภูมิภาค และองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น ผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้นวัตกรรมแบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดิน ได้แก่ โปรแกรมและคอมพิวเตอร์ องค์กร การนำไปใช้ และความสามารถของบุคลากร ตามลำดับ แบบจำลองฐานข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างระบบการวางท่อประปาใต้ดินเหมาะสม ได้แก่ แบบจำลองฐานข้อมูลแบบ 2 มิติ (2D) การผสมผสานแบบจำลองฐานข้อมูลแบบ 3 มิติ และแบบความจริงเสริม (3D และ AR) การผสมผสานแบบจำลองฐานข้อมูลแบบ 3 มิติ (3D) และแบบจำลองฐานข้อมูลแบบความจริงเสริม (AR) ตามลำดับ

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ปัจจัยในการเลือกใช้นวัตกรรมแบบจำลองข้อมูลโดยจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ พบว่าผู้ก่อสร้างงานระบบประปาใต้ดินและผู้รับผิดชอบงานทางพิจารณาปัจจัยด้านโปรแกรมและคอมพิวเตอร์เป็นสำคัญ รองลงมาเป็นปัจจัยด้านการประยุกต์ใช้ องค์กร และความสามารถของบุคลากร ในขณะที่กลุ่มผู้รับผิดชอบสาธารณูปโภคอื่นพิจารณาการประยุกต์ใช้เป็นสำคัญ รองลงมาเป็นปัจจัยด้านโปรแกรม

และคอมพิวเตอร์ องค์กร และความสามารถของบุคลากร จากข้อมูลสรุปข้างต้นนี้ ทำให้ทราบถึงความสำคัญ ดังนี้

1. การนำเทคโนโลยีมาใช้งาน (Technology Adoption)

ต้องคำนึงถึง ด้านโปรแกรมและอุปกรณ์ ความพร้อมขององค์กรและบุคลากร การนำไปใช้ ความสามารถในงานด้านวิศวกรรม ตำแหน่งงานที่เหมาะสม ร่วมกับระบบฐานข้อมูล หรือโปรแกรมที่ใช้งานอยู่อย่างแพร่หลาย เพียงพอที่จะเข้าถึงได้

2. การเชื่อมโยงฐานข้อมูลสาธารณูปโภค

เป็นสิ่งจำเป็น ความร่วมมือในการเชื่อมโยงข้อมูลกับหน่วยงานอื่น ๆ ร่วมกัน เช่น เทคโนโลยีแบบ Open Software ข้อมูลสาธารณูปโภคของประเทศ (National Infrastructure Database)

3. การพัฒนาแบบจำลอง AR ที่มีความละเอียดถูกต้อง

จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ทั้งตำแหน่ง & ข้อมูลด้านวิศวกรรม ต้นทุน และเวลาในการทำงาน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก จากผู้เชี่ยวชาญจากการประสานภูมิภาค กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และสรรเพชร คงถาวร ในการรวบรวมข้อมูล

7. เอกสารอ้างอิง

ราชกิจจานุเบกษา. 2561. ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561-2580. ด้านการสร้างการเติบโต บนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, หน้า 52-63.

Fenais, A., Smilovsky, N., and Ariaratnam, S.T. (2018) Using Augmented Reality in Horizontal Directional Drilling to Reduce the Risk of Utility Damages. In Pipelines 2018 Conference: Utility Engineering, Surveying, and Multidisciplinary Topics, American Society of Civil Engineers, pp. 290-298

Azuma, R., Baillet, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S. and MacIntyre, B. (2001) Recent Advances in Augmented Reality. IEEE Computer Graphics and Applications, Vol 21. (6), pp. 34-47.

กรมโยธาธิการและผังเมือง (2552) มาตรฐานประกอบกรปฏิบัติตามกฎหมาย ว่าด้วยการขุดดินและถมดิน ปี พ.ศ.2552 กระทรวงมหาดไทย

- United States Department of Labor Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (1990-2000). Distribution of Fatalities by Cause of Death.
- Qian, Q. and P. Lin. 2016. Safety Risk Management of Underground Engineering in China: Progress, Challenges and Strategies, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 8 no.4, p. 423-442.
- Common Ground Alliance. 2016. Damage Information Reporting Tool (DIRT): Analysis and Recommendations. Common Ground Alliance, Volume 13, 30.
- Hall, J.E., J.A Hammerschmidt., J.J. Goglia, G.W. Black, Jr. and C.J. Carmody. 1998. National Transportation Safety Board, Pipeline Accident Report, Natural Gas Pipeline Rupture and Subsequent Explosion, 40.
- Saaty, T.L. and L.G. Vargas. 2012. *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*, Springer New York, New York.
- Kubler, S., J. Robert, W. Derigent, A. Voisin and Y.L. Traon. 2016. A State-of-the-art survey & Testbed of fuzzy AHP Applications, *Expert Systems with Applications*, vol. 65, p.398-422.
- Saaty, T.L. 1980. *The Analytic Hierarchy*.
- E. Løken. 2007. "Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, no. 7, pp. 1584-1595.

ผลกระทบของเถ้าแกลบบดและเปลือกไข่ไก่เผาอบต่อคุณสมบัติ ของคอนกรีตพูนที่มีมวลรวมจากเศษพลาสติก

ลลิตา รักษาศิลป์^{1*} และจักรพันธ์ เทือกดี²

¹นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

²อาจารย์ที่ปรึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

*E-mail: lalita.rak@ku.th, 0649154151

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของเถ้าแกลบบดและเปลือกไข่ไก่เผาอบที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตพูนซึ่งมีเศษพลาสติก HDPE เป็นส่วนผสมในมวลรวมสัดส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยปริมาตร ศึกษาโดยแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบบดหรือเปลือกไข่ไก่เผาอบเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งในสัดส่วนร้อยละ 5 และ 10 โดยมวล และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบบดผสมเปลือกไข่ไก่เผาอบในสัดส่วนร้อยละ 10 ถึง 15 โดยมวล ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณสัดส่วนพลาสติกที่ผสมในคอนกรีตพูนไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนาแน่นและความพรุนของคอนกรีตพูน แต่มีผลโดยตรงต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูน สัดส่วนพลาสติก ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนลดลง การใช้พลาสติกแทนที่มวลรวม ในสัดส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยปริมาตร มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านตามมาตรฐาน ACI-522R-10 เหมาะสำหรับงานที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกเล็กน้อย เถ้าแกลบบดและเปลือกไข่ไก่เผาอบ สามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลด้านการรับแรงอัดของคอนกรีตพูนที่มีเศษพลาสติกเป็นมวลรวมให้มีค่ากำลังรับแรงอัดมากขึ้น ในกรณีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกไข่ไก่เผาอบในสัดส่วน ร้อยละ 5 โดยมวลในคอนกรีตพูนที่ใช้พลาสติก HDPE แทนที่มวลรวม สัดส่วนร้อยละ 5 โดยปริมาตร สามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้สูงสุดร้อยละ 70.42 เมื่อเปรียบเทียบกับ คอนกรีตพูนที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว และการแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยเถ้าแกลบบด ในสัดส่วน ร้อยละ 5 ผสมกับเปลือกไข่ไก่เผาอบในสัดส่วนร้อยละ 5 โดยมวลในคอนกรีตพูนที่มีพลาสติกเป็นมวลรวมหยาบในสัดส่วนร้อยละ 15 โดยปริมาตร ช่วยพัฒนา กำลังรับแรงอัดได้สูงสุดร้อยละ 11.36 ซึ่งเป็นสัดส่วนผสมที่ใช้ประโยชน์ จากขยะพลาสติกได้มากที่สุด โดยมีความพรุน อัตราการซึมผ่านของน้ำและกำลังรับแรงอัด อยู่ในช่วงที่ ACI-522R-10 กำหนด

คำสำคัญ คอนกรีตพูน, เถ้าแกลบบด, เปลือกไข่ไก่เผาอบ, เศษพลาสติก

Effect of Ground Rice Husk Ash and Ground Calcinated Chicken Eggshell on the Properties of Porous Concrete Incorporating Plastic Waste Aggregate

Lalita Raksasin^{1*} and Chakrapan Tuakta²

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

*E-mail: lalita.rak@ku.th, 0649154151

Abstract

The objective of this research is to investigate the effect of ground rice husk ash and ground calcinated chicken eggshell on the properties of porous concrete that incorporates HDPE plastic waste at proportions of 5, 10 and 15 by volume. In addition, cement was partially replaced with ground rice husk ash or ground calcinated chicken eggshell at 5% and 10% by mass, and partially replaced with a combination of the two in proportions ranging from 10% to 15% by mass. The results showed that the ratio of coarse aggregate replacement with plastic waste had no significant effect on the density and porosity of the porous concrete. However, its effect was significant on the compressive strength. Increasing plastic waste aggregate in porous concrete resulted in decreasing compressive strength. Nevertheless, the compressive strengths were still within the range recommended ACI 522R -10, appropriate for lightly-loaded applications. The combination of ground rice husk ash and ground calcinated eggshell in the porous concrete incorporated with plastic waste aggregate can improve the mechanical properties of compressive strength. In the case of replacing the cement with ground calcinated eggshell at 5% by mass in porous concrete incorporating plastic waste aggregate proportions of 5% by volume, the compressive strength was improved by up to 70% compared to the porous concrete using only cement. The replacement of cement with ground rice husk ash at 5% by mass mixed with ground calcinated eggshell at 5% by mass in porous concrete incorporating plastic waste aggregate proportions of 15% by volume

improved the compressive strength by up to 11.36%. This proportion provided the maximum plastic waste utilization with porosity, permeability and compressive strength in the range as recommended by ACI 522R -10.

Keywords: Porous Concrete, Ground Rice Husk Ash, Ground Calcinated Chicken Eggshell, Plastic Waste

1. บทนำ

ปัญหาขยะพลาสติกส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหลากหลายประเทศ สำหรับประเทศไทยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยประเมินว่าวิกฤติ Covid-19 ทำให้ขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นจากเฉลี่ยวันละ 5,500 ตัน เป็น 6,300 ตัน หรือคิดเป็นถึง 15% และมีขยะพลาสติกเพียง 25% เท่านั้นที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อีก 75% เป็นขยะพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง (single – use plastic) (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ, 2564) พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีความคงทนต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ จึงทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายตามธรรมชาติได้ช้ามาก (Mueller, 2006) การรีไซเคิล (recycle) จึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการบริหารจัดการขยะพลาสติก โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้พลาสติกประเภท High Density Polyethylene (HDPE) เป็นหนึ่งในประเภทพลาสติกที่นิยมใช้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ขวดแชมพูสระผม แกลลอน แทงก์น้ำ ท่อน้ำ เป็นต้น ขยะพลาสติก HDPE ย่อยสลายตามธรรมชาติได้ยากแต่นำไปรีไซเคิลได้ง่าย เนื่องจากหลอมละลายได้ง่าย ในอุตสาหกรรมก่อสร้างจึงเริ่มศึกษาการนำขยะพลาสติก HDPE ที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลเป็นเม็ดพลาสติกหรือเส้นใยพลาสติกมาแทนที่ส่วนผสมมวลรวมหายบในผลิตภัณฑ์คอนกรีต (Rahim et al., 2013)

คอนกรีตพรุน (porous concrete) เป็นคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ น้ำ และมวลรวมหายบเป็นส่วนผสม มีความพิเศษตรงที่มีความพรุนมากกว่าคอนกรีตทั่วไป โดยจะมีความพรุนตั้งแต่ 15 – 35% (ACI 522R, 2010) สามารถระบายน้ำได้ดีแม้ว่าความพรุนจะทำให้คอนกรีตพรุนมีกำลังรับแรงต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้งานทั่วไป แต่ยังคงมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งาน (Swe et al., 2016) นิยมนำมาใช้ปูผิวถนนที่รับน้ำหนักไม่มาก ทำพื้นลานจอดรถทางเท้าและทางเดินสวนสาธารณะ ความพรุนสามารถทำหน้าที่เป็นตัวกรอง สิ่งสกปรกออกจากน้ำก่อนไหลลงสู่ผิวดิน ช่วยลดมลพิษทางน้ำและดิน และมีคุณสมบัติในการดูดซับเสียง ค่าการนำความร้อนต่ำ ระบายความร้อนได้ดี (ACI, 2010) มีความเป็นไปได้ที่จะกลายเป็นวัสดุที่ได้รับการรับรองในการจัดอันดับอาคารคอนกรีตสีเขียว (Leadership in Energy and Environment, LEED) จึงเป็นเหตุผลในการศึกษาแนวทางการนำเศษพลาสติก

ประเภท HDPE มาแทนที่มวลรวมในคอนกรีตพูน อย่างไรก็ตามก็พบว่า การใช้พลาสติกประเภท HDPE แทนที่มวลรวมบางส่วนในคอนกรีตอาจทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติเชิงกลลดลง (Tran et al., 2021) ดังนั้นอาจปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลโดยใช้เถ้าแกลบบดและเปลือกไข่ไก่เผาสด ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการเกษตร เนื่องจากเถ้าแกลบเป็นหนึ่งในวัสดุปอซโซลานที่มีคุณสมบัติให้กำลังรับแรงอัดระยะหลังของคอนกรีตเท่ากันหรืออาจมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (วินิต, 2557) และมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) เป็นองค์ประกอบหลัก 70 – 90 % มีน้ำหนักเบา มีพื้นที่ผิวมากและความพรุนสูง (จิวิราภรณ์และธนัญญา, 2558) ส่วนเปลือกไข่ไก่เผามีปูนขาว (CaO) เป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง ซึ่งเป็นองค์ประกอบเดียวกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (วินิต, 2557)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของเถ้าแกลบบดและเปลือกไข่ไก่เผาสดที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตพูนที่ใช้เศษพลาสติกเป็นมวลรวม เนื่องจากเถ้าแกลบและเปลือกไข่ไก่มีองค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการพัฒนาวัสดุสำหรับงานก่อสร้างที่สามารถใช้ประโยชน์จากขยะพลาสติกและขยะจากอุตสาหกรรมการเกษตรได้.

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คอนกรีตพูน

คอนกรีตพูน เป็นคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบา กำลังต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไป เนื่องจากลักษณะภายในเนื้อคอนกรีตพูนจะมีรูพรุนหรือเป็นโพรง (void content) ขนาด 2-8 มม. ต่อเนื่องทำให้น้ำและอากาศไหลผ่านได้ คอนกรีตพูนมีค่ายุบตัว ใกล้เคียง 0 ซม. มีกำลังอัดอยู่ที่ 2.8 -28.0 เมกะปาสคาล และมีค่าอัตราการไหลผ่านของน้ำ (drainage rate) อยู่ระหว่าง 0.14 - 1.22 เซนติเมตร/วินาที (ACI, 2010) คอนกรีตพูนประกอบด้วย มวลรวมหยาบ 60 - 70% มวลรวมละเอียด 15 - 25% โดยปริมาตรหรือไม่มีมวลรวมละเอียด และมีรูพรุนหรือโพรงอากาศ 15-35% โดยปริมาตรขนาดของมวลรวมที่เล็กลงจะส่งผลให้กำลังของคอนกรีตพูนเพิ่มขึ้นเนื่องจากสามารถเพิ่มผิวสัมผัสกับเพสต์ได้ (Yang and Jiang , 2003) คอนกรีตพูนที่มีปริมาณเพสต์มากหรือใช้มวลรวมหยาบที่มีขนาดเล็กลงจะมีผลทำให้ความต่อเนื่องของโพรงลดลง (Sumanasooriya and Neithalath, 2011) มาตรฐานการออกแบบและการทดสอบคอนกรีตพูนถูกกำหนดอยู่ใน ACI 522.1 – 10

2.2 การใช้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสมคอนกรีต

เถ้าแกลบ (rice husk ash) เป็นผลพลอยได้จากการเผาไหม้ของแกลบซึ่งเป็นวัสดุชีวมวลที่เหลือทิ้งจากจากกระบวนการสีข้าว มีคุณสมบัติดูดซับความชื้นและสารเคมีได้ดี

ลักษณะทางกายภาพเป็นสีขาวหรือสีดำน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเผา เถ้าแกลบมีสารประกอบซิลิกา (silica, SiO₂) เป็นสารประกอบหลัก การเผาแกลบที่อุณหภูมิ 200 – 600 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้เถ้าแกลบที่มีซิลิกาอยู่ในสถานะอสัณฐาน (amorphous) มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก ซึ่งปริมาณและความละเอียดของเถ้าแกลบมีความสำคัญในการทำปฏิกิริยา เถ้าแกลบที่ได้จากการเผาแกลบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส จะมีพื้นที่ผิวสูงสุด ส่วนเถ้าแกลบที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิสูงกว่านี้จะมีพื้นที่ผิวลดลงอย่างมาก (ภาณุพงศ์, 2559) เถ้าแกลบสามารถนำมาใช้เป็นตัวผสมเพิ่มเพื่อช่วยพัฒนา กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เนื่องจากเมื่อเถ้าแกลบผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกซึ่งเมื่อผสมกับซีเมนต์จะทำให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดลง มีผลทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติคงทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตดีขึ้น มีความทึบน้ำมากขึ้น รูปทรงลดลง ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในช่วงปลายเพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบที่มีความละเอียด 5,100 ตร.ม./กรัม อยู่ในช่วงร้อยละ 5 – 20 โดยมวล จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตและมอร์ตาร์ที่ไม่ได้ผสมเถ้าแกลบ (ภาณุพงศ์, 2559) อย่างไรก็ตามพบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบในสัดส่วนร้อยละ 30 มีผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมเล็กน้อย (ฉลองและเรืองรุชต์, 2562)

2.3 การใช้เปลือกไข่ไก่เผาเป็นส่วนผสมคอนกรีต

เปลือกไข่สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นเปลือกไข่ (egg membrane) เป็นชั้นของสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยเส้นใยโปรตีน และชั้นสารอนินทรีย์ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) แมกนีเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมฟอสเฟตและสารอินทรีย์ในอัตราส่วนร้อยละ 94, 1, 1 และ 4 ตามลำดับ (Tsai et al., 2008) เปลือกไข่ไก่ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนสูงในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเรียกว่า ปฏิกิริยาแคลซิเนชัน (calcination) (Domrongpakkaphan, 2012) ซึ่งผลิตภัณฑ์แคลเซียมออกไซด์ที่ได้มีคุณสมบัติเหมือนกับแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเผาหินปูน สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมปูนฉาบเปลือกไข่ไก่เผาที่อุณหภูมิ 600 – 800 องศาเซลเซียส ผสมปูนซีเมนต์ในคอนกรีตมวลเบา มีผลทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลงและกำลังอัดประลัยสูงขึ้น (ศักดิ์ดา, 2555) เมื่อเผาเปลือกไข่ไก่ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และนำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตมอร์ตาร์ในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : น้ำ : ทราาย เท่ากับ 1 : 1 : 2 แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกไข่ไกร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยปริมาตร ได้ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่ามากกว่ามอร์ตาร์ควบคุม (จินตนา และคณะ, 2563)

2.4 การใช้เศษพลาสติกเป็นส่วนผสมคอนกรีต

จากงานวิจัยในอดีต Ismail และ Hashmi. (2008) ศึกษาการใช้ขยะพลาสติกเป็นส่วนผสมในคอนกรีต โดยผสมแทนที่มวลรวมละเอียดในสัดส่วนร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 พบว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตลดลงจากคอนกรีตควบคุมและมีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนพลาสติกที่เพิ่มขึ้น แต่ยังมีค่าสูงกว่าค่าต่ำสุดที่กำหนดของกำลังอัดประลัยของคอนกรีตโครงสร้าง Rahim และคณะ (2013) ศึกษาการใช้พลาสติก HDPE ขนาด 4.75 – 20 มม. ที่ตัดจากบรรจุภัณฑ์ของเหลวมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตโดยแทนที่มวลรวมหยาบสัดส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยปริมาตร ผลทดสอบรับกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงเมื่อสัดส่วนการแทนที่มวลรวมหยาบด้วยพลาสติก HDPE เพิ่มขึ้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดใช้ประโยชน์จากขยะพลาสติก HDPE เป็นส่วนผสมในคอนกรีตพรุน ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ใช้สำหรับงานที่รับกำลังอัดไม่มาก และใช้ประโยชน์จากแก้วกลบุดและเปลือกไข่ไก่เผาบดแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตพรุนที่ใช้เศษพลาสติกเป็นมวลรวม เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการพัฒนาวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างที่สามารถใช้ประโยชน์จากขยะพลาสติกและขยะจากอุตสาหกรรมการเกษตรได้ โดยกำหนดสัดส่วนการแทนที่พลาสติก HDPE จากงานวิจัยของ Abeyasinghe และคณะ (2021) ที่พบว่าสัดส่วนการใช้พลาสติก HDPE แทนที่มวลรวมร้อยละ 5 จะให้กำลังรับแรงดึงสูงสุด , สัดส่วนร้อยละ 10 และ 15 จะให้แรงอัดและแรงดัดสูงสุด และกำหนดสัดส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยแก้วกลบุดและเปลือกไข่ไก่เผาบดโดยอ้างอิงผลการศึกษาของ Hesami และคณะ (2014) ที่พบว่า ปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยแก้วกลบุดร้อยละ 8 ถึง 10 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตพรุนที่มีเส้นใยเป็นส่วนผสม

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1.) เครื่องเขย่าพร้อมชุดตะแกรงร่อนตามมาตรฐาน ASTM E11
- 2.) ภาชนะและเครื่องชั่งน้ำหนัก
- 3.) เครื่องมือผสมคอนกรีต
- 4.) แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม.

ดังรูปที่ 1 (ก) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 100 มม. ดังรูปที่ 1(ข)

- 5.) เครื่องเผาอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส
- 6.) ตู้อบไฟฟ้า สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 105 ± 5 องศาเซลเซียส

- 7.) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) ดังรูปที่ 1(ค)
 8.) อุปกรณ์สำหรับทดสอบค่าการซึมผ่านของน้ำ (percolation test) ดังรูปที่ 1(ง)



(ก) แบบหล่อ
คอนกรีต
(100 มม.
สูง 200 มม.)

(ข) บบหล่อคอนกรีต
(100 มม.
สูง 100 มม.)

(ค) เครื่องทดสอบ
อเนกประสงค์

(ง) อุปกรณ์สำหรับ
ทดสอบค่าการ
ซึมผ่านของน้ำ

รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

- 1.) ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement, OPC) ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C150
- 2.) มวลรวม ใช้หินขนาด 4.75 – 9.50 มม. (ขนาดละเอียดเบอร์ 8) ตามมาตรฐาน ASTM C33 ซึ่งค้ำตะแกรงเบอร์ 3/8” ร้อยละ 0 ค้ำตะแกรงเบอร์ 4” ร้อยละ 90 และค้ำตะแกรงเบอร์ 8” ร้อยละ 10
- 3.) น้ำ ใช้น้ำสะอาด ปราศจากสี กลิ่น และสารที่มีผลเสียต่อกอนกรีต
- 4.) พลาสติก HDPE ใช้พลาสติก HDPE จากกระบวนการรีไซเคิลบรรจุภัณฑ์ ซึ่งผ่านการเติมดินเหนียวให้มีความหนาแน่น 1.01 กรัม/ลบ.ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. ตัดให้ยาวประมาณ 5 มม. ดังรูปที่ 2(ก)
- 5.) ถ้ำแกลบสด ใช้ถ้ำแกลบเหลือทิ้งจากกระบวนการเผาเป็นเชื้อเพลิง นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และบดละเอียดให้สามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 หรือมีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน ดังรูปที่ 2(ข) ก่อนนำไปผสมคอนกรีต ปล่อยให้ความชื้นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง
- 6.) เปลือกไข่ไก่เผาสด ใช้เปลือกไข่ไก่ที่ล้างสะอาด นำมาตากให้แห้ง บดเปลือกไข่ไก่ให้มีขนาดประมาณ 0.5 – 2 มม. นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ไก่

จากแคลเซียมคาร์บอเนตให้เป็นแคลเซียมออกไซด์ เพื่อให้อยู่ในสถานะผลึกของแข็ง และปราศจากสารอินทรีย์ (ศักดิ์ดา, 2555) และบดละเอียดให้สามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 หรือมีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน ดังรูปที่ 2(ค) ก่อนนำไปผสมคอนกรีต อบอุ่นความชื้นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง



(ก) พลาสติก HDPE



(ข) ถ้ำแกลบบด



(ค) เปลือกไข่ไก่เผาบด

รูปที่ 2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.2 สัดส่วนผสมของคอนกรีตพูน

ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตพูนตามมาตรฐาน ACI 522.1 -13 โดยออกแบบความพูนที่ 20% ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.3 ส่วนผสมประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 น้ำ และหินธรรมชาติขนาด 4.75 – 9.50 มม. (ขนาดคละเบอร์ 8) ตามมาตรฐาน ASTM C33 แทนที่หินด้วยพลาสติก HDPE ในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยปริมาตร แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยถ้ำแกลบบดและเปลือกไข่ไก่เผาบดเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งในสัดส่วนร้อยละ 0, 5 และ 10 โดยมวล และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยถ้ำแกลบบดและเปลือกไข่ไก่เผาบดผสมรวมกันในสัดส่วน ถ้ำแกลบบดร้อยละ 5 ผสมเปลือกไข่ไก่เผาบดร้อยละ 5, ถ้ำแกลบบดร้อยละ 5 ผสมเปลือกไข่ไก่เผาบดร้อยละ 10 และถ้ำแกลบบดร้อยละ 10 ผสมเปลือกไข่ไก่เผาบดร้อยละ 5 รายละเอียดสัดส่วนผสมของคอนกรีตพูนที่ใช้ในการศึกษาเป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมของคอนกรีตพอร์นที่ใช้ในการศึกษาต่อปริมาตรคอนกรีตพอร์น 1 ลบ.ม.

ชุดทดลอง	รหัส ตัวอย่าง	ซีเมนต์ (kg)	น้ำ (kg)	หิน (kg)	HDPE (kg)	แก้วกลม บด (kg)	เปลือก ไข่ไก่ เผาบด (kg)
1	H0-R0- E0	366.00	109.00	1,530.00	-	-	-
2	H5-R0- E0	366.00	109.00	1,453.50	29.27	-	-
3	H5-R5- E0	347.70	109.00	1,453.50	29.27	18.30	-
4	H5-R10- E0	329.40	109.00	1,453.50	29.27	36.60	-
5	H5-R0- E5	347.70	109.00	1,453.50	29.27	-	18.30
6	H5-R0- E10	329.40	109.00	1,453.50	29.27	-	36.60
7	H5-R5- E5	329.40	109.00	1,453.50	29.27	18.30	18.30
8	H5-R5- E10	311.10	109.00	1,453.50	29.27	18.30	36.60
9	H5-R10- E5	311.10	109.00	1,453.50	29.27	36.60	18.30
10	H10-R0- E0	366.00	109.00	1,377.00	58.53	-	-
11	H10-R5- E0	347.70	109.00	1,377.00	58.53	18.30	-
12	H10- R10-E0	329.40	109.00	1,377.00	58.53	36.60	-
13	H10-R0- E5	347.70	109.00	1,377.00	58.53	-	18.30

ตารางที่ 1 (ต่อ) สัดส่วนผสมของคอนกรีตพูนที่ใช้ในการศึกษาต่อปริมาตรคอนกรีตพูน 1 ลบ.ม.

ชุดทดลอง	รหัสตัวอย่าง	ซีเมนต์ (kg)	น้ำ (kg)	หิน (kg)	HDPE (kg)	เถ้าแกลบ บด (kg)	เปลือกไข่ไก่เผาบด (kg)
14	H10-R0-E10	329.40	109.00	1,377.00	58.53	-	36.60
15	H10-R5-E5	329.40	109.00	1,377.00	58.53	18.30	18.30
16	H10-R5-E10	311.10	109.00	1,377.00	58.53	18.30	36.60
17	H10-R10-E5	311.10	109.00	1,377.00	58.53	36.60	18.30
18	H15-R0-E0	366.00	109.00	1,300.50	87.80	-	-
19	H15-R5-E0	347.70	109.00	1,300.50	87.80	18.30	-
20	H15-R10-E0	329.40	109.00	1,300.50	87.80	36.60	-
21	H15-R0-E5	347.70	109.00	1,300.50	87.80	-	18.30
22	H15-R0-E10	329.40	109.00	1,300.50	87.80	-	36.60
23	H15-R5-E5	329.40	109.00	1,300.50	87.80	18.30	18.30
24	H15-R5-E10	311.10	109.00	1,300.50	87.80	18.30	36.60
25	H15-R10-E5	311.10	109.00	1,300.50	87.80	36.60	18.30

หมายเหตุ	H0, H5, H10, H15	= ปริมาณสัดส่วนพลาสติก HDPE ที่แทนที่หินร้อยละ 0, 5, 10, 15 โดยปริมาตร คำนวณหาปริมาตรการแทนที่หินโดยพิจารณาจากค่าความถ่วงจำเพาะของหิน
	หิน	= 2.64 และคำนวณหาน้ำหนักพลาสติก HDPE ที่ใช้แทนปริมาตรหิน โดยพิจารณาจากค่าความหนาแน่นของพลาสติก HDPE = 1.01 กรัม/ลบ.ซม.
	R0, R5, R10	= ปริมาณสัดส่วนเถ้าแกลบบดที่แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 5, 10 โดยมวล ซึ่งแทนที่โดยน้ำหนัก
	E0, E5, E10	= ปริมาณสัดส่วนเปลือกไข่ไก่เผาบดที่แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 5, 10 โดยมวลซึ่งแทนที่โดยน้ำหนัก

3.3 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตพูน

เตรียมส่วนผสมคอนกรีตพูนตามปริมาณดังตารางที่ 1 โดยหินที่ใช้ผสมจะต้องอยู่ในสถานะอิ่มตัวผิวแห้ง ผสมตัวอย่างคอนกรีตพูน โดยเริ่มจากการผสมแห้งชั้นแรกผสมปูนซีเมนต์ เถ้าแกลบบด และเปลือกไข่ไก่เผาบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงนำไปผสมกับหินและพลาสติก HDPE แล้วจึงเติมน้ำลงไป โดยแบ่งการเติมน้ำเป็น 3 ครั้งเพื่อให้น้ำกระจายทั่วถึงและผสมให้น้ำเข้ากันดีกับวัสดุอื่นจนเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาในการผสมประมาณ 120 วินาที คอนกรีตพูนที่ได้จะมีความเหนียวคล้ายคอนกรีตที่ไม่มีค่าการยุบตัว และมีซีเมนต์เพสต์เคลือบผิวมวลรวมทั่วถึงดี ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การผสมคอนกรีตพูน

นำคอนกรีตที่ผสมแล้วใส่แบบหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม. ชุดทดลองละ 3 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 4(ก) สำหรับทดสอบหาค่าความพูนและกำลังรับแรงอัด และแบบหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 100 มม. ชุดทดลองละ 3 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 4(ข) สำหรับทดสอบการซึมผ่านของน้ำ โดยแบ่งใส่คอนกรีตเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้น

กระทุ้งด้วยแท่งเหล็กกระทุ้ง 25 ครั้ง ถอดแบบหล่อเมื่อครบ 24 ชั่วโมง และบ่มคอนกรีต
 ในน้ำเป็นเวลา 28 วัน จึงนำมาทดสอบ



(ก) คอนกรีตพูนขนาด 100 มม. สูง 200 มม. (ข) คอนกรีตพูนขนาด 100 มม. สูง 100 มม.

รูปที่ 4 ตัวอย่างคอนกรีตพูน

3.4 การทดสอบคอนกรีตพูน

ความหนาแน่นของคอนกรีตพูนหาได้จากสมการที่ 1

$$\rho = \frac{M_d}{V} \quad (1)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว (กก./ลบ.ม.)

M_d = น้ำหนักของคอนกรีตพูนหลังการอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กก.)

V = ปริมาตรของก้อนตัวอย่างคอนกรีตพูน (ลบ.ม.)

ความพูนของคอนกรีตหาได้จากสมการที่ 2 โดยนำก้อนตัวอย่างคอนกรีต
 พูนแช่น้ำเป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างคอนกรีตในน้ำ
 จะได้น้ำหนักแบบชั่งในน้ำ (M_w)

$$\emptyset = 1 - \frac{M_d - M_w}{\rho_w V} \quad (2)$$

เมื่อ \emptyset = ความพูนของคอนกรีต

M_d = น้ำหนักของคอนกรีตพูนหลังการอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กก.)

M_w = น้ำหนักก้อนคอนกรีตแบบชั่งในน้ำ (กก.)

$$\rho_w = \text{ความหนาแน่นของน้ำ (กก./ลบ.ม.)}$$

$$V = \text{ปริมาตรของก้อนตัวอย่างคอนกรีตพรุน (ลบ.ม.)}$$

อัตราการซึมผ่านของน้ำหาได้โดยวิธี Constant Head ตามมาตรฐาน ASTM C1701 (ASTM, 2009) ดังรูปที่ 1(ง) อุปกรณ์สำหรับทดสอบค่าการซึมผ่านของน้ำก่อนเริ่มการทดสอบทำการห่อหุ้มก้อนตัวอย่างคอนกรีตพรุนด้านข้างเพื่อให้น้ำไหลผ่านได้เฉพาะแนวตั้งของก้อนคอนกรีตพรุนเท่านั้น ไม่ให้เกิดการสูญเสียน้ำทางด้านข้าง ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำคำนวณได้จากปริมาตรน้ำและเวลาที่น้ำซึมผ่านก้อนตัวอย่างคอนกรีตพรุน ดังสมการที่ 3

$$k = \frac{QL}{tHA} \quad (3)$$

เมื่อ k = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพรุน (ซม./วินาที)

Q = ปริมาตรน้ำที่ซึมผ่านก้อนตัวอย่างทดสอบ (ลบ.ซม.)

L = ความสูงของก้อนคอนกรีตพรุน (ซม.)

A = ขนาดหน้าตัดของก้อนคอนกรีตพรุน (ตร.ซม.)

H = ผลต่างของระดับน้ำที่ทางเข้าและทางออกน้ำ (ซม.)

t = เวลาที่ต้องการสำหรับออกแบบปริมาตรน้ำที่ซึมผ่านก้อนตัวอย่าง (วินาที)

ทดสอบหากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนที่ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C39 (ASTM, 2001) โดยใช้ก้อนตัวอย่างคอนกรีตพรุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม. เคลือบกำมะถันบริเวณหัวและท้ายของก้อนคอนกรีตพรุนให้พื้นที่รับแรงกดมีความเรียบสม่ำเสมอเท่ากัน และทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบเนกประสงค์ ที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวกด ที่อัตรา 0.3 มม./นาที จนกระทั่งตัวอย่างเกิดการวิบัติ ดังรูปที่ 5 คำนวณกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนตามสมการที่ 4

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4)$$

เมื่อ σ = กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (เมกะปาสคาล)
 P = แรงกดที่กระทำ (นิวตัน)
 A = พื้นที่หน้าตัดของคอนกรีต (ตร.มม.)

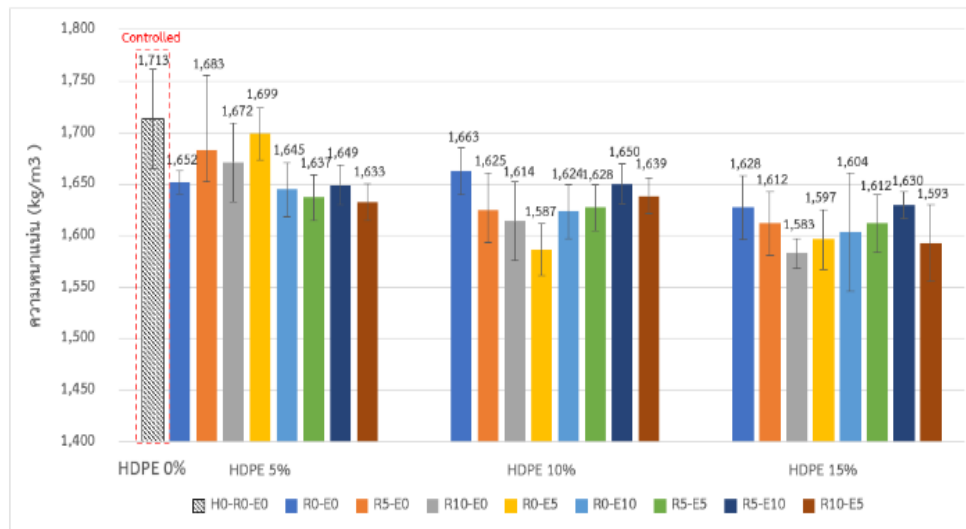


รูปที่ 5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูน

4. ผลการวิจัย

4.1 ความหนาแน่นของคอนกรีตพูน

จากการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตพูนพบว่า ความหนาแน่นของคอนกรีตพูนที่ใช้พลาสติก HDPE แทนที่ หินบางส่วนมีความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตพูนที่ใช้หินเป็นมวลรวมเพียงอย่างเดียว เนื่องจากพลาสติก HDPE มีความหนาแน่นน้อยกว่าหินที่ใช้เป็นมวลรวมหยาบ เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของคอนกรีตพูนที่ใช้พลาสติก HDPE แทนที่ หินในสัดส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยปริมาตรและมีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว จะพบว่าความหนาแน่นของคอนกรีตพูนมีค่าใกล้เคียงกัน ปริมาณสัดส่วนผสมพลาสติก HDPE ที่เพิ่มขึ้นมีผลกระทบต่อความหนาแน่นของคอนกรีตพูนเพียงเล็กน้อย สำหรับคอนกรีตพูนที่ใช้พลาสติก HDPE แทนที่ หินร้อยละ 10 และ 15 โดยปริมาตร การใช้แก้วแกลบเผาขัดและเปลือกไข่ไก่เผาขัดแทนที่ปูนซีเมนต์มีผลทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตพูนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตพูนที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว สำหรับคอนกรีตพูนที่ใช้พลาสติก HDPE แทนที่ หินร้อยละ 5 โดยปริมาตร การใช้แก้วแกลบเผาขัดร้อยละ 5 และ 10 และเปลือกไข่ไก่เผาขัดร้อยละ 5 โดยมวลแทนที่ปูนซีเมนต์มีผลทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตพูนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตพูนที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว แสดงดังรูปที่ 6



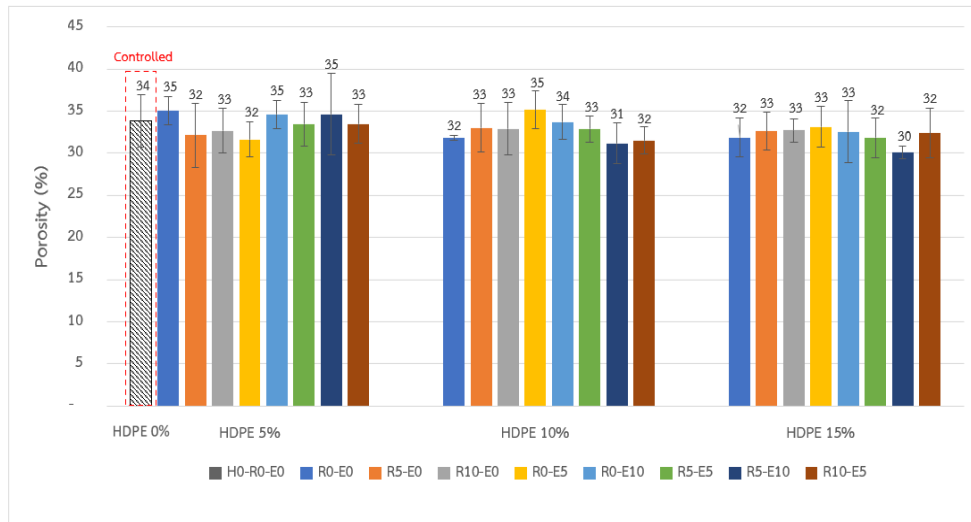
รูปที่ 6 ความหนาแน่นของคอนกรีตพูนที่ผสมพลาสติก HDPE
 ถ้ำกลบตบและเปลือกไข่ไก่เผาตบ

4.2 ความพรุนของคอนกรีต

การทดสอบความพรุนจากตัวอย่างทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม. ที่อายุคอนกรีต 28 วัน พบว่า คอนกรีตพูนควบคุม (HO-R0-E0) มีความพรุน 34% ซึ่งอยู่ในช่วงความพรุนของคอนกรีตพูนทั่วไปที่มีความพรุนตั้งแต่ 15 – 35% (ACI, 2010) จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่า คอนกรีตพูนที่แทนที่หินด้วยพลาสติก HDPE สัดส่วนร้อยละ 5 โดยปริมาตร มีความพรุนสูงกว่าคอนกรีตพูนควบคุมเล็กน้อย อาจเนื่องจากสัดส่วนพลาสติก HDPE ที่ใช้แทนที่หินมีปริมาณน้อย ในขณะที่คอนกรีตพูนที่แทนที่หินด้วยพลาสติก HDPE สัดส่วนร้อยละ 10 และร้อยละ 15 โดยปริมาตร มีความพรุนต่ำกว่าคอนกรีตพูนควบคุม โดยที่ความพรุนไม่แปรผันตามปริมาณพลาสติก HDPE ที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการแทนที่มวลรวมด้วยพลาสติก HDPE ในสัดส่วนที่มากขึ้นไม่ได้ส่งผลต่อความพรุนของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากขนาดของพลาสติก HDPE ที่ใช้เป็นผสมคอนกรีตพูนในงานวิจัยนี้มีขนาด 5 มม. ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดคละของหินผสมคอนกรีตที่มีขนาด 4.75 – 9.50 มม.

เมื่อเปรียบเทียบความพรุนระหว่างคอนกรีตพูนที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวกับคอนกรีตพูนที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยถ้ำกลบตบและเปลือกไข่ไก่เผาตบ จะพบว่า ในคอนกรีตพูนที่มีพลาสติก HDPE เป็นมวลรวมในสัดส่วนร้อยละ 10 และร้อยละ 15 โดยปริมาตร การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยถ้ำกลบตบและเปลือกไข่ไก่เผาตบมีผลทำให้ความพรุนของคอนกรีตพูนเพิ่มขึ้น ยกเว้นตัวอย่างทดสอบที่

แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ากลบบดร่วมกับเปลือกไข่ไก่เผาบดรวมกันที่สัดส่วนร้อยละ 5 และ 10 มีผลทำให้ความพรุนลดลง และการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ากลบบดและเปลือกไข่ไก่เผาบดในคอนกรีตพูนที่มีพลาสติก HDPE เป็นมวลรวมในสัดส่วนร้อยละ 5 โดยปริมาตร มีผลทำให้ความพรุนของคอนกรีตพูนลดลง

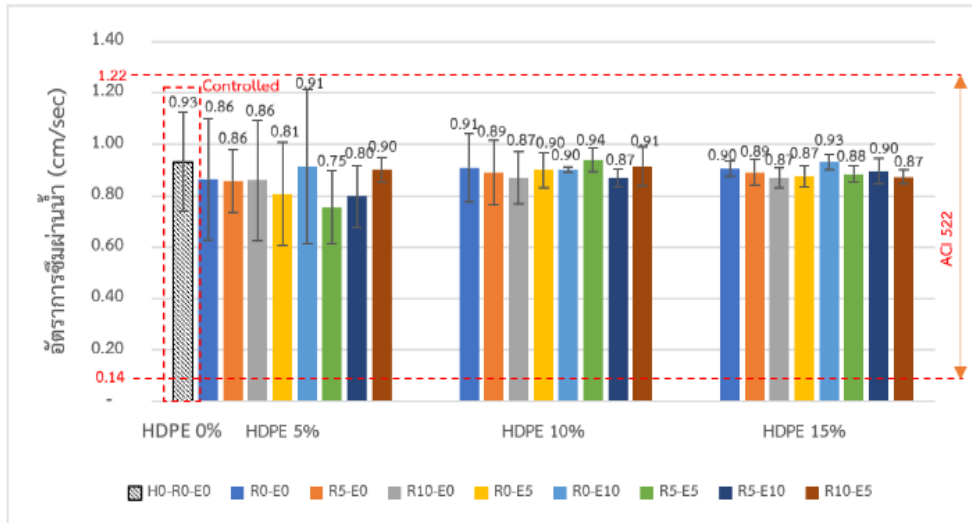


รูปที่ 7 ความพรุนของคอนกรีตพูนที่ผสมพลาสติก HDPE เถ้ากลบบดและเปลือกไข่ไก่เผาบด

4.3 อัตราการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพูน (Permeability)

จากการทดสอบการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพูนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 100 มม. ที่อายุคอนกรีต 28 วัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำอยู่ในช่วง 0.75 – 0.94 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นไปตามข้อแนะนำตามมาตรฐาน ACI-522R-10 ที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำอยู่ในช่วง 0.14 – 1.22 เซนติเมตรต่อวินาที จากรูปที่ 8 จะเห็นว่า คอนกรีตพูนที่มีพลาสติก HDPE เป็นมวลรวม มีอัตราการซึมผ่านของน้ำน้อยกว่าคอนกรีตพูนควบคุมเมื่อเปรียบเทียบอัตราการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพูนที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวกับคอนกรีตพูนที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ากลบบดและเปลือกไข่ไก่เผาบดในคอนกรีตพูนที่มีพลาสติก HDPE แทนที่ หิน พบว่า ในคอนกรีตพูนที่มีพลาสติก HDPE แทนที่ หิน สัดส่วนร้อยละ 5 การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกไข่ไก่เผาบดสัดส่วนร้อยละ 10 และการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ากลบบดร่วมกับเปลือกไข่ไก่เผาบดสัดส่วนร้อยละ 10 และ 5 ตามลำดับ มีผลทำให้อัตราการซึมผ่านน้ำเพิ่มขึ้น สำหรับคอนกรีตพูนที่มีพลาสติก HDPE แทนที่ หิน สัดส่วนร้อยละ 10 การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ากลบบดในสัดส่วนร้อยละ 5

ร่วมกับเปลือกไข่ไก่เผาบดในสัดส่วนร้อยละ 5 มีผลทำให้อัตราการซึมผ่านน้ำเพิ่มขึ้น และสำหรับคอนกรีตพูนที่มีพลาสติก HDPE เป็นมวลรวมในสัดส่วนร้อยละ 15 การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกไข่ไก่เผาบดสัดส่วนร้อยละ 10 มีผลทำให้อัตราการซึมผ่านน้ำเพิ่มขึ้น



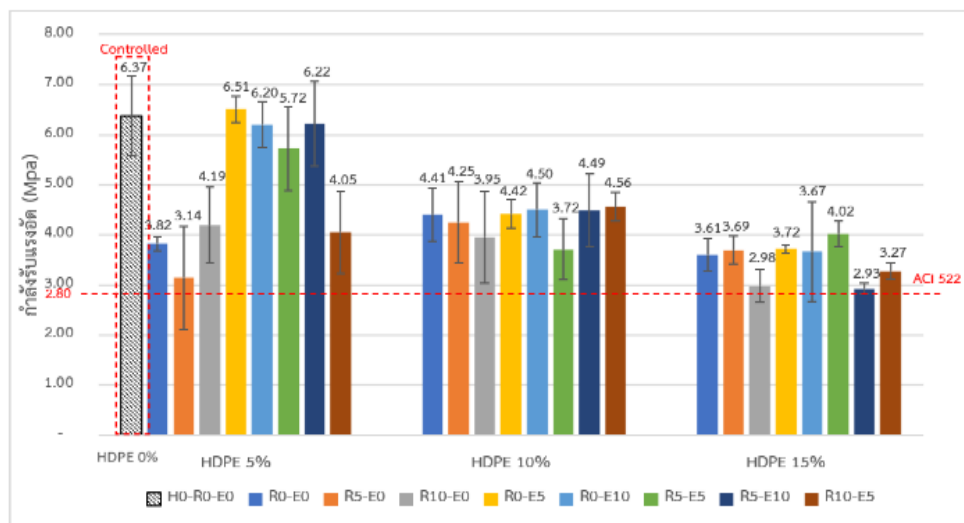
รูปที่ 8 อัตราการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพูนที่ผสมพลาสติก HDPE
 ไข่แก่ลบบดและเปลือกไข่ไก่เผาบด

4.4 กำลังรับแรงอัด

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม. ที่อายุคอนกรีต 28 วัน ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนอยู่ในช่วง 2.93 – 6.51 เมกะปาสคาล ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ACI-522R-10 ที่กำหนดค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนอยู่ในช่วง 2.8 – 28 เมกะปาสคาล คอนกรีตพูนที่ได้จึงมีระดับกำลังอัดเหมาะสมกับงานที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกค่า เช่น ทางเดินเท้า จากรูปที่ 9 จะเห็นว่า คอนกรีตพูนที่มีการแทนที่หินบางส่วนด้วยพลาสติก HDPE มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตพูนที่มีหินเป็นมวลรวมเพียงอย่างเดียว อาจเป็นผลมาจากพลาสติก HDPE มีลักษณะกลม ผิวเรียบ จึงมีแรงยึดเหนี่ยวกับซีเมนต์เพสต์น้อยกว่าหิน (Abeyasinghe และคณะ, 2020) ซึ่งเป็นไปตามผลการศึกษาของ Cui และคณะ (2017) ที่พบว่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนจะลดลงเมื่อการยึดเกาะกันระหว่างซีเมนต์เพสต์และมวลรวมลดลง

การใช้ไข่แก่ลบบดและเปลือกไข่ไก่เผาบดแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพูนที่มีพลาสติก HDPE เป็นมวลรวม พบว่า การใช้ไข่แก่ลบบด

และเปลือกไข่ไก่เผาจะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดอย่างมีนัยสำคัญในคอนกรีตพูนที่ใช้พลาสติก HDPE เป็นมวลรวมในสัดส่วนร้อยละ 5 โดยปริมาตร แต่จะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้เพียงเล็กน้อยในคอนกรีตพูนที่ใช้พลาสติก HDPE เป็นมวลรวมในสัดส่วนร้อยละ 10 และ 15 โดยปริมาตร สัดส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาจากกำลังรับแรงอัดสูงสุดของตัวอย่างคอนกรีตพูนในแต่ละชุดการทดสอบที่มีสัดส่วนการแทนที่มวลรวมด้วยพลาสติก HDPE ต่างกัน ได้แก่ การแทนที่ด้วยเปลือกไข่ไก่เผาหรือร้อยละ 5 สำหรับคอนกรีตที่ใช้ HDPE เป็นมวลรวมร้อยละ 5 โดยปริมาตร การแทนที่ด้วยเถ้าแกลบพร้อมกับเปลือกไข่ไก่เผาในสัดส่วน ร้อยละ 10 และ 5 ตามลำดับ สำหรับคอนกรีตที่ใช้ HDPE เป็นมวลรวมร้อยละ 10 โดยปริมาตร และการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบพร้อมกับเปลือกไข่ไก่เผาในสัดส่วนร้อยละ 5 และ 5 ตามลำดับ สำหรับคอนกรีตที่ใช้ HDPE เป็นมวลรวมร้อยละ 15 โดยปริมาตร โดยจะปรับปรุงกำลังอัดให้เพิ่มขึ้นร้อยละ 70.42, 3.40 และ 11.36 ตามลำดับ จากผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนที่มีพลาสติก HDPE เถ้าแกลบเผาและเปลือกไข่ไก่เผาเป็นส่วนผสมทุกตัวอย่างทดสอบมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า 2.80 เมกะปาสคาล ซึ่งผ่านตามมาตรฐาน ACI-522R-10



รูปที่ 9 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนที่ผสมพลาสติก HDPE เถ้าแกลบและเปลือกไข่ไก่เผา

5. สรุปและอภิปรายผล

1. ปริมาณสัดส่วนพลาสติก HDPE ที่ผสมในคอนกรีตพูนไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนาแน่นและความพูนของคอนกรีตพูน แต่ชนิดของมวลรวมมีผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีตพูน เนื่องจากพลาสติก HDPE มีความหนาแน่น 1.01 กรัม/ลบ.ซม. ซึ่งน้อยกว่าหินที่ใช้เป็นมวลรวมหยาบทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตพูนลดลง ในส่วนของความพูนเนื่องจากขนาดของพลาสติก HDPE ที่ใช้เป็นผสมคอนกรีตพูนในงานวิจัยนี้มีขนาด 5 มม. ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดคละของหินผสมคอนกรีตที่มีขนาด 4.75 – 9.50 มม. จึงไม่ได้ส่งผลต่อความพูนของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ

2. ปริมาณสัดส่วนพลาสติก HDPE ที่ผสมในคอนกรีตพูนมีผลโดยตรงกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูน สัดส่วนพลาสติก HDPE ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนลดลง สำหรับคอนกรีตพูนที่มีส่วนผสม HDPE ร้อยละ 5 โดยปริมาตรมีผลทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่าคอนกรีตพูนที่มีส่วนผสม HDPE ร้อยละ 10 โดยปริมาตรนั้นอาจเกิดจากขั้นตอนผสมในช่วงแรกใช้เวลานานจึงทำให้น้ำบางส่วนระเหยออกจากคอนกรีตพูนส่งผลต่อการยึดเกาะกันระหว่างมวลรวมและซีเมนต์เพสต์ ทั้งนี้การใช้พลาสติก HDPE แทนที่มวลรวมในสัดส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยปริมาตรมีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านตามมาตรฐาน ACI-522R-10 การแทนที่มวลรวมด้วยพลาสติก HDPE ในสัดส่วนร้อยละ 15 เป็นการใช้อย่างประหยัดจากขยะพลาสติกได้มากที่สุดโดยที่คุณสมบัติของคอนกรีตพูนยังเพียงพอต่อการใช้งาน

3. ถ้ำแกลบบดและเปลือกไข่ไก่เผาบดช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลด้านการรับแรงอัดของคอนกรีตพูนที่มีเศษพลาสติก HDPE เป็นมวลรวม ให้มีค่ารับแรงอัดมากขึ้น การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยถ้ำแกลบบดในสัดส่วนร้อยละ 5 ผสมกับเปลือกไข่ไก่เผาบดในสัดส่วนร้อยละ 5 โดยมวล ในคอนกรีตพูนที่มีพลาสติก HDPE เป็นมวลรวมหยาบในสัดส่วนร้อยละ 15 โดยปริมาตร ช่วยพัฒนากำลังรับแรงอัดได้และเป็นการใช้อย่างประหยัดจากขยะพลาสติกได้มากที่สุด

6. เอกสารอ้างอิง

จินตนา พวงสันเทียะ, ชลิตา โตสนั่น, มธุรดา นามนนท์, และวงศ์เชียว. (2563).

ผลของเปลือกไข่ไก่ต่อค่ากำลังรับแรงอัดและสมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์.

วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, 5 (05).

จิรวราภรณ์ อินทร์เกลี้ยง, และธนัญญา เสาวภาคย์. (2558). การนำถ้ำแกลบบดมาใช้เป็นสาร

ตัวเติมในยางธรรมชาติ (รายงานผลการวิจัย). นครปฐม: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม,

- ฉลอง ปะลาซิงตั้ง, และเรื่องรุชดี ซีระโรจน์. (2562). การทนไฟของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กผสมแก้วกลบ บดละเอียด. *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*, 20-31.
- ภาณุพงศ์ พงษ์พิทักษ์กุล. (2559). การใช้แก้วกลบผสมปูนซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีต (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วินิต ช่อวิเชียร. (2557). *คอนกรีตเทคโนโลยี*. กรุงเทพมหานคร.
- ศักดิ์ดา ไตรปิฎก. (2555). การใช้เปลือกไข่ไก่เป็นส่วนผสมในการพัฒนาคอนกรีตมวลเบา (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. (2564). เมื่อขยะพลาสติกกำลังกลับมา. *Thai Health Watch, 2021*, 61-76.
- American Concrete Institute. (2010). *ACI 522R-10: Report on Pervious Concrete*. ACI Manual of Concrete Practice. Detroit, USA.
- American Society for Testing and Material. (2015). Standard Specification for Concrete Aggregate. *ASTM C150/C150M Annual Book of ASTM Standard*, 4(2).
- Cui, X., Zhang, J., Huang, D., Liu, Z., Hou, F., Cui, S., Zhang, L., and Wang, Z. (2017). Experimental Study on the Relationship between Permeability and Strength of Pervious Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29 (11), 04017217.
- Domrongpakkaphan, V. (2012). Eggshell Utilization Technology. *The Journal of Applied Science*, 11, 75-83.
- Zainab Z. Ismail, and Enas A. AL-Hashmi. (2008). Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. *Waste Management, 2008* (11), 2041-2047
- Jing Yang, Guoliang Jiang. (2003). Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials. *Cement and Concrete Research*, 2003 (33), 381 – 386.
- Milani S. Sumanasooriya, and Narayanan Neithalath. (2011). Pore structure features of pervious concretes proportioned for desired porosities and their performance prediction. *Cement & Concrete Composites*, 2011 (33), 778-787.

- Rahim, N. L., Salehuddin, S., Ibrahim, N. M., Amat, R. C., and Jalil, M. F. A. (2013). Use of Plastic Waste (High Density Polyethylene) in Concrete Mixture as Aggregate Replacement. *Advanced Materials Research*, 701, 265-269
- Rolf-Joachim Mueller. (2006). Biological degradation of synthetic polyesters - Enzymes as potential catalysts for polyester recycling. *Process Biochemistry*, 2006 (10), 2124-2128.
- Saeid Hesami, Saeed Ahmadi, and Mahdi Nematzadeh. (2014). Effects of rice husk ash and fiber on mechanical properties of pervious concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 2014, (53), 680–691.
- Swe, T.M., Jongvivatsakul, P., and Pansuk, W. (2016). Properties of Pervious Concrete Aiming for LEED Green Building Rating System Credits. *Engineering Journal*, 20 (2), 61-72.
- Sonali Abeysinghe, Chamila Gunasekara, Chaminda Bandara, Kate Nguyen, Ranjith Dissanayake, and Priyan Mendis. (2020). Engineering Performance of Concrete Incorporated with Recycled High-Density Polyethylene (HDPE). *Polymers*, 2021, 13.
- Trinh Nhat Ho Tran, Avirut Puttiwongrak, Phattharachai Pongsopha, Darrakorn Intarabut, Pitthaya Jamsawang, and Piti Sukontasukkul. (2021). Microparticle filtration ability of pervious concrete mixed with recycled synthetic fibers. *Construction and Building Materials*, 2021 (270), 121807.
- Wen-Tien Tsai, Kuo-Jong Hsien, Hsin-Chieh Hsu, Chien-Ming Lin, Keng-Yu Lin, and Chun-Hsiang Chiu. (2008). Utilization of ground eggshell waste as an adsorbent for the removal of dyes from aqueous solution. *Bioresource Technology*, 2008 (6), 1623-1629.

หุ่นยนต์เด็กวัดควบคุมด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

กีรติช สายพัทลุง^{1*}, ศราวุฒิ พุทธิรักษา¹, ภาสุระ อังกุลานนท์², ชัชพล เกษวิริยะกิจ³

¹วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะและคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
เลขที่ 9 แจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220

²วิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
เลขที่ 1518 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

³อุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
เลขที่ 27 ตำบลท่าอิฐ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000

* Corresponding Author: keeradit@pnru.ac.th

บทคัดย่อ

เด็กวัด คือ เด็กที่มาอาศัยอยู่ภายในวัด มีภารกิจในการทำตามคำสอนของพระสงฆ์ เช่น การทำความสะอาดพื้นที่ภายในวัด และหน้าที่สำคัญคือการเดินตามพระสงฆ์ เพื่อถือของเมื่อออกบิณฑบาต เป็นต้น แต่ในปัจจุบันการเปลี่ยนของลักษณะของสังคม และการศึกษาของไทย ทำให้จำนวนเด็กวัดลดน้อยลง โดยเฉพาะวัดในเมืองใหญ่จะมีญาติโยมมาใส่บาตรจำนวนมาก ทำให้การออกบิณฑบาตของพระสงฆ์ทำได้ยาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะนำเทคโนโลยีหุ่นยนต์ร่วมกับเทคนิคการประมวลผลภาพ คือการจับวัตถุ การแยกแยะค่าสี HSV และการสร้างตำแหน่งกึ่งกลางของสิ่งที่ต้องการจับ เพื่อควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ตามพระสงฆ์ออกบิณฑบาต โดยหลักการทำงานของหุ่นยนต์จะใช้กล้องเว็บแคมในการตรวจสอบสี และตำแหน่งกึ่งกลางของสีจีวรพระ โดยกำหนดให้หุ่นยนต์เดินตามห่างจากพระสงฆ์ที่ 30 เซนติเมตร อีกทั้งหากแสงสว่างไม่เพียงพอจากการวัดค่าผ่านเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสง จะสั่งงานให้ไฟแอลอีดีทำงานให้ค่าสี HSV ยังมีค่าเท่าเดิม ผลการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ได้ทำการวัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่ โดยที่เมื่อหุ่นยนต์ทำงานแบบไม่มีโหลดแรงดันแบตเตอรี่จะค่อย ๆ ลดลงซึ่งสามารถใช้งานหุ่นยนต์เด็กวัดได้ที่ 84 นาที ต่อมาเมื่อเพิ่มโหลดเข้าไปที่ 1 กิโลกรัม, 5 กิโลกรัม และ 10 กิโลกรัม ตามลำดับ จะทำให้หุ่นยนต์เวลาในการใช้งานหุ่นยนต์เด็กวัดน้อยลงที่ 60, 48 และ 18 นาที ตามลำดับ

คำสำคัญ เด็กวัด หุ่นยนต์ การประมวลผลภาพ ระบบสี HSV

Temple Boy Robot Controlled by Image Processing

Keeradit Saipattalung^{1*}, Sarawut Puttaraksa¹, Pasura Aungkulanon²,
Chatchaphon Ketviriyakit³

¹ Smart Electronics and Computer Engineering Faculty of Industrial Technology
Phranakhon Rajabhat University

9 Changwattana Road, Bangkhen Bangkok, Thailand 10220

² Materials Handling and Logistics Engineering Faculty of Engineering

King Mongkut's University of Technology North Bangkok

1518 Pracharat 1 Road, Wongsawang, Bangsue, Bangkok 10800

³ Industrial Arts Faculty of Industrial Technology Uttaradit Rajabhat University

27 Tha It, Mueang Uttaradit, Thailand 53000

* Corresponding Author: keeradit@pnru.ac.th

Abstract

Temple boys are children who come to live in the temple. There is a mission to follow the teachings of the monks such as cleaning the temple area and the important duty is to follow the monks to carry things when giving alms, etc. Recently, the nature of society has been changed and Thai education has caused the number of temple boys to decrease, especially in the big cities. A large number of Buddhist come to offer food to monks in the big cities so that making the offering of alms to monks is difficult. Therefore, researchers used robot technology in conjunction with image processing techniques. This technique captured the object HSV color discrimination and centered the object to be captured to control the motor to drive the robot to follow the monks. The working principle of the robot used a webcam to detect colors and the middle position of the monk's robe to follow by requiring the robot to follow 30 centimeters of following distance. In addition, if the light was not enough from the measurement through the light intensity sensor, it activates the LED to work instead so that the HSV color value remains the same. The test result of the robot after measuring the voltage of the battery was found that when the robot was working without load, the battery voltage

would gradually decrease, and can be used for 84 minutes. In addition, when the robot was working with a load of 1 kg, 5 kg, and 10 kg, the operating time of the children's robot was reduced to 60, 48 and 18 minutes, respectively.

Keywords: Temple boy, robot, image processing, HSV color system

1. บทนำ

วัดเป็นสถาบันทางสังคมที่มีบทบาทต่อสังคมไทยในหลายๆ ด้าน เช่น การศุูนย์กลางในการทำกิจกรรมของชุมชน เป็นโรงเรียน เป็นสถานที่ให้คำปรึกษา เป็นที่พึ่งพิงทางจิตใจ เป็นสถานสงเคราะห์ของผู้ยากจน คนชรา เด็กกำพร้า เป็นต้น ซึ่งภายในวัดจะประกอบไปด้วยกลุ่มบุคคลหลายๆ กลุ่มที่อาศัยอยู่ภายในวัด เช่น พระภิกษุสงฆ์ สามเณร ไวยาวัจกร ลูกศิษย์วัด หรือเด็กวัด ดังรูปที่ 1 โดยเด็กวัดหรือลูกศิษย์วัดในอดีตนั้น เกิดขึ้นจากการที่ครอบครัวต่างๆ มักนิยมส่งบุตรหลานของตนไปเป็นศิษย์วัด เพื่อต้องการให้บุตรหลานของตนมีการศึกษา ได้รับการอบรมจากพระภิกษุสงฆ์ให้เป็นผู้มีความรอบรู้ ความชำนาญทั้งในทางโลก และทางธรรม เด็กวัดเหล่านั้นอาจเป็นญาติของพระภิกษุสงฆ์ หรือบางคนอาจเป็นเด็กกำพร้า เด็กวัดหรือศิษย์วัดในอดีตมักจะเป็นเด็กที่มีอายุระหว่าง 10 ถึง 16 ปี (อิทธิพร ขำประเสริฐ, 2547) กล่าวว่ามีมูลเหตุที่จูงใจชาวชนบทส่งลูกหลานของตนไปเป็นศิษย์วัดก็คือ 1. ครอบครัวไม่สามารถให้การดูแลหรือเลี้ยงดูเด็ก 2. ต้องการให้ได้บุญ 3. ต้องการให้อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม



รูปที่ 1 เด็กวัด

ที่มา : https://www.matichon.co.th/region/news_426957 : online

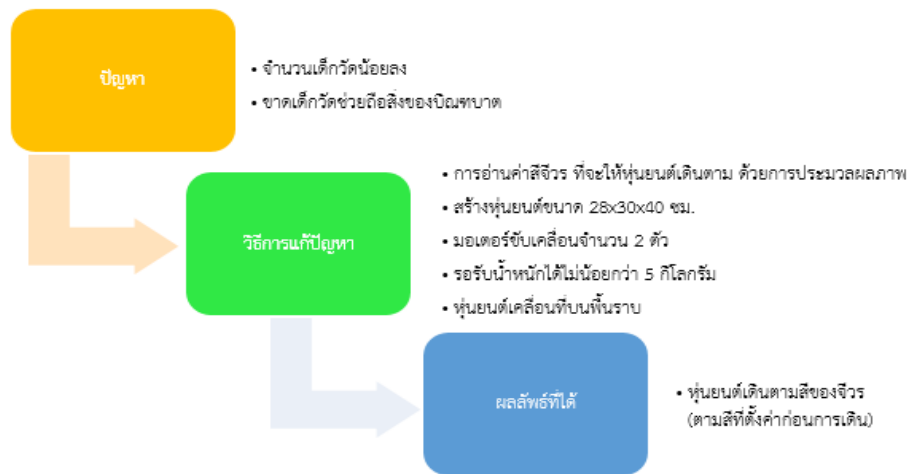
อย่างไรก็ดีในสภาพปัจจุบันศิษย์วัดหรือเด็กวัด ที่กล่าวมาข้างต้นกลับหลงเหลืออยู่น้อยมาก ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากความเปลี่ยนแปลงในการจัดการศึกษาของประเทศ

ทำให้บทบาทของวัดที่มีต่อเด็กวัดเปลี่ยนแปลงไป ทำให้กิจวัตรของพระสงฆ์ จะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากโดยเฉพาะการออกบิณฑบาต ซึ่งแต่เดิมการออกบิณฑบาตของพระสงฆ์จะมีเด็กวัดคอยเดินช่วยถือของที่ญาติโยมนำมาถวาย แต่ปัจจุบันเด็กวัดที่คอยเดินตามพระออกบิณฑบาตลดน้อยลง ทำให้การออกบิณฑบาตเป็นไปอย่างยากลำบาก โดยเฉพาะวัดที่อยู่ในเขตเมือง ซึ่งมีญาติโยมนำสิ่งของมาถวายจำนวนมาก ดังนั้นการนำเอาเทคโนโลยีหุ่นยนต์ บูรณาการเข้าการศิลปวัฒนธรรม มาช่วยทำหน้าที่แทนเด็กวัดในกรณีการออกบิณฑบาตของพระสงฆ์ ซึ่งนำเทคโนโลยีหุ่นยนต์ประกอบกับเทคนิคการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยการประมวลผลภาพ เพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เดินตามพระสงฆ์โดยใช้หลักการจับสีจิวร (Color Detector) ของสีจิวรพระตามที่ได้ตั้งค่าไว้ จากนั้นทำการสั่งงานมอเตอร์ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามพระในระยะห่างที่ตั้งค่าไว้ได้อย่างเหมาะสม โดยน้ำหนักที่หุ่นยนต์สามารถรองรับได้อยู่ที่ไม่เกิน 10 กิโลกรัม ซึ่งหุ่นยนต์ดังกล่าวจะทำให้การออกบิณฑบาตของพระสงฆ์ในวัดที่ไม่มีเด็กวัดเดินตามทำได้สะดวกขึ้น

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดในการสร้างหุ่นยนต์เด็กวัดควบคุมด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ จะใช้ความสามารถของการจับค่าสีของภาพ หรือวิธีโอภาที่อ่านค่าได้ (Detect object) เพื่อแยกแยะการจับภาพที่ต้องการตรวจจับ พร้อมทั้งทำงานร่วมกับเทคนิคการอ่านค่า HSV เพื่อแยกแยะสีของสิ่งที่ต้องการตรวจจับ โดยค่าสี HSV คือ ค่าสีที่ใช้ในการกรองคุณสมบัติ HSV ซึ่งมีความหมายคือ H คือ Hue , S คือ Saturation และ V คือ Value ในการทำงานบนโปรแกรม OpenCV โดยค่า H, S และ V จะอยู่ระหว่าง 0 - 255 เมื่อทำการกำหนดช่วงค่าสีที่ต้องการจะสามารถกำหนดเป็น 2 ค่าคือ Lower, Upper เพื่อแยกแยะ (Filter) สีที่ต้องการ เช่น ค่าสีแดง Lower:[0,255,5] ,Upper:[5,255,255], ค่าสีน้ำเงิน Lower:[69,117,84], Upper:[164,255,255], ค่าสีเขียว Lower:[18,117,89], Upper:[39,255,255], ค่าสีเหลือง Lower:[38,117,84], Upper:[93,255,255] เป็นต้น

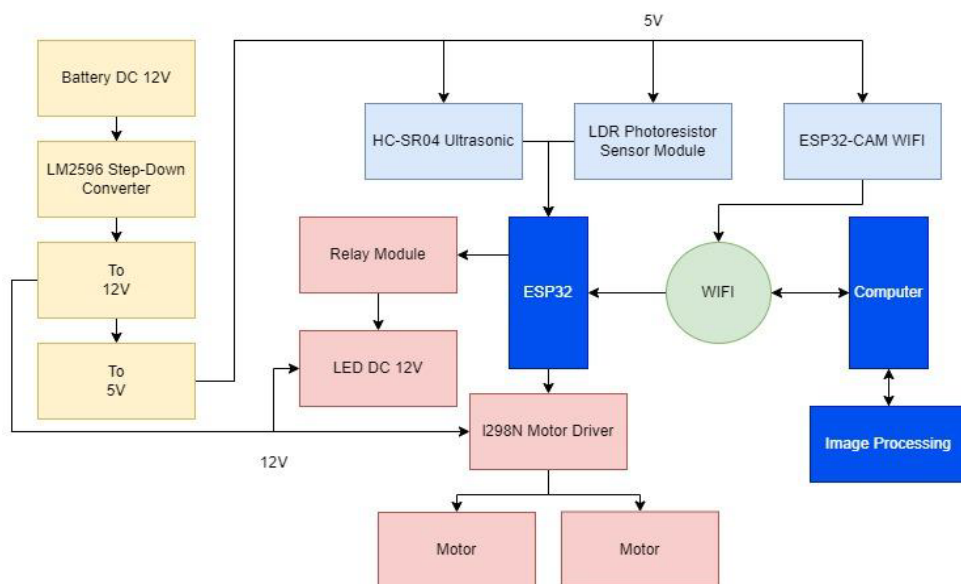
จากหลักการตรวจจับ และการอ่านค่าสี ทำงานคือหุ่นยนต์จะทำการอ่านค่าสีของจิวรพระ แล้วทำการจดจำสี เพื่อให้หุ่นยนต์เดินตามสีดังกล่าว โดยการเดินตามแบบกำหนดจุดศูนย์กลาง หากจุดศูนย์กลางของจิวรเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้าย หุ่นยนต์ก็จะหันไปทางด้านซ้ายเพื่อให้หุ่นยนต์หันหน้าตรงกับจุดศูนย์กลางเสมอ ซึ่งมีแนวคิดดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แนวคิดของงานวิจัย

ย

จากแนวคิดในงานวิจัยที่ได้กล่าวในข้างต้น สามารถเขียนเป็นไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์ของหุ่นยนต์เด็กวัดได้ดังนี้ โดยระบบจะทำการแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ 1. เซนเซอร์ ซึ่งประกอบไปด้วย เซนเซอร์วัดระยะทาง เซนเซอร์ค่าความเข้มแสง และกล้องตรวจจับสี 2. ระบบควบคุมการทำงานของมอเตอร์และควบคุมแสง 3. การประมวลผลภาพ (Image Processing) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์ของหุ่นยนต์เด็กวัด

จากรูปที่ 3 เป็นไดอะแกรมในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งจะเป็นการเชื่อมต่อผ่านพอร์ตดิจิทัลของบอร์ด ESP32 เป็นหลัก ส่วนการเชื่อมต่อระหว่าง ESP32 กับ Computer จะใช้ลักษณะการเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบ Local โดยการตั้งค่าการเชื่อมต่อผ่าน URL เช่นให้การเชื่อมต่อหุ่นยนต์ตัวนี้คือ URL = "http://192.168.97.156"

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์เด็กวัดควบคุมด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

ส่วนประกอบของหุ่นยนต์เด็กวัดนั้นจะแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ประกอบด้วย

1. โครงสร้างหุ่นยนต์เป็นตะแกรงเหล็กขนาด 28 ซม. X 30 ซม. X 36 ซม. (กว้าง X ยาว X สูง)
2. ส่วนของการถ่ายภาพและประมวลผลภาพ
3. ส่วนของการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์ใช้งานเป็นมอเตอร์เกียร์ (มอเตอร์ปัดน้ำฝน) ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่มีการทดรอบ รongน้ำหนักได้
4. ส่วนของการวัดระยะด้วยเซนเซอร์อัลตราโซนิก ซึ่งติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหุ่นยนต์
5. ส่วนควบคุมแสงสว่าง โดยทั้ง 4 ส่วนจะประกอบเป็นหุ่นยนต์ ตามรูปที่ 4 จากส่วนประกอบ ดังกล่าวสามารถแยกเป็นอุปกรณ์ได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งหากหุ่นยนต์ไม่สามารถทำงานอัตโนมัติได้นั้น ให้ทำการเอียงตัวหุ่นยนต์ลง ใช้ล้อประกอบเป็นส่วนขับเคลื่อนแทน ในส่วนประกอบข้อ 3



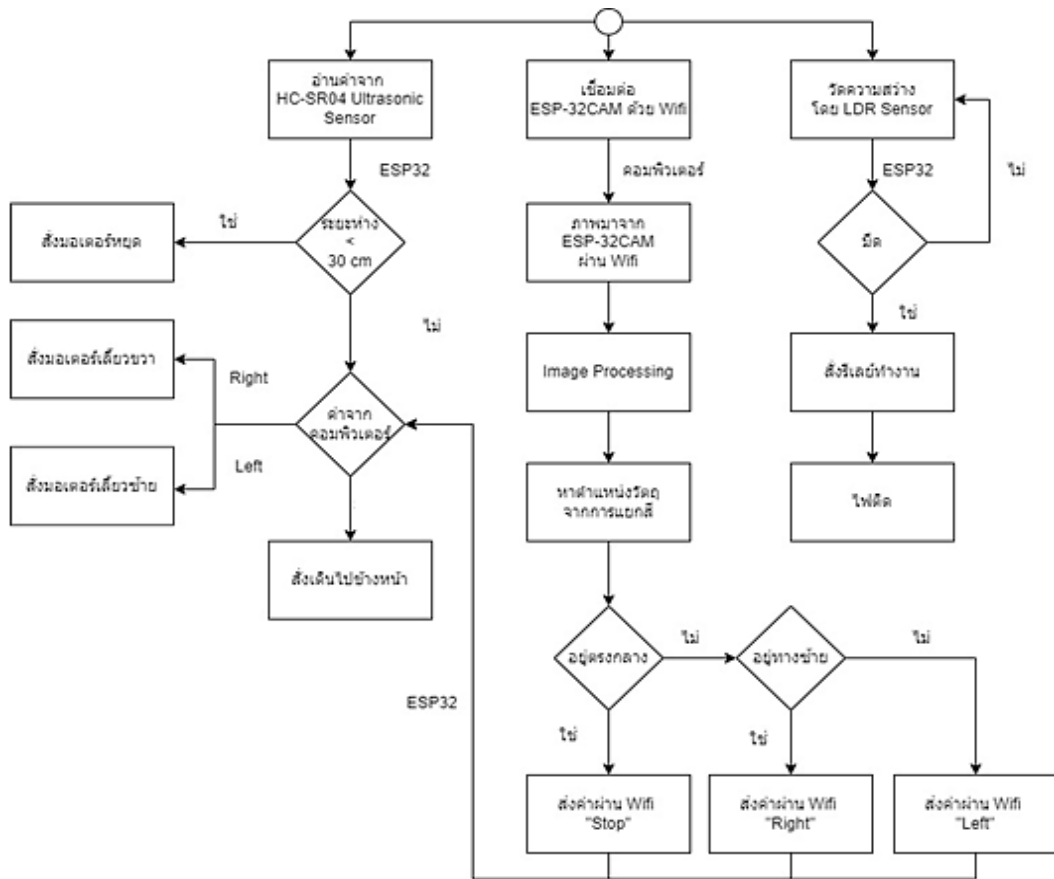
รูปที่ 4 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์เด็กวัดควบคุมด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ของหุ่นยนต์เด็กวัดควบคุมด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

ลำดับ	รายการ
1.	เซนเซอร์วัดระยะ (Ultrasonic) ตัวที่ 1 วัดระยะด้านหลัง
2.	กล่องควบคุม ซึ่งภายในบรรจุบอร์ดควบคุม ESP32 บอร์ดรีโมเตอร์ รีเลย์ ตัวแปลงพลังงาน
3.	ล้อประกอบสำหรับการเดินโดยไม่ใช้การทำงานของมอเตอร์
4.	มอเตอร์เกียร์ (มอเตอร์ที่ปิดน้ำฝน) ตัวที่ 1
5.	ล้อติดกับมอเตอร์เกียร์ ขนาด 6 นิ้ว
6.	เซนเซอร์วัดระยะ (Ultrasonic) ตัวที่ 2 วัดระยะด้านหน้าขวา
7.	เซนเซอร์วัดระยะ (Ultrasonic) ตัวที่ 3 วัดระยะด้านหน้า
8.	เซนเซอร์วัดระยะ (Ultrasonic) ตัวที่ 4 วัดระยะด้านหน้าซ้าย
9.	โมดูล ESP32-CAM WiFi
10.	หลอดไฟแอลอีดีขนาด 12V
11.	มอเตอร์เกียร์ (มอเตอร์ที่ปิดน้ำฝน) ตัวที่ 2
12.	ช่องใส่ของขนาด 28 ซม. X 30 ซม. X 36 ซม. (กว้าง X ยาว X สูง)
13.	แบตเตอรี่ขนาด 12V9Ah

3.2 หลักการทำงานของหุ่นยนต์เด็กวัด

หลักการควบคุมหุ่นยนต์เด็กวัดซึ่งจะเริ่มต้นการตั้งค่าการจับสีของกล้อง เพื่อใช้ในการกำหนดค่าเริ่มให้หุ่นยนต์เดินตามสีนั้น ๆ จากนั้นเมื่อพระสงฆ์เดิน หุ่นยนต์เด็กวัดก็จะเดินตาม โดยหุ่นยนต์จะเดินเว้นระยะห่างกับพระสงฆ์อยู่ที่ 30 เซนติเมตร โดยหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่โดยกำหนดให้ตำแหน่งที่จับสีอยู่ตรงกลางเสมอ เพราะฉะนั้นหากพระสงฆ์เดินออกไปทางขวา หุ่นยนต์จะทำการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน เพื่อที่จะทำให้ตำแหน่งในการอ่านค่าสีของในตำแหน่งกึ่งกลางเหมือนเดิม โดยผังหลักการทำงานของหุ่นยนต์เด็กวัดจะเป็นไปตามรูปที่ 5 โดยการทำงานจะเป็นการทำงานประสานกันระหว่างบอร์ด ESP32 กับ คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ พร้อมทั้งห่างอยู่ในช่วงที่แสงสว่างไม่เพียงพอ ระบบก็จะสั่งการให้หลอด LED ทำงาน เพื่อส่องสว่างไม่ให้ค่าสีที่ตั้งไว้ผิดเพี้ยนไป



รูปที่ 5 ผังงานของหุ่นยนต์เด็กวัด และลักษณะการจับสีของหุ่นยนต์

จากรูปที่ 5 การจับค่าสีของสีจิวรพระ เพื่อนำมาตั้งค่าให้หุ่นยนต์เดินตามจากกำหนดค่าสีตามหลักการการอ่านค่าระบบสี HSV (Hue Saturation Value) ซึ่งจะตั้งค่าไว้ที่คือ [hMin = 0, hMax = 72, sMin = 57, sMax = 243, vMin = 126, vMax = 255] และทำการแบ่งกึ่งกลางของภาพที่จับ (จิวรพระ) เพื่อให้หุ่นยนต์เดินตามจุดกึ่งกลาง (Position objects with contour tools) ของจิวรพระที่ทำการจับภาพได้

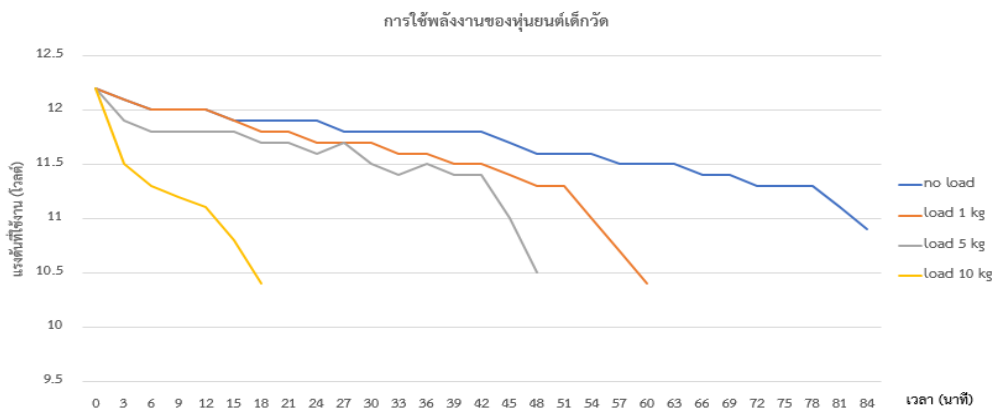
4. ผลการวิจัย

การทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ ซึ่งจะเป็นการทดสอบระยะเวลาของการใช้งานหุ่นยนต์ที่น้ำหนักต่าง ๆ ที่ 0 kg (No load), 1 kg, 5 kg, 10 kg ตามลำดับ โดยน้ำหนักที่นำมาทดสอบจะเป็นถุงน้ำตาลขนาด 1 กิโลกรัม จำนวน 10 ถุง ซึ่งเป็นการทดสอบให้หุ่นยนต์เดินตามจิวรของพระสงฆ์บนพื้นถนนแบบเรียบ โดยทำการวัดค่าแบตเตอรี่ทุก ๆ 3 นาที

ซึ่งผลจากการใช้งานหุ่นยนต์ขณะบรรทุกโหลดที่น้ำหนักต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2 และกราฟการใช้งานแบตเตอรี่ของหุ่นยนต์ดังรูปที่ 6

ตารางที่ 2 การใช้งานหุ่นยนต์ขณะบรรทุกโหลดที่น้ำหนักต่าง ๆ

Time	no load	1kg	5kg	10kg	Time	no load	1kg	5kg	10kg
0	12.2	12.2	12.2	12.2	42	11.8	11.5	11.4	
3	12.1	12.1	11.9	11.5	45	11.7	11.4	11	
6	12	12	11.8	11.3	48	11.6	11.3	10.5	
9	12	12	11.8	11.2	51	11.6	11.3		
12	12	12	11.8	11.1	54	11.6	11		
15	11.9	11.9	11.8	10.8	57	11.5	10.7		
18	11.9	11.8	11.7	10.4	60	11.5	10.4		
21	11.9	11.8	11.7		63	11.5			
24	11.9	11.7	11.6		66	11.4			
27	11.8	11.7	11.7		69	11.4			
30	11.8	11.7	11.5		72	11.3			
33	11.8	11.6	11.4		75	11.3			
36	11.8	11.6	11.5		78	11.3			
39	11.8	11.5	11.4		81	11.1			
					84	10.9			



รูปที่ 6 การใช้งานแบตเตอรี่ของหุ่นยนต์เด็กวัด

ซึ่งจากผลการทดลองในข้างต้นหุ่นยนต์สามารถบรรทุกได้สูงสุด 10 กิโลกรัม หากน้ำหนักมากกว่านั้นมอเตอร์จะไม่มีแรงพอสำหรับการเคลื่อนที่ สภาพถนนที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ นั้น จะมีลักษณะเป็นถนนเรียบ (ถนนคอนกรีต ถนนลาดยาง) เป็นต้น อีกทั้งสภาพการทำงานของหุ่นยนต์สามารถทำงานได้ในช่วงเวลามืด เนื่องจากหุ่นยนต์ได้ดำเนินการติดตั้งหลอด LED เพื่อส่องสว่าง สำหรับการตรวจจับสีจราจร โดยลักษณะการขับเคลื่อนจะเป็นการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าเพียงทิศทางเดียว หากต้องการเลี้ยวหรือกลับหลัง หุ่นยนต์จะทำการหมุนไปทางด้านขวามือจะกว่าจะหันหน้าไปในทิศทางด้านหลัง

5. สรุปและอภิปรายผล

การทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ได้ทำการวัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่ โดยที่เมื่อหุ่นยนต์ทำงานแบบไม่มีโหลดแรงดันแบตเตอรี่จะค่อย ๆ ลดลง ซึ่งสามารถใช้งานหุ่นยนต์ได้กว่า 84 นาที ต่อมาเมื่อเพิ่มโหลดเข้าไปที่ 1 กิโลกรัม, 5 กิโลกรัม และ 10 กิโลกรัม ตามลำดับ จะทำให้หุ่นยนต์เวลาในการใช้งานหุ่นยนต์ได้กัลดน้อยลงที่ 60 นาที, 48 นาที และ 18 นาที ตามลำดับ หากน้ำหนักมากกว่า 10 กิโลกรัม หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ช้าจนกระทั่งแบตเตอรี่หมดในเวลารวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าโหลดหรือน้ำหนักมีผลตามระยะเวลาในการใช้งานหุ่นยนต์ ซึ่งหากหุ่นยนต์ไม่สามารถทำงานได้ในรูปแบบอัตโนมัติ หุ่นยนต์สามารถปรับไปใช้งานในรูปแบบการเขียนได้ โดยการพัฒนาเด็กหุ่นยนต์ได้ควบคุมด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ จะมีการนำเทคนิคดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ในลักษณะต่าง ๆ เช่น การประยุกต์ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์กันทางม้าลายซึ่งประยุกต์การจับสีแดงของธงในการควบคุม การควบคุมหุ่นยนต์อัตโนมัติเดินตามพยาบาลในโรงพยาบาล หรือรถเข็นในห้างสรรพสินค้าเดินตามผู้ซื้อโดยไม่ต้องเขียน เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

อิทธิพร ขำประเสริฐ. กระบวนการกลายเป็น “เด็กวัด”. วิทยานิพนธ์ คณะสังคมวิทยาและมานุษยวิทยา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2547.

Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods. Digital Image Processing Third Edition. Pearson Education, Inc., pp.738-761, 2008.

Ravishankar Chityala and Sridevi Pudipeddi. Image Processing and Acquisition using Python. CRC Press, Taylor & Francis Group, pp.139-163, 2014.

สมเกียรติ อุดมธรรษากุล. การประมวลผลภาพดิจิทัลเบื้องต้น. สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด. หน้า 122-134, 2554.

Siddharth Mandgi, Shubham Ghatge, Mangesh Khairnar, Kunal Gurnani and Amit Hatekar. Object Detection and Tracking Using Image Processing. Journal of Engineering Research and Application,” Vol. 8, Issue 2, (Part -1) February 2018, pp.39-41.

Meichen Ding. Quantitative contrast of urban agglomeration colors based on image clustering algorithm: Case study of the Xia-Zhang-Quan metropolitan area. Frontiers of Architectural Research Volume 10, Issue 3, September 2021, Pages 692-700.

อัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่นแบบหลายวิถีกับกลไกการยกเลิกการค้นหา

จักรกฤษณ์ เคลือบวัง

หน่วยวิจัยพลังงานไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตาก
เลขที่ 41/1 หมู่ 7 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม่งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก รหัสไปรษณีย์ 63000

Corresponding Author: jukkrit_k@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษานโยบายการปรับปรุงสมรรถนะการค้นหาของอัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่นแบบหลายวิถีด้วยกลไกการยกเลิกการค้นหา งานวิจัยนี้เลือกปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย กรณี 18 เมือง เป็นระบบทดสอบ อัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่นดั้งเดิมเพื่อแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายถูกพัฒนาด้วยภาษาแมทแล็บและสามารถเข้าถึงได้อย่างอิสระผ่านระบบอินเทอร์เน็ต การทดลองแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มอัลกอริธึมดั้งเดิมที่มีหนึ่งเส้นทางการค้นหากับอัลกอริธึมที่เสนอที่มีเส้นทางการค้นหาที่มากกว่าหนึ่งเส้นทาง ในงานวิจัยเลือกแบบ 2, 3 และ 4 เส้นทางการค้นหา การกำหนดค่าตอบเริ่มต้นจะเป็นแบบอิสระทั้ง 20 ครั้ง การทดสอบของแต่ละอัลกอริธึม ผลการทดลองพบว่าอัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่นแบบหลายวิถีสามารถแก้ปัญหาค้นหาปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย กรณี 18 เมืองได้รวดเร็วกว่าอัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่นดั้งเดิมด้วยค่าเวลาการค้นหาเฉลี่ย 8.4120 วินาที และ 12.9032 วินาที ตามลำดับ ส่วนกลไกการยกเลิกการค้นหาสามารถเพิ่มสมรรถนะการค้นหาให้กับอัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่นแบบหลายวิถีได้อีกโดยการช่วยลดเวลาการค้นหาได้อย่างน่าพอใจ ด้วยเวลาการค้นหาเฉลี่ย 7.0839 วินาที

คำสำคัญ อัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่น ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย กลไกการยกเลิกการค้นหา

Multipath Simulated Annealing Algorithm and Discarding Mechanism

Jukkrit Kluabwang

Electrical Energy Research Unit, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Lanna Tak
41/1 moo 7, Phaholyothin Road, Mai-Ngarm, Muang, Tak province, 63000

Corresponding Author: jukkrit_k@mutl.ac.th

Abstract

This paper proposed the studied result of enhancing search performance for the multipath simulated annealing algorithm (MSA) via discarding mechanism. This research chose the 18-city traveling salesman problem as the test system. The original simulated annealing algorithm, namely SA, for solving the traveling salesman problem was developed in MATLAB language and can also be easily accessed through public internet. The experiment was divided into two groups, the first group was the conventional algorithm which consists of only one searching route. The second group, as studied, had all members with more than one path of searching. In this research, 2, 3 and 4 searching paths were selected. Initialization for 20 test runs in each case of the algorithm were used independently. The results showed that the proposed multipath simulated annealing algorithm can outperform the original simulated annealing algorithm for the 18-city traveling salesman problem with their average searching time 8.4120 second and 12.9032 second, respectively. The discarding mechanism can improve the search performance of the MSA by reducing its searching time satisfyingly with 7.0829 second of the average searching time.

keywords simulated annealing algorithm, traveling salesman problem, discarding mechanism

1. บทนำ

ปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) หรือ AI เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ มากขึ้น อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีการประมวลผลที่พัฒนาขึ้นอย่างมาก เช่น รถแท็กซี่ไร้คนขับ หุ่นยนต์บริการที่สนามบิน บ้านอัจฉริยะ และ กล้องอัจฉริยะ เป็นต้น (Wolfgang Erter, 2011) เทคนิคการค้นหาเชิงสำนึก (heuristic search technique) เป็นเครื่องมือสำคัญของ AI ตัวอย่างการค้นหาเชิงสำนึก ได้แก่ จีเนติกอัลกอริธึม (genetic algorithm หรือ GA) อัลกอริธึมการจำลองการอบอ่อน (simulated annealing algorithm หรือ SA) (R.W. Eglese, 1990) เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดแบบฝูงอนุภาค (particle swarm optimization หรือ PSO) และ การค้นหาแบบตาบอด (tabu search หรือ TS) (Fred Glover and Zhipeng LU, 2021) เป็นต้น ความท้าทายของงานพัฒนาปัญญาประดิษฐ์แบบหนึ่งคือการพัฒนาเทคนิคเชิงสำนึกให้มีสมรรถนะการค้นหาที่สูงขึ้น ทั้งในแง่ของเวลาการค้นหาที่น้อยลงและคุณภาพของคำตอบที่ดีขึ้นภายใต้ทรัพยากรจำกัด คณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาเทคนิคการค้นหาเชิงสำนึกที่มีอยู่แล้ว ได้แก่ เทคนิคจำลองการอบอ่อน หรือ SA ให้มีความสามารถในการค้นหาคำตอบกว้างให้ดีขึ้นโดยการเพิ่มจำนวนเส้นทางการค้นหาซึ่งเปรียบเป็นการเพิ่มโอกาสการพบคำตอบแต่ในเวลาเดียวกันการประมวลผลจะสูงขึ้นตามจำนวนเส้นทางที่เพิ่มขึ้นด้วย จึงจำเป็นต้องหาจุดที่เหมาะสมสำหรับแนวทางนี้ด้วยเช่นกัน

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดการเพิ่มเส้นทางการค้นหาเพื่อเพิ่มสมรรถนะการค้นหา เคยได้รับการพิสูจน์ไว้แล้วสำหรับอัลกอริธึมการค้นหาแบบตาบอดเชิงปรับตัว (adaptive tabu search หรือ ATS) (จักรกฤษณ์ เคลือบวัง, 2553) โดยอาศัยกลไกกลไกการค้นหา หรือ DM เพื่อบริหารจัดการจำนวนเส้นทางการค้นหาให้เหมาะสม ทั้งนี้การมีจำนวนเส้นทางค้นหามากกว่าย่อมมีโอกาสมพบคำตอบได้มากกว่าแต่ก็สูญเสียเวลาเพื่อรอรอบการประมวลผลด้วยในเวลาเดียวกัน ดังนั้น DM จึงเกิดมาเพื่อยกเลิกเส้นทางการค้นหาที่ไม่จำเป็นลง งานวิจัยจึงต้องการขยายผลการใช้ DM สำหรับอัลกอริธึมการจำลองการอบอ่อนแบบหลายวิธีด้วย

2.1 กลไกกลไกการค้นหา (Discarding Mechanism หรือ DM)

กลไก DM จะช่วยลดภาระการประมวลผลจึงเหมาะกับระบบที่มีจำนวนตัวประมวลผลจำกัด จำนวนการเรียกใช้ DM จะสัมพันธ์กับจำนวนเส้นทางการค้นหาและรูปแบบการลดลงของจำนวนเส้นทางการค้นหาอีกด้วย ลักษณะของปัญหา

และพฤติกรรมของอัลกอริธึมการค้นหาจึงมีผลต่อการตั้งค่าการใช้งาน DM การทำงานของ DM สามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 เริ่มต้น DM

รับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของทุกเส้นทางการค้นหาที่ต้องการประเมิน

ขั้นที่ 2 ประเมินคุณภาพเส้นทางการค้นหา

จัดลำดับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของทุกเส้นทางการค้นหาที่ต้องการประเมิน

ขั้นที่ 3 สิ้นสุด DM

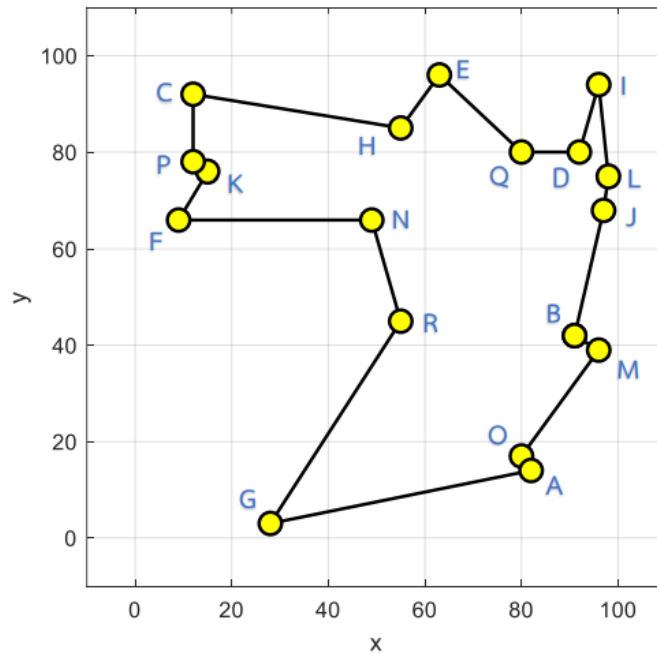
ส่งยกเลิกการค้นหาเส้นทางการค้นหาที่ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไม่ผ่านเกณฑ์

2.2 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบ 18 เมือง

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (travelling salesman problem หรือ TSP) เป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดชนิดหนึ่ง เป้าหมายคือการเดินทางไปให้ครบทุกเมือง โดยใช้ระยะทางสั้นที่สุดอันเนื่องจากพนักงานขายจะต้องหมั่นคอยดูแลลูกค้าอยู่อย่างสม่ำเสมอ ต้นทุนการเดินทางจึงสำคัญเป็นอันดับแรกๆ สำหรับสถานประกอบการ ดังนั้นการวางแผนเลือกเส้นทางที่เหมาะสมจึงจำเป็น TSP แบบ 18 เมือง ที่เลือกเป็นระบบทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้แสดงข้อมูลพิกัดของเมือง ในตารางที่ 1 ส่วนรูปที่ 1 แสดงตัวอย่างเส้นทางของพนักงานขายรูปแบบหนึ่ง

ตารางที่ 1 พิกัดของเมืองทั้ง 18 สำหรับปัญหาการเดินทางสำหรับพนักงานขาย

เมือง	พิกัด x	พิกัด y	เมือง	พิกัด x	พิกัด y	เมือง	พิกัด x	พิกัด y
A	82	14	G	28	3	M	96	39
B	91	42	H	55	85	N	49	66
C	12	92	I	96	94	O	80	17
D	92	80	J	97	68	P	12	78
E	63	96	K	15	76	Q	80	80
F	9	66	L	98	75	R	55	45



รูปที่ 1 ตำแหน่งของ 18 เมือง และ ตัวอย่างเส้นทางที่เป็นไปได้ของพนักงานขาย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาผลของกลไกยกเลิกการค้นหา หรือ DM ต่อสมรรถนะการค้นหาของอัลกอริธึม การจำลองการอบอุ่นแบบหลายวิธี สำหรับงานวิจัยนี้ เลือกใช้ระบบทดสอบ คือปัญหาการเดินทางของพนักงานขายขนาด 18 เมืองเพื่อเปรียบเทียบเวลาการค้นหาเฉลี่ย สำหรับอัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่นแบบไม่เรียกใช้ DM กับอัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่นแบบเรียกใช้ DM ดำเนินการโดยการเปรียบเทียบสมรรถนะการค้นหา

อัลกอริธึมทดสอบและปัญหาที่ใช้ทดสอบ พัฒนาด้วยภาษา MATLAB r2021b แล้วทดสอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์พกพา Intel core i5 10th gen หน่วยความจำ 8 GB และ HDD 500 GB ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 10 การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มอัลกอริธึมดั้งเดิม (Mostapha Kalami Heris, 2015) หรือกลุ่มควบคุมเพื่อใช้เปรียบเทียบ ได้แก่ SA อีกกลุ่มหนึ่งคือกลุ่มอัลกอริธึมที่เสนอ ประกอบด้วย 2 กลุ่มย่อย ได้แก่ กลุ่มย่อยที่ 1 กลุ่มที่ไม่มีการเรียกใช้ DM คือ MSA2, MSA3 และ MSA4 (จักรกฤษณ์ เคลือบวัง และ มัณฑนา แสงโสภา, 2565) และ กลุ่มย่อยที่ 2 กลุ่มที่มีการเรียกใช้ DM คือ MSA2+DM, MSA3+DM และ MSA4+DM แต่ละกลุ่มย่อยจะทดสอบ 20 ครั้ง ในแต่ละปัญหา โดยกำหนดการเรียกใช้ DM รอบการค้นหาที่ 100 สำหรับ MSA2+DM ส่วน MSA3+DM จะมีการเรียกใช้ DM จำนวน 2 ครั้ง รอบการค้นหาที่ 100 และ 120 ตามลำดับ สำหรับ MSA4+DM มีการเรียกใช้ DM ทั้งหมด 3 ครั้ง ณ

รอบการค้นหาที่ 100 120 และ 150 ตามลำดับ จำนวนรอบการค้นหาสูงสุดไว้ที่ 250 รอบ
เกณฑ์ยุติการค้นหาเนื่องจากคุณภาพคำตอบหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้
ในที่ตั้งไว้ที่ ต่ำกว่า 390.6841 สำหรับปัญหา TSP แบบ 18 เมือง

4. ผลการวิจัย

ผลการทดลองทั้ง 7 วิธี โดย SA จะเป็นวิธีฐาน หรือ วิธีหลักเพื่อใช้เปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ
ภายหลังจากปรับปรุง เวลาการค้นหาเฉลี่ยจาก 20 ครั้งการทดสอบ จะเป็นตัวชี้วัดสำคัญ
โดยพิจารณาค่าเวลาการค้นหาเฉลี่ยที่น้อยย่อมหมายถึงวิธีการดังกล่าวมีประสิทธิภาพการค้นหาที่ดีกว่า
เวลาการค้นหาแสดงอยู่ในตารางที่ 2 โดยแสดงตั้งค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐาน ส่วนตารางที่ 3 แสดงจำนวนรอบการค้นหา โดยนำเสนอค่า ทางสถิติทำนองเดียวกัน
กับตารางที่ 2 จากตารางที่ 2 พิจารณาค่าเวลาเฉลี่ยพบว่า ค่าเฉลี่ยของ SA

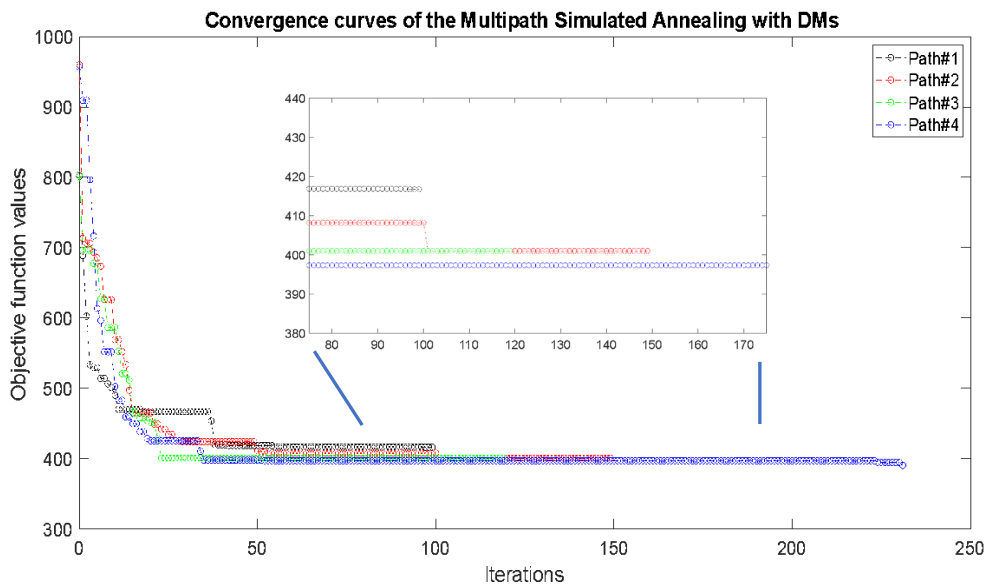
ตารางที่ 2 เวลาการค้นหา หน่วย วินาที

วิธี	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SA	6.7405	16.6795	12.9032	2.6980
MSA2	6.9324	17.7649	10.1168	3.1022
MSA3	2.5738	12.4723	8.4120	2.6309
MSA4	2.9866	15.9642	8.6009	2.7895
MSA2+DM	4.5886	14.9786	8.7125	2.6543
MSA3+DM	3.5809	12.3779	7.0839	2.4465
MSA4+DM	4.6248	16.5158	7.5059	2.9594

ตารางที่ 3 จำนวนรอบการค้นหา

วิธี	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SA	71	201	149.85	34.74
MSA2	74	191	113.25	35.7857
MSA3	17	140	88.95	32.6762
MSA4	20	128	83.55	26.9765
MSA2+DM	49	198	117	40.3093
MSA3+DM	36	183	93.05	39.3720
MSA4+DM	49	232	91.30	45.2666

สูงที่สุดคือ 12.9032 วินาที หมายความว่าอัลกอริธึมการจำลองการอบอ่อนอื่นที่เหลือทั้ง 6 ชนิด มีสมรรถนะการค้นหาที่ดีกว่า SA ดั้งเดิม หากพิจารณาผลของกลไกการยุติการค้นหา หรือ DM จะเปรียบเทียบทั้งหมด 3 คู่ โดยคู่ที่ 1 ระหว่าง MSA2 กับ MSA2+DM พบว่าค่าเฉลี่ย MSA2+DM ให้ค่าเวลาการค้นหาเฉลี่ยลดลงไปกว่า MSA2 ประมาณร้อยละ 13.88 ส่วน คู่ที่ 2 ระหว่าง MSA3 กับ MSA3+DM และ คู่ที่ 3 ระหว่าง MSA4 กับ MSA4+DM ล้วนให้ผลทำนองเดียวกับคู่ที่ 1 คือวิธีที่มี DM จะให้เวลาการค้นหาเฉลี่ยลดลงร้อยละ 15.78 และ 12.73 ตามลำดับ



รูปที่ 2 กราฟการลู่เข้าหาคำตอบของอัลกอริธึมการจำลองการอบอ่อน แบบหลายวิถีพร้อมกลไกการยกเลิก

รูปที่ 2 แสดงพฤติกรรมการลู่เข้าหาคำตอบวงกว้างของอัลกอริธึมการจำลองการอบอ่อน แบบสี่เส้นทางการค้นหาที่ประกอบด้วยกลไกการยกเลิกการค้นหา หรือ DM การเรียกใช้ DM ดำเนินการทั้งสิ้น 3 ครั้ง ในรอบการค้นหาที่ 100 120 และ 150 ตามลำดับ ผลการเรียกใช้ DM ครั้งที่ 1 พบว่า เส้นทางการค้นหาที่ 1 (เส้นสีดำ) ถูกสั่งยุติการค้นหาเนื่องจากมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สูงที่สุดที่ 416.7092 จึงเหลือเพียง 3 เส้นทางการค้นหาที่ได้รับอนุญาตให้ดำเนินการค้นหาต่อไป ต่อมา ณ รอบการค้นหาที่ 120 จึงได้มีการเรียกใช้ DM ครั้งที่ 2 และพบว่า เส้นทางการค้นหาที่ 2 (เส้นสีแดง) และ เส้นทางการค้นหาที่ 3 (เส้นสีเขียว) มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สูงที่สุดคือ 400.9910 แต่ DM กำหนดให้ลดจำนวนครั้งละหนึ่งเส้นทาง จึงเลือกสั่งเส้นทางการค้นหาที่ 3 ให้ยุติการค้นหา หลังจากนั้น DM ครั้งที่ 3

จึงถูกเรียกใช้ในรอบการคั่นที่ 150 และพบว่าเส้นทางการคั่นหาที่ 2 (เส้นสีแดง) ไม่มีการปรับปรุงค่าฟังก์ชันกัณฑ์ชั้นวัตถุประสงค์ จึงถูกส่งยุติการคั่นหาเป็นลำดับสุดท้าย เหลือเพียงเส้นทางที่ 4 (เส้นสีฟ้า) ให้ดำเนินการคั่นหาต่อไปจนพบเงื่อนไข การยุติการคั่นหาตามคุณภาพคำตอบอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้คือน้อยกว่า 390.6841 โดยได้ค่า 390.684067 ณ รอบการคั่นหาที่ 231 โดยใช้เวลากการคั่นหาทั้งสิ้น 16.5158 วินาที

5. สรุปและอภิปรายผล

การเสนอแนวทางปรับปรุงสมรรถนะของอัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่นดั้งเดิมด้วยการเพิ่มจำนวนเส้นทางการคั่นหาพร้อมกับเพิ่มกลไกการยุติการคั่นหาเพื่อให้เกิดการจัดการเส้นทางการคั่นหาเป็นไปด้วยความเรียบร้อยและเหมาะสม จากผลการทดลองพบว่าการเพิ่มจำนวนเส้นทางการคั่นหาให้สามารถลดเวลาการคั่นเฉลี่ยได้สูงสุดถึงร้อยละ 34.8 โดยเป็นผลงานของอัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่นแบบสามเส้นทาง ส่วนการเพิ่มกลไกการยุติการคั่นหาจะช่วยเพิ่มสมรรถนะการคั่นหาของอัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่นแบบหลายวิถีให้สูงยิ่งขึ้นไป โดยลดเวลาการคั่นเฉลี่ยได้สูงสุดถึงร้อยละ 45.10 จากอัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่นแบบสามเส้นทางเช่นเดิม การตั้งค่ากลไกการยุติการคั่นหาที่เหมาะสมมีผลต่อสมรรถนะการคั่นเป็นอย่างมาก งานวิจัยในอนาคต ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาเทคนิคการปรับตั้งค่ากลไกการยุติ การคั่นหาให้ง่ายและสะดวกต่อการนำอัลกอริธึมการจำลองการอบอุ่นแบบหลายวิถีไปประยุกต์ใช้งานแขนงอื่นด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หน่วยวิจัยพลังงานไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก สำหรับเครื่องมือเพื่อการวิจัยครั้งนี้ และ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทศว.) สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย (เลขที่สัญญา 2565FF018) และ (เลขที่สัญญา 2565FF023)

7. เอกสารอ้างอิง

- จักรกฤษณ์ เคลือบวัง. (2553). *การพัฒนาอัลกอริธึมการคั่นหาแบบตาข่ายเชิงปรับตัวหลายวิถี (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทระดับบัณฑิต)*. นครราชสีมา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. สืบค้นจาก <http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/handle/123456789/4388/>
- จักรกฤษณ์ เคลือบวังและมณฑนา แสงโสภา. (2565). การประยุกต์ใช้อัลกอริธึมการคั่นหาแบบหลายวิถีเพื่อแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย. *รายงานสืบเนื่องจาก*

การประชุมวิชาการระดับนานาชาติเชิงสร้างสรรค์ (Cretech2022) ราชมนคลกรุงเทพมหานคร
วิชาการ 2565 (หน้า 34-38). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมนคลกรุงเทพมหานคร.

Wolfgang Ertel. (2011). Introduction to Artificial Intelligence. 2nd ed. Springer:
International Publishing AG

R.W. Eglese. (1990). Simulated Annealing: A tool for operational research. European
Journal Operational Research. 46(3): 271-281.

Mostapha Kalami Heris. (2015). Simulated Annealing in MATLAB. Available from:
https://yarpiz.com/223/ypea_105-simulated-annealing/

Fred Glover and Zhipeng LU. (2021). Focal distance tabu search. Science China
InformationSciences. 64. 150101:2.

**อิทธิพลของสัดส่วนและการปรับปรุงพื้นผิวสารตัวเติมชีวภาพ
เส้นใยแก้ว/เปลือกไข่ต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทีลีน
ความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง**

วัชรินทร์ ลิทธิเจริญ^{1*} และ ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง¹

¹หลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 128 ถ. ห้วยแก้ว ต. ข้างเือง อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50300

* E-mail: wsitticharoen@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ : 097 9213875

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของเส้นใยแก้วและเปลือกไข่ไก่ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง/แก้ว/เปลือกไข่ไก่ สารตัวเติม 3-(Trimethoxysilyl) propyl methacrylate ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยแก้ว และ Titanium (IV) is ropoxide ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเปลือกไข่ พอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรงผสมกับสารตัวเติมที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารเคมีโดยมีส่วนผสมตามปริมาณน้ำหนัก 100/0/0, 90/6/4, 80/12/8, 70/17/13, และ 60/20/20 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง/แก้ว/เปลือกไข่ชนิดปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคเส้นใยแก้วและเปลือกไข่มีค่าสมบัติเชิงกลที่สูงกว่าแบบไม่ปรับปรุงพื้นผิว ค่ามอดูลัสความทนแรงดึง ค่ามอดูลัสความทนแรงดัด และค่าความแข็ง ของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอนุภาคเส้นใยแก้วและเปลือกไข่ อย่างไรก็ตามค่าความทนแรงดึง ค่าความทนแรงดัด มีค่าลดลงเมื่อปริมาณอนุภาคเส้นใยแก้ว และเปลือกไข่เพิ่มสูงขึ้น

คำสำคัญ: เส้นใยแก้ว ผงเปลือกไข่ พอลิเมอร์คอมโพสิต พอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง สมบัติเชิงกล

Influence of Ratio and Surface-Modifier Hemp fiber/Eggshell Bio-filler on Mechanical Properties of Linear Low-Density Polyethylene Composites

Watcharin Sitticharoen^{1*} and Supasit Manokruang¹

¹ Division of Tools and Die Engineering, Department of Industrial Engineering,
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna,
128 Huay Kaew Road, Chang Puak, Muang, Chiang Mai 50300

*E-mail: wsitticharoen@hotmail.com, Tel: 097 9213875

Abstract

This research aims to study the influence of hemp fiber (Hf) and eggshell (Es) powder on the mechanical properties of linear low-density polyethylene/hemp/eggshell composites. The 3-(Trimethoxysilyl) propyl methacrylate silane coupling agent was used to surface-modify Hf particles. Titanium (IV) isopropoxide silane was used to modify Es particles. Linear low-density polyethylene (LLDPE) was mixed with non-modified and chemical surface -modified of hemp fiber and eggshell powder in varying ratios of 100/0/0, 90/6/4, 80/12/8, 70/17/13, and 60/20/20 wt%. The results revealed that the mechanical properties of LLDPE/hemp/eggshell composites with modified Hf/Es were higher than those with non-modified ones. The tensile and flexural modulus, and hardness of the composites increased with an increasing amount of Hf/Es particles. However, the tensile and flexural strength decreased as the amount of Hf/Es increased.

Keywords: Hemp fiber, eggshell, polymer composite, linear low-density polyethylene, mechanical properties.

1. บทนำ

ปัจจุบันชิ้นส่วนอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมการเกษตร และเครื่องใช้ครัวเรือนส่วนใหญ่ทำจากพลาสติก เช่น พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิเอทิลีนเทอเรพทาเลต (PET) เป็นต้น พลาสติกมีอายุความคงทนด้านการใช้งานยาวนานและย่อยสลายเองไม่ได้ ส่งผลให้ทุกปีมีปริมาณขยะพลาสติกสูงขึ้นทั่วทุกมุมโลก

กัญชง (Hemp) หรือเฮมพ์ เป็นพืชที่ปลูกบนพื้นที่สูงของประเทศไทยทางภาคเหนือ เส้นใยกัญชงมีคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่น เหนียว และแข็งแรงสูง และมีเซลลูโลสมากกว่า 77 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยกัญชงถูกนำมาถักทอเป็นเชือก เสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม นักวิจัยหลายท่านได้นำเส้นใยกัญชงใช้เป็นวัสดุสารตัวเติมผสมกับพลาสติก (Kassab et al., 2020; Sitticharoen et al., 2022; Stelea et al., 2022; Zegaoui et al., 2018) พบว่าสมบัติเชิงกลของวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตดียิ่งขึ้น เปลือกไข่ไก่เป็นขยะ ซึ่งได้จากภายหลังการแปรรูปเป็นอาหารหรือทำขนม และมีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ (McGauran et al., 2020) เปลือกไข่ไก่เป็นวัสดุที่หาได้ง่าย มีน้ำหนักเบา และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถใช้เป็นสารตัวเติมชีวภาพในพอลิเมอร์คอมโพสิต ผลการวิจัยพบว่าค่าความทนแรงดึงสูงสุดและความทนแรงดัดของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงผสมผงเปลือกไข่ชนิดปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารเคมีมีค่าสูงกว่าชนิดไม่ปรับปรุงพื้นผิว (Dweiri, R. 2021)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรงผสมเส้นใยกัญชงและเปลือกไข่ไก่ เพื่อใช้เป็นภาชนะคอมโพสิตจานรองต้นแบบที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิต เป็นวัสดุที่มีหลายเฟส (Multiphase) มีพอลิเมอร์เป็นวัสดุเนื้อพื้น (Matrix) และเป็นเฟสต่อเนื่อง (Continuous phase) ผสมกับวัสดุสารตัวเติมเสริมแรง (Reinforcing filler) เพื่อผลิตวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีและคุณภาพเหมาะสมกับการใช้งาน

สารตัวเติมที่นิยมใช้กันมีหลายประเภท มีคุณสมบัติ ขนาด และรูปร่างแตกต่างกัน สารตัวเติม แบ่งเป็น 2 ประเภท คือสารตัวเติมอนินทรีย์ (Inorganic filler) เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) ซิลิกา (Silica) และทัลค์ (Talc) และสารตัวเติมอินทรีย์ (Organic filler) เช่น เส้นใยกัญชง (Hemp fiber) เส้นใยปอกระเจา (Jute fiber) และชานอ้อย (Sugarcane bagasse) เป็นต้น (Sitticharoen et al., 2022; McGauran et al., 2020) ปัจจุบันมีการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยใช้สารตัวเติมเสริมแรงชนิดผงละเอียด

และสารตัวเติมชนิดเส้นใยธรรมชาติ ทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีสมบัติเชิงกลดีกว่า สมบัติเดิมของวัสดุ นั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดศึกษาและพัฒนาวัสดุคอมโพสิต พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรงผสมเส้นใยกัญชงและเปลือกไข่ไก่

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย

1. พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง (Linear low-density polyethylene; LLDPE) มีค่าดัชนีการไหล 7 กรัม/10นาที่ โดยได้รับความอนุเคราะห์ จากบริษัทไทยโพลีเอททีลีน จำกัด
2. เส้นใยกัญชง (Hemp; Hf) และเปลือกไข่ไก่ (Eggshell; Es) มีขนาด 53 ไมครอน
3. สารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) ทั้ง 2 ชนิด คือ 3 - (trimethoxysilyl) propyl methacrylate และ titanium (IV) isopropoxide

การปรับปรุงพื้นผิวสารตัวเติม

1. นำเส้นใยกัญชงมาบดให้ได้เส้นใยสั้นมีขนาด 53 ไมครอน แล้วนำผงเส้นใย กัญชงไปอบในตู้อบเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
2. นำสารเคมี (3 - (trimethoxysilyl) propyl methacrylate) ปริมาณ 3.0 เปอร์เซ็นต์ต่อปริมาณน้ำหนัก (wt%) ของเส้นใยกัญชง 100 กรัม ผสมกับเอทานอล 100 มิลลิลิตร และปั่นกวนผสมเป็นเวลา 15 นาที
3. นำผงเส้นใยกัญชงที่ผสมสารเคมี อบในตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
4. นำเปลือกไข่ ล้างทำความสะอาดแล้วนำมาบดให้ได้ขนาด 53 ไมครอน หลังจากนั้นนำไปอบในตู้อบเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
5. นำสารเคมี titanium (IV) isopropoxide ปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปริมาณน้ำหนัก (wt%) ของผงเปลือกไข่ 100 กรัม ผสมกับเอทานอล 100 มิลลิลิตร และปั่นกวนผสมเป็นเวลา 15 นาที
6. นำผงเปลือกไข่ที่ผสมสารเคมี อบในตู้อบเป็นเวลาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

การศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีของสารตัวเติมทั้ง 2 ชนิด

การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสารตัวเติมทั้ง 2 ชนิด และพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL (JSM-5910LV, Japan) ใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ และใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโกปี (XRF spectrometer) ยี่ห้อ Horiba (XGT-5200, Japan)

การผสมและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

นำผงพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง ผสมกับผงเส้นใยแก้วและผงเปลือกไข่ทั้งชนิดไม่ผสมสารเคมีและผสมสารเคมี โดยใช้เครื่องผสมแบบแห้ง (Dry-blend) มีส่วนผสม ดังนี้ 100/0/0, 90/6/4, 80/12/8, 70/17/13, และ 60/20/20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใช้เวลาผสม 5 นาที นำวัสดุคอมโพสิตไปอบในตู้อบเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และอัดขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตเป็นชิ้นทดสอบความทนแรงดึง ขึ้นทดสอบความทนแรงดัด และขึ้นทดสอบความแข็งโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นระยะเวลา 1.2 นาที ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

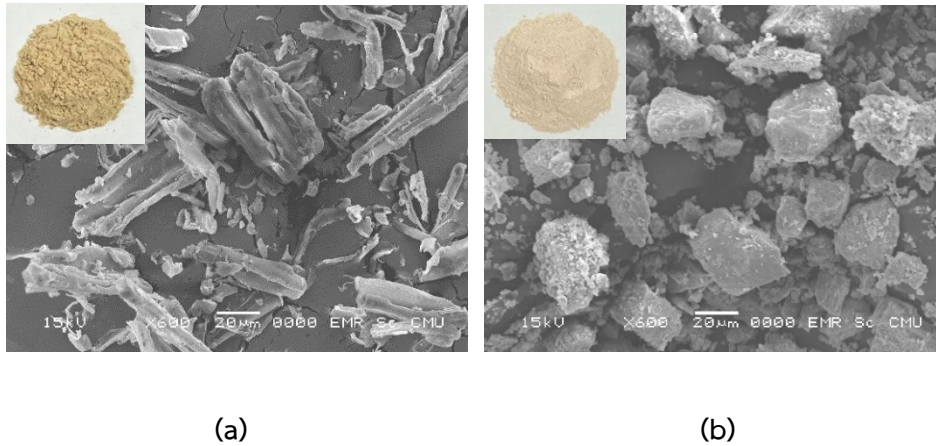
ทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต

ทดสอบความทนแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638-14 ใช้ความเร็วทดสอบแรงดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที และทดสอบความทนแรงดัดแบบดัดโค้ง 3 จุด ตามมาตรฐาน ASTM D790-07 ใช้ความเร็วทดสอบ 1 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ ยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H50KS และทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D2240-15 โดยใช้เครื่องดูโรมิเตอร์ชอรัลดี (Shore-D durometer instrument) การทดสอบสมบัติเชิงกลทั้งหมด 3 ชนิดของวัสดุคอมโพสิต จะใช้จำนวนตัวอย่าง 5 ตัวอย่างในแต่ละส่วนผสม

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

รูปที่ 1 (a) แสดงภาพถ่ายทางกายภาพและการตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM พบว่าผงเส้นใยแก้วเป็นผงสีน้ำตาล และมีลักษณะอนุภาคเป็นรูปทรงแท่งเรียวยาว และมีขนาดรูปร่างไม่แน่นอนปะปนกัน ส่วนผงเปลือกไข่ แสดงในรูปที่ 1 (b) เป็นผงสีน้ำตาลอ่อน และมีลักษณะอนุภาคเป็นก้อนรูปทรงหลายเหลี่ยม และมีพื้นผิวค่อนข้างหยาบ การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยแก้วและเปลือกไข่ด้วยเครื่อง XRF แสดงในตารางที่ 1 พบว่าผงเส้นใยแก้วมีไอเอิร์นออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักปริมาณ 55.25 เปอร์เซ็นต์ มีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบรองปริมาณ 34.97 เปอร์เซ็นต์ และที่เหลือเป็นกลุ่มของ

โลหะออกไซด์มีปริมาณ 9.78 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผงเปลือกไข่มีแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักปริมาณ 98.98 เปอร์เซ็นต์ และที่เหลือเป็นกลุ่มของโลหะออกไซด์เป็นองค์ประกอบรองปริมาณ 1.02 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของความทนแรงดึงและมอดุลัสความทนแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง/เส้นใยแก้ว/เปลือกไข่ชนิดไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารเคมี ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่ามอดุลัสความทนแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยแก้วและเปลือกไข่ไก่มากขึ้น มอดุลัสที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสารตัวเติมทั้งสองชนิดมีซิลิโคน-แคลเซียมเป็นธาตุองค์ประกอบหลักที่สำคัญซึ่งมีความแข็งแรงเข้าไปแทรกตัวในพอลิเมอร์เนื้อพื้น (Matrix) (Sitticharoen et al., 2022; Skórczewska et al., 2022; Senturk et al., 2018) ค่ามอดุลัสความทนแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยแก้ว-เปลือกไข่ มีค่ามากกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิว มอดุลัสความทนแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยแก้ว-เปลือกไข่ที่ส่วนผสมสูงสุด 60/20/20 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 604.1 เมกะปาสคาล และ 745.3 เมกะปาสคาล ตามลำดับ



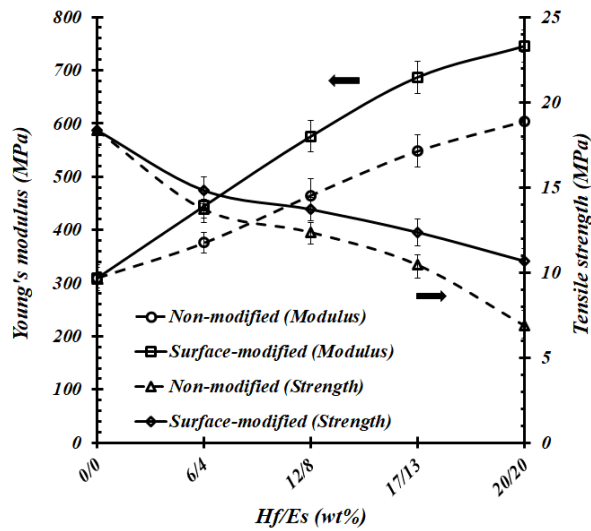
รูปที่ 1 ภาพถ่ายทางกายภาพ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 600 เท่า (a) เส้นใยแก้ว (b) เปลือกไข่ไก่

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยแก้ว (Hf) และเปลือกไข่ไก่ (Es)

Investigation of chemical composition by XRF (Hf)	Content (%)
Iron (III) oxide (Fe ₂ O ₃)	55.251
Silicon dioxide (SiO ₂)	34.975
Calcium oxide (CaO)	6.645
Titanium (IV) oxide (TiO ₂)	3.129
Investigation of chemical composition by XRF (Es)	Content (%)
Calcium oxide (CaO)	98.980
Silicon dioxide (SiO ₂)	0.842
Iron (III) oxide (Fe ₂ O ₃)	0.178

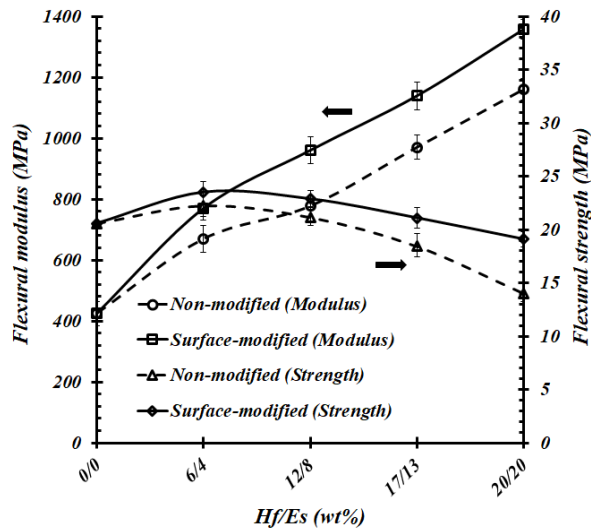
ความทนแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิวมีค่าลดลงเนื่องจากพันธะยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์เนื้อพื้นและสารตัวเติม (Interfacial bonding) ลดลง (Sitticharoen et al., 2022) ความทนแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยแก้ว-เปลือกไข่ที่ส่วนผสมสูงสุด 60/20/20 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 6.9 เมกะปาสคาล และ 10.7 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ความทนแรงดึงและมอดุลัสความทนแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง/เส้นใยแก้ว/เปลือกไข่ ชนิดไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารเคมี ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่ามอดุลัสความทนแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเส้นใยแก้ว-เปลือกไข่ มอดุลัสความทนแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยแก้ว-เปลือกไข่ที่ส่วนผสมสูงสุด 60/20/20 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 1,160.2 เมกะปาสคาล และ 1,357.6 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ความทนแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยแก้ว-เปลือกไข่ที่ส่วนผสมสูงสุด 60/20/20 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 13.9 เมกะปาสคาล และ 19.1 เมกะปาสคาล ตามลำดับ และพบว่าสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคเส้นใยแก้ว-เปลือกไข่ด้วยสารเคมีมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับไม่ปรับปรุงพื้นผิว เนื่องจากการปรับปรุงผิวเส้นใยแก้วและเปลือกไข่ จะช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibility) ระหว่างวัสดุพอลิเมอร์เนื้อพื้นและสารตัวเติมทั้งสองชนิดได้ดียิ่งขึ้น ทำให้เส้นใยแก้วและเปลือกไข่เกิดการกระจายตัวได้ดี (Dispersion) ในวัสดุพอลิเมอร์เนื้อพื้น และยังช่วยลดการเกิดการดึงออก

(Pull-out) ของเส้นใยแก้วและอนุภาคเปลือกไข่ ดังแสดงให้เห็นชัดจากภาพโครงสร้างจุลภาค ในรูปที่ 4



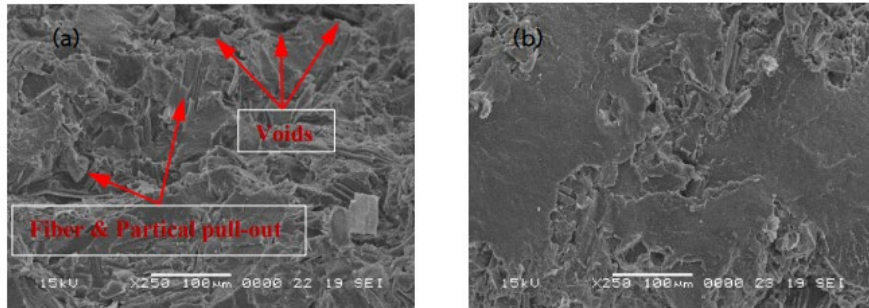
รูปที่ 2 ความทนแรงดึงและมอดุลัสความทนแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิด

โครงสร้างตรง/เส้นใยแก้ว/เปลือกไข่ ชนิดไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิว ด้วยสารเคมี



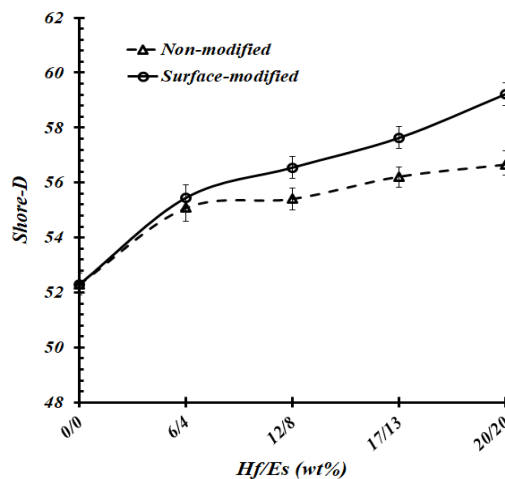
รูปที่ 3 ความทนแรงดัดและมอดุลัสความทนแรงดัดของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิด

โครงสร้างตรง/เส้นใยกัญชง/เปลือกไข่ ชนิดไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิว ด้วยสารเคมี



รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง/เส้นใยกัญชง/เปลือกไข่ ที่ส่วนผสมตามปริมาณน้ำหนัก 60/20/20 เปอร์เซ็นต์ (a) ชนิดไม่ปรับปรุงพื้นผิว (b) ชนิดปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารเคมี ที่กำลังขยาย 250 เท่า

ความแข็งของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง/เส้นใยกัญชง/เปลือกไข่ ชนิดไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารเคมี แสดงในรูปที่ 5 พบว่าความแข็งของวัสดุคอมโพสิตมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเส้นใยกัญชง-เปลือกไข่ ค่าความแข็งของวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยกัญชง-เปลือกไข่ที่ส่วนผสมสูงสุด 60/20/20 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 55.6 และ 59.2 ตามลำดับ



รูปที่ 5 ความแข็งของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง/เส้นใยกัญชง/เปลือกไข่ ชนิดไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารเคมี

รูปที่ 6 แสดงภาพภาชนะจานรองต้นแบบขนาด 103 x 103 x 15.5 มิลลิเมตร ทำจากวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง/เส้นใยแก้ว/เปลือกไข่ ชนิดปรับปรุงพื้นผิวที่ส่วนผสม 60/20/20 เปอร์เซ็นต์ ทำการอัดขึ้นรูปภาชนะจานรองต้นแบบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1.2 นาที โดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 6 ภาชนะจานรองต้นแบบจากวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง/เส้นใยแก้ว/เปลือกไข่ ชนิดปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารเคมีที่ส่วนผสม 60/20/20 เปอร์เซ็นต์

5. สรุป

งานวิจัยนี้ใช้สารตัวเติมลูกผสมระหว่างเส้นใยแก้ว-เปลือกไข่ไก่ผสมกับเทอร์โมพลาสติกเนื้ออ่อนพื้นพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง ผลการทดลองพบว่าเปลือกไข่เป็นสารตัวเติมทางเลือกที่มีแคลเซียมออกไซด์สูง 98.9 เปอร์เซ็นต์ และเส้นใยแก้วมีซิลิคอนไดออกไซด์ 34.9 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำชนิดโครงสร้างตรง/แก้ว/เปลือกไข่ชนิดปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคเส้นใยแก้วและอนุภาคผงเปลือกไข่มีค่าสมบัติเชิงกลที่สูงกว่าแบบไม่ปรับปรุงพื้นผิว ค่ามอดูลัสความทนแรงดึง มอดูลัสความทนแรงดัด และค่าความแข็งของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอนุภาคเส้นใยแก้วและเปลือกไข่ แต่ความทนแรงดึง ความทนแรงดัดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณอนุภาคเส้นใยแก้วและเปลือกไข่เพิ่มสูงขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ หลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลอง และสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Dweiri, R. (2021). Processing and Characterization of Surface Treated Chicken Eggshell and Calcium Carbonate Particles Filled High-Density Polyethylene Composites. *Materials Research (MR)*, 24(3), 1–9. doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2021-0078
- Kassab, Z., Abdellaoui, Y., Salim, M. H., Bouhfid, R., Qaiss, A. El K., & Achaby, M. EL. (2020). Micro- and Nano-Celluloses Derived from Hemp Stalks and Their Effect as Polymer Reinforcing Materials. *Carbohydrate Polymers (CP)*, 245, 116506-116517. doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116506
- McGauran, T., Dunne, N., Smyth, B. M., & Cunningham, E. (2020). Incorporation of PoultryEggshell and Litter Ash as High Loading Polymer Fillers in Polypropylene. *Composites Part C - Open Access (CPC-OA)*, 3, 100080 – 100089. doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100080
- Senturk, O., Senturk, A.E., & Palabiyik, M. (2018). Evaluation of Hybrid Effect on the Thermomechanical and Mechanical Properties of Calcite/SGF/PP Hybrid Composites. *Composites Part B: Engineering (CPB:E)*, 140, 68-77. doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.12.021
- Sitticharoen, W., Uthiyoung, C., Wongkhumpun, W., Chaitep, S., & Honghin, T. (2022). Effect of Hybrid Ratio and Surface-Modifier Hemp Fiber/Talc on PLA Hybrid Biocomposites. *Suranaree Journal of Science and Technology (SJST)*, 29(1), 0100931-01009310. <https://ird.sut.ac.th/journal/sjst/#/los/manuscript/25207>
- Stelea, L., Filip, I., Lisa, G., Ichim, M., Drobotă, M., Sava, C., & Muresan, A. (2022). Characterisation of Hemp Fibres Reinforced Composites Using Thermoplastic Polymers as Matrices. *Polymers (P)*, 14(3), 481-501. doi: 10.3390/polym14030481
- Skórczewska, K., Lewandowski, K., Szewczykowski, P., Wilczewski, S., Szulc, J., Stopa, P., & Nowakowska, P. (2022). Waste Eggshells as a Natural Filler for the Poly(vinyl chloride) Composites. *Polymers (P)*, 14(20), 43721-43720. doi.org/10.3390/polym14204372

Zegaoui, A., Derradji, M., Ma, R-k., Cai, W-a., Medjahed, A., Liu, W-b., Dayo, A.Q., Wang, J., & Wang, G-x. (2018). Influence of Fiber Volume Fractions on the Performances of Alkali Modified Hemp Fibers Reinforced Cyanate Ester/Benzoxazine Blend Composites. *Materials Chemistry and Physics (MCP)*, 213, 146-156. doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.04.012

อิทธิพลสารหล่อลื่นในกระบวนการรีดผนังบางแบบรวมขั้นตอน

เชษฐ อุทัยยัง^{1*} และธีรวัฒน์ แสงภาค¹

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

*E-mail, chet_tde@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นในการรีดผนังบางแบบรวมขั้นตอนขึ้นงานทรงกระบอกด้วยชุดแม่พิมพ์ชุบแข็งและชุดแม่พิมพ์เคลือบผิวแข็ง (TiCN) ใช้วัสดุอะลูมิเนียมเกรด AA1100 ขนาดความหนา 0.25 มิลลิเมตร ความหนาขึ้นงานเริ่มต้นก่อนกระบวนการรีดผนังบางเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 51.5 มิลลิเมตร และสูง 25 มิลลิเมตร ปากตายมีมุมทางเข้า 10 องศา อัตราส่วนลดความหนา 10 เปอร์เซ็นต์ 20 เปอร์เซ็นต์ 30 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สารหล่อลื่นน้ำมันปาล์ม สารหล่อลื่น TDN81 (Castrol) น้ำมันตัดกลึง พอลิเทระฟลูออโรเอทิลีน (PTFE) หนา 0.1 มิลลิเมตร ถุงดำพลาสติก (Black Bag) หนา 0.01 มิลลิเมตร พิล์มถนอมอาหาร PVC Sheet 0.01 มิลลิเมตร และไม่ใช้สารหล่อลื่นทำการทดลองพบว่า สารหล่อลื่นแต่ละชนิดทำให้ได้ความหนา 0.17 มิลลิเมตร ถึง 0.18 มิลลิเมตร ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของชุดแม่พิมพ์เคลือบผิวแข็ง มีสารหล่อลื่นน้ำมันปาล์ม และน้ำมันตัดกลึง มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำสุดที่ 0.14 ไมโครเมตร

คำสำคัญ ชุบแข็ง เคลือบผิวแข็ง การรีดผนังบางแบบรวมขั้นตอน ค่าความหยาบผิว

Influence of Lubricants on Multi-Stage Ironing Die

Chet Uthiyoung^{1*} and Teerawat Sangkas¹

¹ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna,
128 Huay Kaew Road, Muang, Chaingmai, Thailand, 50300

*E-mail, chet_tde@hotmail.com

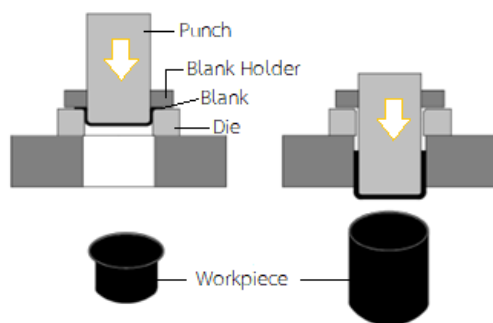
Abstract

This project studied the effect of lubricants on the thin-walled rolling process of cylindrical workpieces using hardened die sets and TiCN-hardened die sets. AA1100 grade aluminum with a thickness of 0.25 mm was used as a material. Before the thin-wall extrusion process, the outer diameter and height of the workpiece were 51.5 mm and 25 mm, respectively. The insert die set has an inlet angle of 10 degrees. Thickness reduction ratios were 10 percent, 20 percent, 30 percent and 40 percent using water, palm oil lubricant, lubricant TDN81 (Castrol), cutting oil, polytetrafluoroethylene (PTFE), 0.01 mm. of thickness black plastic bag, 0.01 mm. of thickness PVC Sheet food preservation 0.01 mm. of thickness compared with no lubricant used which defined as a control. It was found that each type of lubricant was able to achieve a thickness of 0.17 mm to 0.18 mm, a minimal average surface roughness (Ra) of hard coated with mold set containing palm oil lubricant and cutting oil of 0.14 micrometers.

Keywords Hardened, Coating, Multi-stage Ironing Die, Surface Roughness

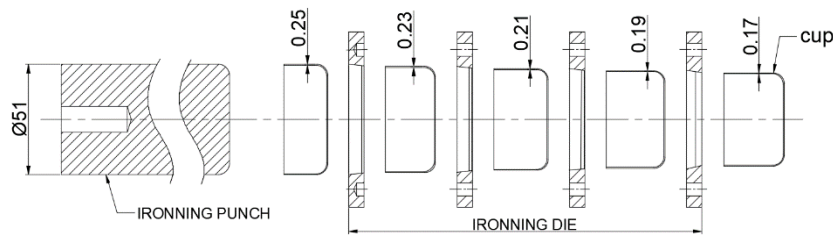
1. บทนำ

กระบวนการลากขึ้นรูปลึก เป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น ใช้ในกระบวนการผลิตภัณฑ์ เช่น อุตสาหกรรมของใช้ในครัวเรือน อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร เป็นต้น กระบวนการป้องกันจะใช้แม่พิมพ์ลากขึ้นรูป (Deep Drawing) แสดงดังรูปที่ 1 และแม่พิมพ์รีดผนังบาง (Ironing) เป็นส่วนหนึ่งที่นิยมใช้ในการผลิต



รูปที่ 1 กระบวนการลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing Process)

โดยปกติแล้วแม่พิมพ์รีดผนังบางจะใช้อินเสิร์ตและแม่พิมพ์ที่ละเอียดในการลดความหนาผนังแต่ละเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของแต่ละความหนา ถ้าต้องการรีดลดความหนาผนัง 10 เปอร์เซ็นต์ 20 เปอร์เซ็นต์ 30 เปอร์เซ็นต์ 40 เปอร์เซ็นต์ จะใช้ชุดแม่พิมพ์รีดผนังบาง 4 ชุด มาทำการลดความหนาผนังของชิ้นงาน ปัจจัยสารหล่อลื่นในการรีดผนังบาง ซึ่งจะช่วยให้ลดความเสียหายการใช้เทคนิครีดผนังบางเพื่อเพิ่มความแข็งแรงชิ้นงาน (Khodsetan, ea al.2559) ลดรอยขีดข่วนบนผนังด้วยชิ้นงาน (วิทยาและคณะ, 2561) การลดการยึดติดของเนื้ออะลูมิเนียมบนผิวของแม่พิมพ์ (Yohei, ea al.2563) ทำให้ชิ้นงานมีผิวสำเร็จที่ดี นำไปใช้งานได้และนำไปทำกระบวนการอื่นๆ ต่อไป การรีดผนังบางวัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Anil, ea al.2560) สารหล่อลื่นมีทั้งของเหลวและของแข็ง ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดแม่พิมพ์รีดผนังบางแบบรวมขั้นตอน โดยใช้อัตราส่วนลดความหนาสูงสุดอยู่ที่ 40 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 2 โดยใช้วัสดุอะลูมิเนียมเพื่อขึ้นรูปถ้วย และใช้สารหล่อลื่นที่ทำการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นที่มีผลต่อความหยาบผิวชิ้นงาน และความหนาชิ้นงาน



รูปที่ 2 การรีดผนังบางแบบรวมขั้นตอน

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการลากขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกลมและนำชิ้นงานมาตัดขอบให้ได้ความสูงชิ้นงานให้เท่ากัน แล้วใช้ชุดแม่พิมพ์รีดผนังบาง โดยได้ออกแบบขนาดพินซ์และตายเพื่อลดความหนาผนัง 40 เปอร์เซ็นต์ การออกแบบจะคำนวณแรงในการรีดผนังบาง อัตราส่วนการลดความหนาผนัง การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตายแม่พิมพ์รีดผนังบาง การเลือกใช้สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลว ของแข็ง เพื่อทำการทดลองหาอิทธิพลของสารหล่อลื่นจะส่งผลถึงความหนา ความหยาบผิว

ดังนั้นการคำนวณแรงในการรีดผนังบางได้จาก

$$F_{\text{ironing}} = S_c (d_2 + 2t_0) t_f \quad (1)$$

เมื่อ F_{ironing} = แรงในการรีดผนังบาง N.

t_0 = ความหนาของชิ้นงานก่อนการรีดผนังบาง mm.

S_c = ความแข็งแรงกด (Compressive Strength) ของวัสดุชิ้นงาน mm.

t_f = ความหนาผนังถ้วยหลังจากผ่านการรีดผนังบาง mm.

d_2 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพินซ์ mm.

อัตราส่วนการลดความหนาผนัง (TRR)

$$\text{TRR} = (t_0 - t_f) / t_0 \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ t_0 = ความหนาของชิ้นงานก่อนการรีดผนังบาง mm.

t_f = ความหนาผนังถ้วยหลังจากผ่านการรีดผนังบาง mm.

การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตายแม่พิมพ์รีดผนังบาง

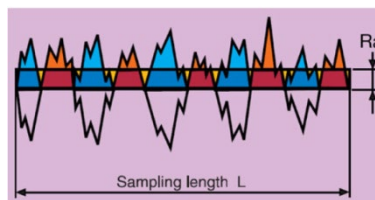
$$d_1 = 51 + (TRR \times 2) \quad (3)$$

เมื่อ d_1 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตาย mm.

TRR = อัตราส่วนการลดความหนาผนัง %

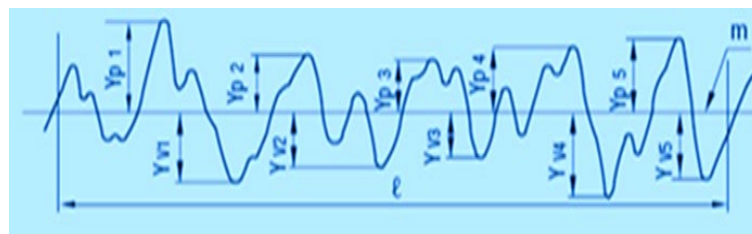
กำหนดการวัดความหยาบผิว

Ra (Arithmetical Roughness mean) เป็นการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของพื้นที่ผิวที่วัดได้ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงระดับความขรุขระโดยรวม แต่จะไม่ทราบลักษณะความคลาดเคลื่อนความสูงต่ำของความขรุขระ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความหยาบเฉลี่ยเลขคณิต (Ra)

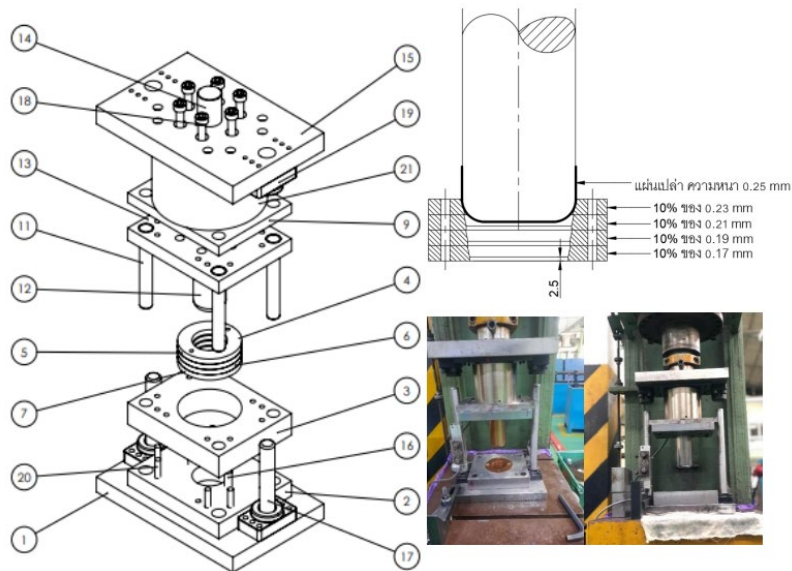
Rz (Ten-point mean roughness) เป็นการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของพื้นที่ผิวที่วัดได้ โดยวิธีการคำนวณนั้นจะพิจารณาจากจุดที่มีค่าสูงสุดของกราฟ จำนวน 5 จุด และจุดที่มีค่าต่ำสุดของกราฟจำนวน 5 จุด ทำให้เรารู้รูปลักษณะของความขรุขระได้ชัดเจนกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความหยาบของพื้นผิวโดยเฉลี่ย (Rz)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทดลองได้ศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นได้ใช้ วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง ดังต่อไปนี้โดยออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปปลีก (วารุณีและพงศ์พันธ์, 2552) เพื่อลากขึ้นรูปให้ได้ชิ้นงานเริ่มต้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 51.5 มิลลิเมตร ความสูงของถ้วยกลม 25 มิลลิเมตร วัสดุชิ้นงานเป็นอะลูมิเนียม เกรด AA 1100 หนา 0.25 มิลลิเมตร และทำการออกแบบและสร้างชุดแม่พิมพ์รีดผนังบางแบบรวมขั้นตอน (Avitzur, 2526) อินเสิร์ตชุดตายมีมุมทางเข้าชิ้นงานเท่ากับ 10 องศา และอัตราส่วนลดความหนาสูงสุดอยู่ที่ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยลดความหนาผนังในครั้งแรก 10 เปอร์เซ็นต์ของความหนา 0.25 มิลลิเมตร ครั้งที่สอง 10 เปอร์เซ็นต์ของความหนา 0.23 มิลลิเมตร ครั้งที่สาม 10 เปอร์เซ็นต์ความหนาของ 0.21 มิลลิเมตร และครั้งสุดท้าย 10 เปอร์เซ็นต์ของความหนาของ 0.19 มิลลิเมตร ได้ความหนา 0.17 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 5 (ก) วัสดุนำมาทำแม่พิมพ์ที่เป็นพันธ์และตาย คือ เหล็กกล้า SKD11 ชุบแข็ง 58-60 HRC และเคลือบผิวแข็ง Physical Vapor Deposition (PVD-TiCN) สารหล่อลื่นที่ใช้คือน้ำมันปาล์ม น้ำมัน TDN81 (Castrol) น้ำมันตัดกลึง พอลิเทระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene: PTFE) หนา 0.1 มิลลิเมตร ถุงดำพลาสติก (Black Bag) หนา 0.01 มิลลิเมตร ฟิล์มถนอมอาหาร PVC Sheet หนา 0.01 มิลลิเมตร และไม่ใช้สารหล่อลื่น



(ก) แม่พิมพ์รีดผนังบางแบบรวมขั้นตอน (ข) ติดตั้งชุดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องเพรส

รูปที่ 5 อุปกรณ์ใช้ในการทดลอง

ชุดแม่พิมพ์รีดผนังบางแบบรวมชิ้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก) ประกอบด้วยชิ้นส่วนแม่พิมพ์ หมายเลข 1 ดายไฮเตอร์ หมายเลข 2 แบกี้งเพลท หมายเลข 3 ดายเพลท หมายเลข 4 ดาย 1 หมายเลข 5 ดาย 2 หมายเลข 6 ดาย 3 หมายเลข 7 ดาย 4 หมายเลข 9 สติปเปอร์เพลท หมายเลข 11 สติปเปอร์ไคด์ฟิน หมายเลข 12 พันซ์ หมายเลข 13 แผ่นรองพันซ์ หมายเลข 14 แชนจ์ไฮเตอร์ หมายเลข 15 พันซ์ไฮเตอร์ หมายเลข 16 สกรูหัวฝัง M12 หมายเลข 17 ไคด์โพรส หมายเลข 18 สกรูหัวฝัง M12 หมายเลข 19 ไคด์บุช หมายเลข 20 สกรูหัวฝัง M8 หมายเลข 21 โหลดเซล ทำการทดลองโดยติดตั้งชุดแม่พิมพ์ดังภาพที่ 5 (ข) เก็บผลการทดลอง ความหนาและความหยาบผิวชิ้นงาน ใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ ความละเอียด 0.02 มิลลิเมตร วัดความหนาชิ้นงาน วัดค่าความหยาบผิวชิ้นงานด้วยเครื่องวัดฯ แสดงในรูปที่ 6 ทำการทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้ง








รูปที่ 6 เครื่องวัดความหยาบผิว LEXT OLS5000 3D Measuring Laser Microscope

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลองในการรีดผนังบาง

ในการทดลองจะรีดผนังบางโดยใช้ชุดแม่พิมพ์ชุบแข็งและชุดแม่พิมพ์เคลือบผิวแข็ง โดยใช้สารหล่อลื่น 6 ชนิด แสดงดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงรูปผลการทดลองรีดผนังบางโดยใช้ชุดแม่พิมพ์ชุบแข็งโดยใช้สารหล่อลื่น 6 ชนิด

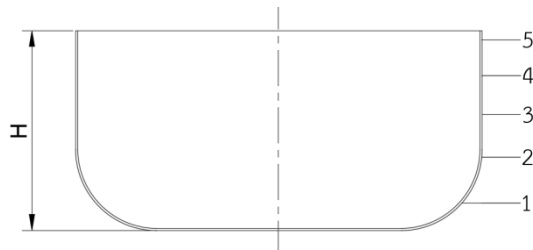
รูปชิ้นงาน	สารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลอง
	ไม่ใช่สารหล่อลื่น
	น้ำมันปาล์ม
	TD81
	น้ำมันตัดกลึง
	PTFE
	ถุงดำพลาสติก
	ฟิล์มถนอมอาหาร

ตารางที่ 2 แสดงรูปผลการทดลองรีดผนังบางโดยใช้ชุดแม่พิมพ์เคลือบผิวแข็งโดยใช้สารหล่อลื่น 6 ชนิด

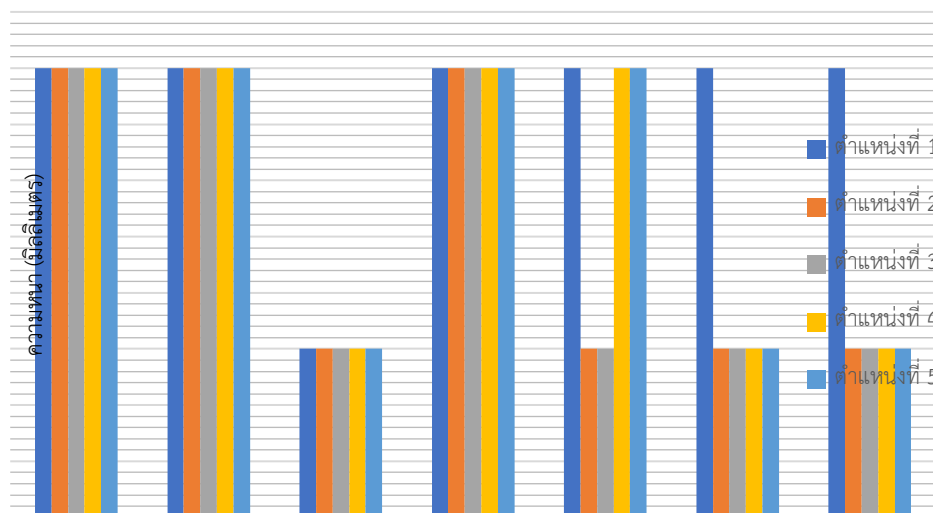
รูปชิ้นงาน	สารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลอง
	ไม่ใช้สารหล่อลื่น
	น้ำมันปาล์ม
	TND81
	น้ำมันตัดกลึง
	PTFE
	ถุงดำพลาสติก
	ฟิล์มถนอมอาหาร

4.2 ผลการวัดความหนาชิ้นงานในการรีดผนังบาง

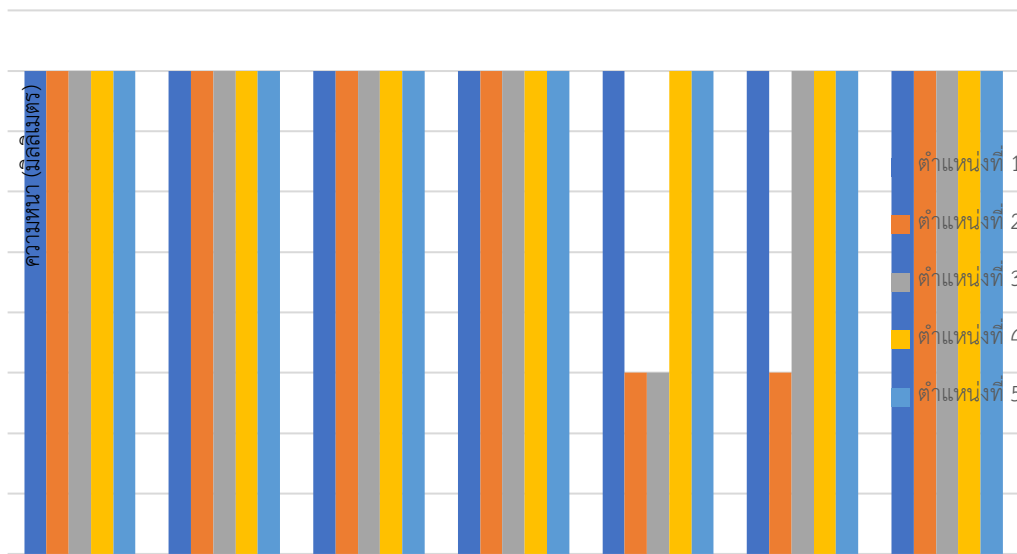
ทำการวัดความหนาของชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง กำหนดจุดวัดความหนาผนังชิ้นงาน โดยตำแหน่งที่ 1 วัดจากขอบบนปากของชิ้นงานลงมา 2 มิลลิเมตร ตำแหน่งที่ 2 ถึงตำแหน่งที่ 5 ระยะห่างกัน 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตำแหน่งการตรวจวัดความหนาชิ้นงาน 5 จุด



รูปที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่าความหนาผนังเมื่อใช้ชุดแม่พิมพ์ชุบแข็ง

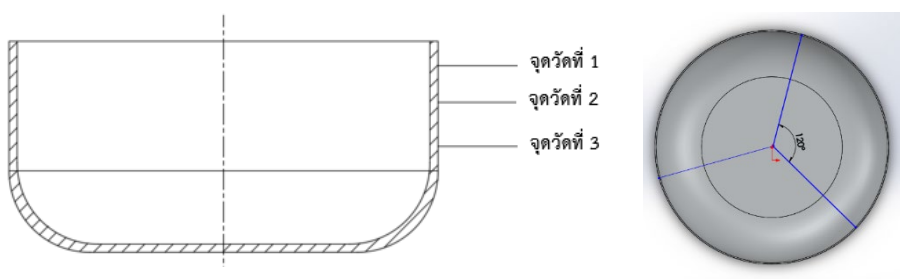


รูปที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยผลการวัดค่าความหยาบผนังเมื่อใช้ชุดแม่พิมพ์ชุบเคลือบผิว

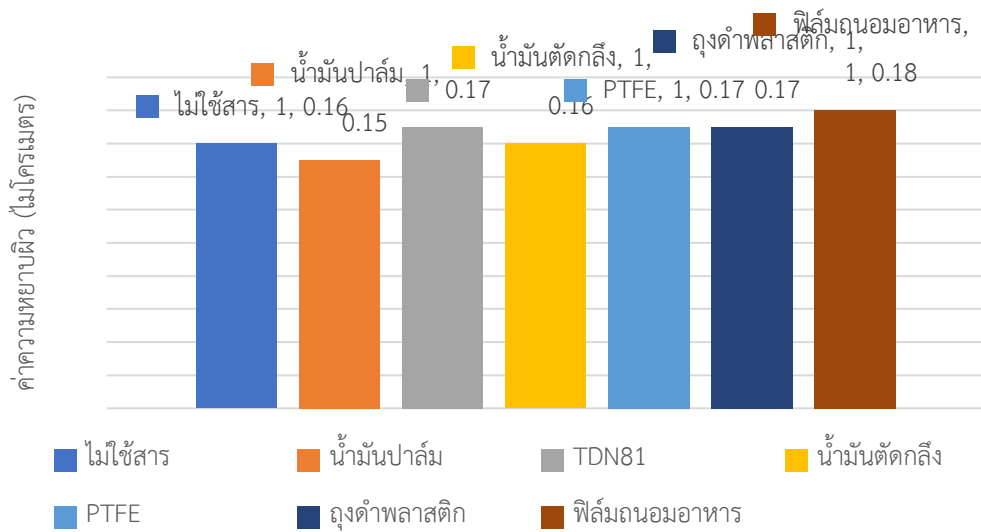
ผลการวัดความหยาบของชิ้นงานชุดแม่พิมพ์ชุบแข็งและชุดแม่พิมพ์เคลือบผิวแข็งในตำแหน่งตรวจสอบทั้ง 5 ตำแหน่ง โดยใช้สารหล่อลื่นแต่ละชนิดพบว่ามีความหยาบ 0.17 มิลลิเมตร ถึง 0.18 มิลลิเมตร ซึ่งผนังชิ้นงานที่ถูกวัดความหยาบใกล้เคียงกัน

4.3 ผลการวัดค่าความหยาบผิวชิ้นงานในการลากขึ้นรูป

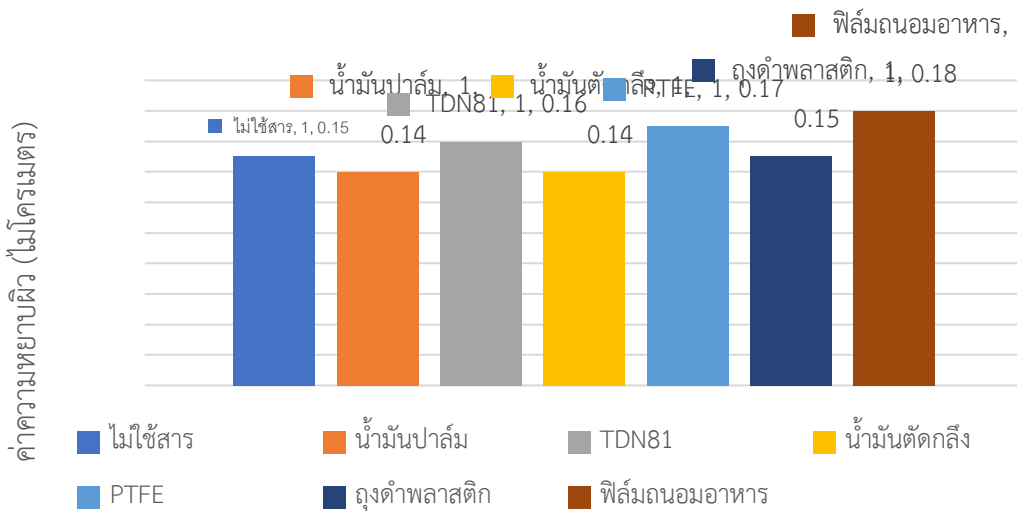
วัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง โดยกำหนดจุดวัดความหยาบผิวของชิ้นงานดังรูปที่ 10 และทำการวัดเลือกใช้ค่าความหยาบผิว Ra และ Rz การวัดค่าความหยาบผิวชิ้นงานเริ่มต้นแผ่นอะลูมิเนียม จะได้ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว Ra เท่ากับ 0.610 ไมโครเมตร และค่าความหยาบผิว Rz เท่ากับ 4.147 ไมโครเมตร



รูปที่ 10 ตำแหน่งการตรวจวัดความหยาบผิวชิ้นงาน 9 จุด



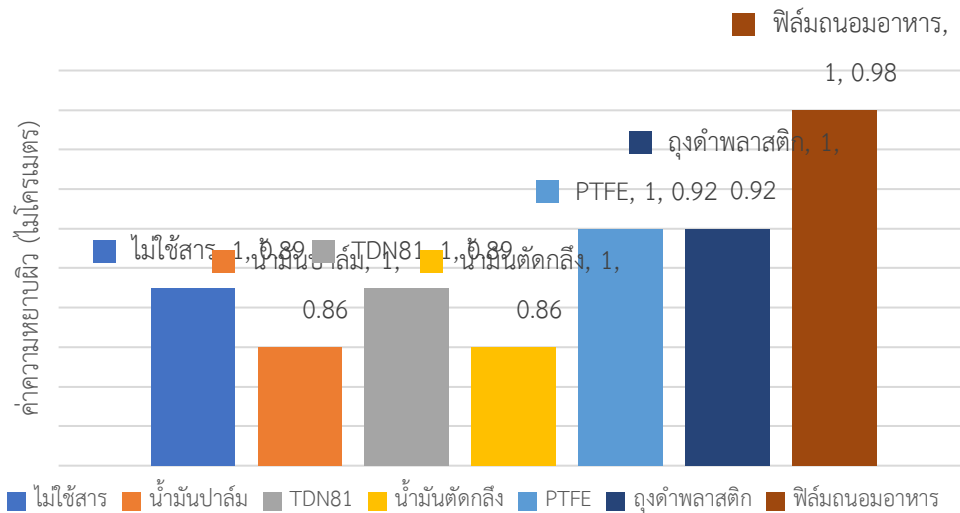
รูปที่ 11 แสดงค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) แต่ละตำแหน่งของชุดแม่พิมพ์ซุบแข็ง



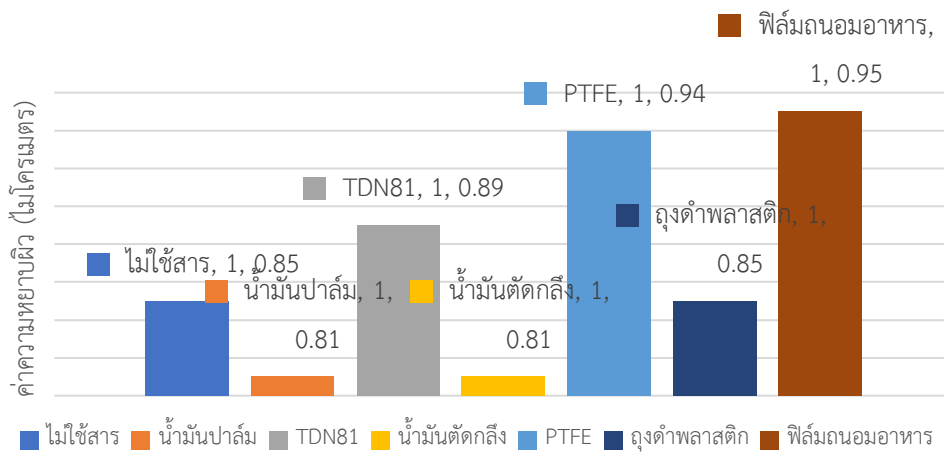
รูปที่ 12 ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) แต่ละตำแหน่งของชุดแม่พิมพ์เคลือบผิวแข็ง

วัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของชิ้นงานรีดผนังบาง พบว่าค่าที่ได้จากการใช้สารหล่อลื่นทั้งหมด 6 ชนิดและไม่ใช้สารหล่อลื่น มีค่าไม่เท่ากัน โดยค่าความหยาบผิวของชุดแม่พิมพ์ซุบแข็ง มีสารหล่อลื่นน้ำมันปาล์มมีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำสุดที่ 0.15 ไมโครเมตร

ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของชุดแม่พิมพ์เคลือบผิวแข็ง มีสารหล่อลื่นน้ำมันปาล์ม และน้ำมันตัดกลึง มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำสุดที่ 0.14 ไมโครเมตร



รูปที่ 13 แสดงค่าความหยาบของพื้นผิวโดยเฉลี่ย (Rz) แต่ละตำแหน่งของชุดแม่พิมพ์ชุบแข็ง



รูปที่ 14 แสดงค่าความหยาบของพื้นผิวโดยเฉลี่ย (Rz) แต่ละตำแหน่งของชุดแม่พิมพ์เคลือบผิวแข็ง

5. สรุปและอภิปรายผล

ผลการวัดความหนาขึ้นงานในการรีดผนังบางโดยใช้สารหล่อลื่นแต่ละชนิดพบว่ามีความหนา 0.17 มิลลิเมตร ถึง 0.18 มิลลิเมตร ผนังขึ้นงานถูกรีดซึ่งเป็นไปตามที่ได้ออกแบบพินซ์และตาย

วัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของขึ้นงานรีดผนังบาง พบว่าค่าที่ได้จากการใช้สารหล่อลื่นทั้งหมด 6 ชนิดและไม่ใช้สารหล่อลื่น มีค่าไม่เท่ากัน โดยค่าความหยาบผิวของชุดแม่พิมพ์ชุบแข็งมีสารหล่อลื่นน้ำมันปาล์มมีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำสุดที่ 0.15 ไมโครเมตร ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของชุดแม่พิมพ์เคลือบผิวแข็ง มีสารหล่อลื่นน้ำมันปาล์มและน้ำมันตัดกลึง มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำสุดที่ 0.14 ไมโครเมตร เนื่องจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันตัดกลึงไม่ใช่กลุ่มสารหล่อลื่นที่ใช้ในงานขึ้นรูปโลหะ ทำให้ป้องกันการสัมผัสผิวขึ้นงาน ผิวตายได้น้อยกว่าสารหล่อลื่นชนิดอื่นๆ จึงได้ค่าความหยาบผิวที่ต่ำ ค่าความหยาบผิวหลังจากการรีดผนังบาง ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) มีค่าความหยาบผิวน้อยกว่าผิวขึ้นงานเริ่มต้น

วัดค่าความหยาบของพื้นผิวโดยเฉลี่ย (Rz) ของขึ้นงานรีดผนังบาง พบว่าค่าที่ได้จากการใช้สารหล่อลื่นทั้งหมด 6 ชนิดและไม่ใช้สารหล่อลื่น มีค่าไม่เท่ากัน โดยค่าความหยาบผิวของชุดแม่พิมพ์ชุบแข็ง มีสารหล่อลื่นน้ำมันปาล์ม และสารหล่อลื่นน้ำมันตัดกลึง มีค่าความหยาบของพื้นผิวโดยเฉลี่ยต่ำสุดที่ 0.86 ไมโครเมตร ค่าความหยาบของพื้นผิวโดยเฉลี่ย (Rz) ของชุดแม่พิมพ์เคลือบผิวแข็ง มีสารหล่อลื่นน้ำมันปาล์ม และน้ำมันตัดกลึง มีค่าความหยาบผิวต่ำสุดที่ 0.81 ไมโครเมตร

สารหล่อลื่นประเภทของเหลว น้ำมันปาล์มมีค่าความหยาบผิวดีที่สุดเพราะน้ำมันปาล์มเป็นสารหล่อลื่นธรรมชาติที่มาจากพืชทำให้การป้องกันการสัมผัสในระหว่างการรีดผนังบางมีน้อยกว่าน้ำมันชนิดอื่น สารหล่อลื่นประเภทของแข็ง กระจกพลาสติกมีค่าความหยาบผิวดีที่สุดเพราะกระจกมีคุณสมบัติ ความเหนียวและผิวที่มัน

ชุดแม่พิมพ์เคลือบผิวแข็ง มีส่วนช่วยทำให้ค่าความหยาบผิวของขึ้นงาน ขึ้นงานที่ได้จากการรีดผนังบางมีค่าน้อยกว่าขึ้นงานที่ได้จากชุดแม่พิมพ์ชุบแข็ง สังเกตได้จากค่าความหยาบผิวที่ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ขอขอบคุณ นายจารุกิตต์ ชลอมเพชร นายปิยะณัฐ ปานทอง นางสาววารภรณ์ เกตุศรี ที่ช่วยทำการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

- วารุณี เปรมานนท์ และพงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, (2552), งานขึ้นรูปโลหะ,
สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย- ญี่ปุ่น, พิมพ์ครั้งที่ 4.
- วิทยา ดาวดอน, สุรัตน์ วรรณศรี, สุรเชษฐ์ ช้อนกลิ่น, รุ่งวสันต์ ไกรกลาง, และนรารักษ์ บุตรชา.
(2561). การประยุกต์ใช้การปรับสภาพผิวโดยการยิงอนุภาคแข็ง
เพื่อปรับปรุงความต้านทานการสึกหรอแบบยึด
ติดในกระบวนการรีดลดความหนาผนังถ้วยอะลูมิเนียม. วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 13(3), 127-137.
- Avitzur, B. Ironing: In Handbook of Metal Forming Processes. New York: John Wiley &
Sons; 1983.
- Anil KP, Shayrughan S, Raghu NJ, Nelepu K, (2017). Multistage Deep Drawing with
Ironing of Al-killed AISI 1040 Graded Medium Carbon Steel: a Parametric
Study. Materials Research, 20(4),1111-1120.
- Khodsetan M, Faraji G, Abrinia K, Shahbazi Karami J, (2016), A Numerical and
Experimental Study of Constrained Ironing Process as a Novel High
Thickness Reduction Ironing Method, Trans Indian Inst Met (2016) p.1843-
1849.
- Yohei A., Kai S., Ken-I chiro M, (2020) Ironing limit of aluminium alloy cups with
lubricants containing nanoparticles and tool steel die, Procedia
Manufacturing 50 (2020) p.114-118.

แอปพลิเคชันการให้บริการทางการเกษตรบนอุปกรณ์เคลื่อนที่

สุวรรณี ปัญยศ*, ประภาส สุวรรณ, พิเชษฐ กันทะวัง, ปกรณ์ เสรีพันธุ์วงศ์
สินธพ ลินธุ์วงศ์ และ ประวิทย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

99 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57210

*suwannee_pa@rmutl.ac.th, 0805020598

บทคัดย่อ

การพัฒนาแอปพลิเคชันการให้บริการทางการเกษตรบนอุปกรณ์เคลื่อนที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเชื่อมระหว่างเกษตรกรและผู้ให้บริการสำหรับการติดต่อว่าจ้างทำงานทางการเกษตรซึ่งทำให้เกิดมีตัวเลือกที่หลากหลายสามารถช่วยในการตัดสินใจว่าจ้างให้ที่เหมาะสมกับความต้องการของเกษตรกรสามารถค้นหาผู้ให้บริการทางการเกษตร การประกาศงาน ตารางงานบริการสำหรับเกษตรกร ในส่วนของระบบสมาชิกสามารถเป็นได้ทั้งผู้รับบริการและให้บริการ การพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยภาษา Dart ใช้โปรแกรมจัดการฐานข้อมูล Heidi SQL การจัดการฐานข้อมูลด้วยภาษา SQL และการวิเคราะห์ความพึงพอใจผู้ใช้งานระบบได้ใช้กลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง เป็นนักศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ และบุคคลทั่วไป จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้แก่แบบประเมินความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชัน เกษตรบริการ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการทดสอบแอปพลิเคชัน พบว่า มีความถูกต้องและแสดงรายงานได้อย่างครบถ้วนตามขอบเขตที่กำหนด ผลประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานในด้านการติดต่อประสานกับผู้ใช้งานมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.73 อยู่ในระดับดี ด้านการใช้งานแอปพลิเคชันมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.94 อยู่ในระดับดี และผลประเมินโดยรวมได้มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.83 อยู่ในระดับดี

คำสำคัญ: แอปพลิเคชันทางเกษตร, เกษตรบริการ, ผู้ให้บริการทางการเกษตร

Mobile Agricultural Service Application

Suwannee Panyot*, Prapas Suwan, Pichet Kuntawang, Prakorn Sereepulvong
Sinthop Apiwong, Prawit Chumpookam

Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai
99 Sai Khao, Phan, Chiang Rai, Thailand, 57120

*suwannee_pa@rmutl.ac.th, 0805020598

Abstract

The objective of developing a mobile application for agricultural services on mobile devices is to connect farmers and service providers for agricultural outsourcing. The application aims to provide a variety of choices to help farmers make hiring informed decisions to meet their requirements. It allows users to search for agricultural service providers, job announcements, and service schedules for farmers. For the membership system, it allows users to be both service recipients and service providers.

The application was developed using the Dart programming language and Heidi SQL database management program. The database management using SQL and the user satisfaction analysis employed a targeted sample group, including computer engineering students and the general public of 30 persons. Data collection tools were satisfaction assessment surveys for using an application agricultural services, and statistical for data analysis as mean and standard deviation.

The testing results of the application indicated that it was accurate and generated comprehensive reports within the defined scope. The result of user satisfaction assessment in terms of user interaction and communication showed an average score of 3.73, indicating a good level of satisfaction. Regarding application usability, the average score is 3.94, also indicating a good level of satisfaction. The overall evaluation score averages 3.83, which is considered good.

Keyword: Agricultural Service, Mobile Application, Agricultural Service Providers

1. บทนำ

การพัฒนาโลกเพื่อความยั่งยืน (SDGs) ในประเด็นส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืน และส่งเสริมนวัตกรรม ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 ในการพัฒนาคุณภาพชีวิตสร้างรายได้ ให้เป็นประเทศที่พัฒนาแล้ว มีความมั่นคงเสมอภาค ประเทศสามารถแข่งขันได้ในระบบเศรษฐกิจ โดยประเทศไทย 4.0 เน้นเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริการด้านอุตสาหกรรมเกษตร และนโยบายของสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ กลยุทธ์ที่ 1 ทำให้ระบบนวัตกรรมไทยเป็นระบบที่เปิดกว้าง สร้างโอกาสการเข้าถึงทรัพยากรและการสนับสนุนอย่างทั่วถึง เป้าประสงค์เพื่อสร้างความเข้มแข็งระบบนวัตกรรมในระดับพื้นที่ และเพิ่มจำนวนผลงานและธุรกิจนวัตกรรมในพื้นที่ และสร้างผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรม เพื่อส่งเสริมเกษตรกรรมยุคไทยแลนด์ 4.0 นั้นให้เกิดเกษตรบริการ ทางด้านการให้บริการการเข้าถึงทรัพยากรแก่เกษตรกร

ประเทศไทยเกษตรกรรมถือเป็นอาชีพหนึ่งที่สำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากสภาพภูมิประเทศที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกและอุดมไปด้วยทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งคนไทยส่วนมากประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลัก ทั้งการทำสวน ทำนา ทำไร่ โดยเกษตรกรมักจะปลูกพืชเศรษฐกิจตามฤดูกาลเพื่อค้าขายเป็นรายได้หลัก สำหรับการทำเกษตรกรรมนั้น มีขั้นตอนที่หลากหลาย จำนวนครัวเรือนเกษตรกรที่ขึ้นทะเบียนเกษตรกร จำนวนรายจังหวัด พ.ศ. 2557 – 2564 เพิ่มขึ้น 17.86 เปอร์เซ็นต์ โดยภาคการเกษตรมีความเชื่อมโยงอุตสาหกรรมของประเทศ เช่น ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย และข้าวโพด ปัจจุบันพื้นที่เพาะปลูกในประเทศไทยประมาณ 71 ล้านไร่ เป็นการปลูกข้าว หรือเกือบครึ่งหนึ่งของพื้นที่สำหรับการถือครองเพื่อการทำเกษตร การแก่ลงของประชากรเกษตรไทย ทำให้ภาคเกษตรต้องมีการปรับตัว ซึ่งปัจจุบันถือเป็นเกษตรกรรมสมัยใหม่ที่มีการนำเครื่องมือเข้ามาช่วยทุ่นแรงเกษตรกร เช่น รถทางการเกษตรต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นรถแทรกเตอร์ รถดำนารถเกี่ยวข้าว รถขนข้าว โดรนพ่นยา ซึ่งช่วยลดระยะเวลาในการทำเกษตรกรรมได้เป็นอย่างมาก การใช้รถทางการเกษตรเหล่านี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อเกษตรกรทั้งความสะดวกและความรวดเร็ว แต่ราคาของรถทางการเกษตรนั้นมีต้นทุนที่สูงมาก เกษตรกรที่มีพื้นที่ทำการเกษตรน้อยไม่สามารถซื้อเพื่อนำมาทำเกษตรกรรมได้ มีเพียงเกษตรกรบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นเกษตรกรส่วนมากจำเป็นต้องจ้างเกษตรกรที่มีรถทางการเกษตรหรือจ้างรถทางการเกษตรจากบริษัทที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการให้บริการทางการเกษตรเพื่อใช้ในการทำเกษตรกรรม

การจ้างรถทางการเกษตรในปัจจุบันส่วนมากจะเป็นการติดต่อผู้ให้บริการเกษตรที่เกษตรกรรู้จักหรือการติดต่อสอบถามจากคนใกล้ตัวของเกษตรกรเพียงเท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันสังคมไทยถือเป็นสังคมที่มีความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก สามารถเข้าถึงข้อมูลหรือติดต่อสื่อสารกับผู้อื่นได้อย่างง่ายดายและรวดเร็ว จนมีการนำสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในหลายๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นสังคมออนไลน์ที่ช่วยให้การติดต่อสื่อสารระยะไกลเป็นเรื่องง่าย การค้นหาต่าง ๆ เช่น

ชื่อของออนไลน์ เช่นหนังสือ เขารถแทรกเตอร์ ซึ่งผู้คนในปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีเหล่านี้ เป็นประจำอยู่แล้ว

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะสร้างเกษตรบริการเพื่อนำเสนอเทคโนโลยีที่จะเป็นตัวช่วยเกษตรกรในการค้นหาและเชื่อมต่อกันระหว่างเกษตรกรและผู้ให้บริการเกษตรทางด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น ผู้ให้บริการรถทางการเกษตร แรงงานทางการเกษตร เกษตรบริการถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับเกษตรกรในการค้นหาผู้ให้บริการเกษตรซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรประหยัดเวลาในการค้นหาผู้ให้บริการเกษตรและสามารถดูรายละเอียดข้อมูลเกี่ยวกับการให้บริการ ตำแหน่งที่อยู่ รวมถึงการเปรียบเทียบราคา ผู้ให้บริการเกษตรแต่ละราย คณะกรรมการให้บริการ ทำให้เกษตรกรมีตัวเลือกในการตัดสินใจว่าจ้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ เกษตรกรยังสามารถประกาศงานในเกษตรบริการ เพื่อให้เหล่าผู้ให้บริการเกษตรสามารถมองเห็นและสามารถส่งคำร้องขอเข้ามาติดต่อให้บริการได้

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สรุปแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย สุ่มรอบแนวคิด

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Smart Farming การนำเทคโนโลยี Internet of things (IOT) หรือระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้ามาช่วยอำนวยความสะดวกให้กับการทำงานของเกษตรกรแบบดั้งเดิม กลายเป็นการเกษตรแบบอัตโนมัติ หรือแบบอัจฉริยะ ทำให้เกิดการลดเวลาทำงาน ลดการใช้แรงงาน เกิดการประมวลผลสารสนเทศเพื่อใช้งานในระบบฟาร์มอย่างอัตโนมัติ โดยสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ จากนั้นมีการควบคุมการใช้งานผ่านอุปกรณ์เพียงหนึ่งเดียว

2.1.2 ปัญหาของภาคเกษตรกรรมไทย เกษตรกรมักจะปลูกพืชเศรษฐกิจตามฤดูกาล เพื่อค้าขายเป็น รายได้หลัก สำหรับการทำเกษตรกรรมนั้น มีขั้นตอนที่ หลากหลาย จำนวนคร่าวๆของเกษตรกรที่ขึ้นทะเบียนเกษตรกร จำแนกรายจังหวัด พ.ศ. 2557 – 2564 เพิ่มขึ้น 17.86 เปอร์เซ็นต์ โดยภาคการเกษตรมีความเชื่อมโยงอุตสาหกรรมของประเทศ เช่น ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย และข้าวโพด ปัจจุบันพื้นที่เพาะปลูกในประเทศไทยประมาณ 71 ล้านไร่ เป็นการปลูกข้าว หรือเกือบครึ่งหนึ่งของพื้นที่สำหรับการถือครองเพื่อการทำเกษตร การแก่ลงของประชากรเกษตรไทย ทำให้ภาคเกษตรต้องมีการปรับตัว

2.1.3 SQL ย่อมาจาก Structured query language คือ ภาษาที่ใช้ในการเขียน โปรแกรม เพื่อการจัดการเกี่ยวกับฐานข้อมูลโดยเฉพาะ เป็นภาษามาตรฐานบนระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ผู้ใช้สามารถใช้คำสั่ง SQL กับฐานข้อมูลชนิดใดก็ได้ และคำสั่งเดียวกันเมื่อสั่งการทำงานผ่านระบบฐานข้อมูลที่แตกต่างกันจะได้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน

2.1.4 Flutter เป็น open-source ในการพัฒนา SDK สร้างขึ้นโดย Google เพื่อใช้ในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับ Android และ iOS โดย Flutter จะเป็นแบบ hybrid-native สามารถใช้งานได้ทั้งบน Android และ iOS ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ native app ภาษาที่ใช้ใน Flutter ก็คือภาษา Dart

2.1.5 Dart เป็นภาษาเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object-oriented) มีลักษณะของการสืบทอด เป็นการสืบทอดแบบเดี่ยว (Single-inheritance) การใช้คลาสเป็นพื้นฐาน (Class-based) การกำหนดแบบชนิดเชิงทางเลือก และยังมีการสนับสนุนการระบุแบบชนิดทั่วไป

2.2 งานวิจัยและแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้อง

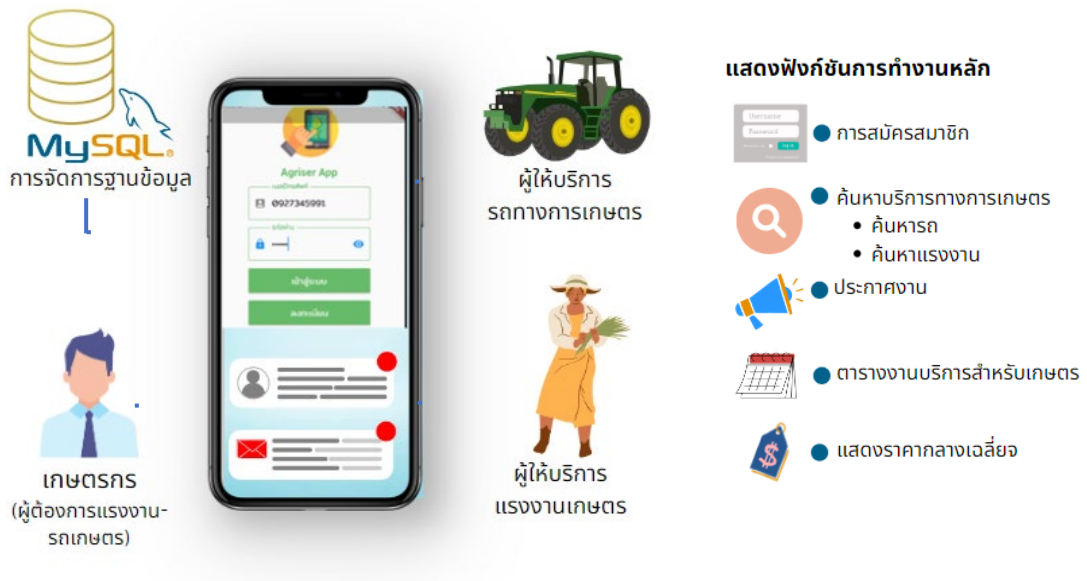
2.2.1 Fixzy Service & Marketplace คือ แอปพลิเคชันที่ใช้สำหรับการค้นหาช่างเกี่ยวกับงานซ่อมบำรุงและงานบริการ ดูแลบ้าน เช่น ระบบน้ำ ระบบไฟ งานโครงสร้าง งานบริการ ล้างแอร์ การกำจัดปลวก หรือทำความสะอาดบ้าน เป็นแอปพลิเคชันที่ยังมีผู้ใช้งานโดยมีจุดเด่น คือ มีผู้ให้บริการที่หลากหลาย ผู้ใช้สามารถเลือกผู้ให้บริการได้ ตกลงราคาก่อนการว่าจ้างได้ แต่ยังคงขาดประเด็นเรื่องของการให้บริการทางการเกษตร

2.2.2 แอปพลิเคชันบริหารจัดการระบบเช่าโดรนเพื่อการเกษตร นายณัฐฤติ แสงมณี และนายสุริยะ โย ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบริหารจัดการระบบเช่าโดรนเพื่อการเกษตร มีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ไขปัญหาการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานและผู้ให้บริการโดรน และเพื่อให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น โดยแอปพลิเคชันได้ถูกพัฒนาขึ้นบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ด้วย Ionic Framework ใช้หลักการพัฒนาแบบ Iterative Model โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ส่วนติดต่อระหว่างผู้ใช้ ส่วนติดต่อระหว่าง แอปพลิเคชันกับฐานข้อมูล (API) และส่วนของฐานข้อมูล โดยมีฟังก์ชันค้นหาผู้ให้บริการ ฟังก์ชันระบุตำแหน่งพื้นที่ ซึ่งจะช่วยลดการเกิดความผิดพลาดในการเดินทางโดยระบบจะเชื่อมโยงเข้ากับแผนที่ของ Google เพื่อแสดงตำแหน่งสถานที่ และรายละเอียดเส้นทางการเดินทางและฟังก์ชันรีวิวการทำงานของผู้ให้บริการซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกผู้ให้บริการที่มีประวัติการให้บริการดี และสามารถทำงานได้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ไม่ครอบคลุมถึงกลุ่มผู้ใช้บริการระบบปฏิบัติการอื่น

2.2.3 ระบบออนไลน์สำหรับบริหารจัดการร้านเช่าหนังสือและโปรโมชั่น นางนัฐชภัทร์ อินทราประสิทธิ์ ได้จัดทำระบบออนไลน์สำหรับบริหารจัดการร้านเช่าหนังสือและโปรโมชั่น มีประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการเช่าและคืนหนังสือ ฟังก์ชันงานที่สำคัญของระบบคือ การคำนวณค่าเช่า ค่าปรับที่สามารถรองรับวันหยุดและโปรโมชั่น เพื่อสนับสนุนการดำเนินงานในธุรกิจ ระบบนี้เป็นเพียงระบบที่ทำงานบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาคือ โปรแกรมภาษา PHP ซึ่งทำงานร่วมกับระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.2 ภาพรวมการทำงานของระบบ

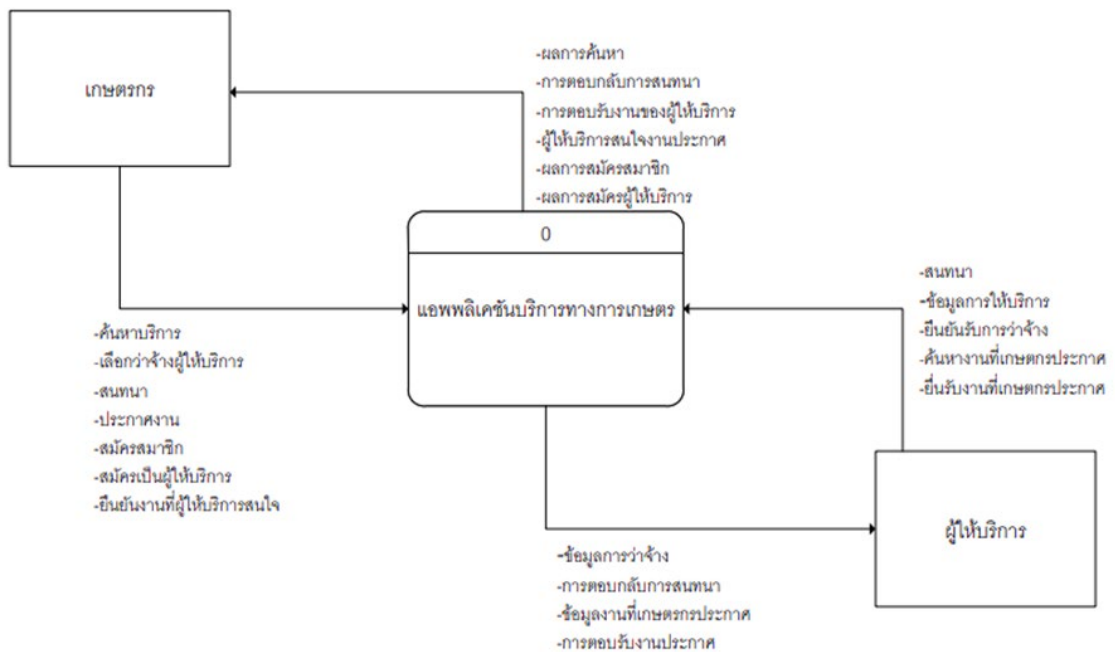


รูปที่ 3.1 การออกแบบความต้องการของระบบ

ฟังก์ชันการทำงานของระบบ ประกอบไปด้วยผู้เกี่ยวข้อง 2 ส่วน คือ เกษตรกร คือ ผู้ต้องรับบริการทางการเกษตร และผู้ให้บริการ คือ ผู้ให้บริการทางการเกษตร (รถทางการเกษตรหรือแรงงาน) ซึ่งเกษตรกรจะเป็นมีฟังก์ชันการค้นหาบริการทางการเกษตร เพื่อติดต่อว่าจ้างผู้ให้บริการ และเกษตรกรสามารถประกาศงานเพื่อให้ผู้ให้บริการสามารถค้นหางาน และติดต่อขอรับงานได้ และการจัดการสิทธิ์ของผู้ใช้จะต้องลงทะเบียนเป็นผู้รับบริการก่อน หากต้องการเป็นผู้ให้บริการให้เลือกลงทะเบียนเป็นผู้ให้บริการจึงจะได้รับสิทธิ์ประกาศงาน ค้นหา และรับงานได้

3.2 การออกแบบการทำงานของระบบด้วยแผนภาพกระแสข้อมูล

ระบบนี้จะทำงานโดยมีใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน เพื่อให้ผู้ใช้งานสะดวกสบายต่อการใช้งานของระบบ จากการศึกษาแอปพลิเคชันเกษตรกรบริการ การทำงานของระบบจะถูกนำเสนอผ่าน Data Flow Diagram (DFD) ฟังก์ชันการทำงานโดยรวมจะแสดงดังภาพต่อไปนี้

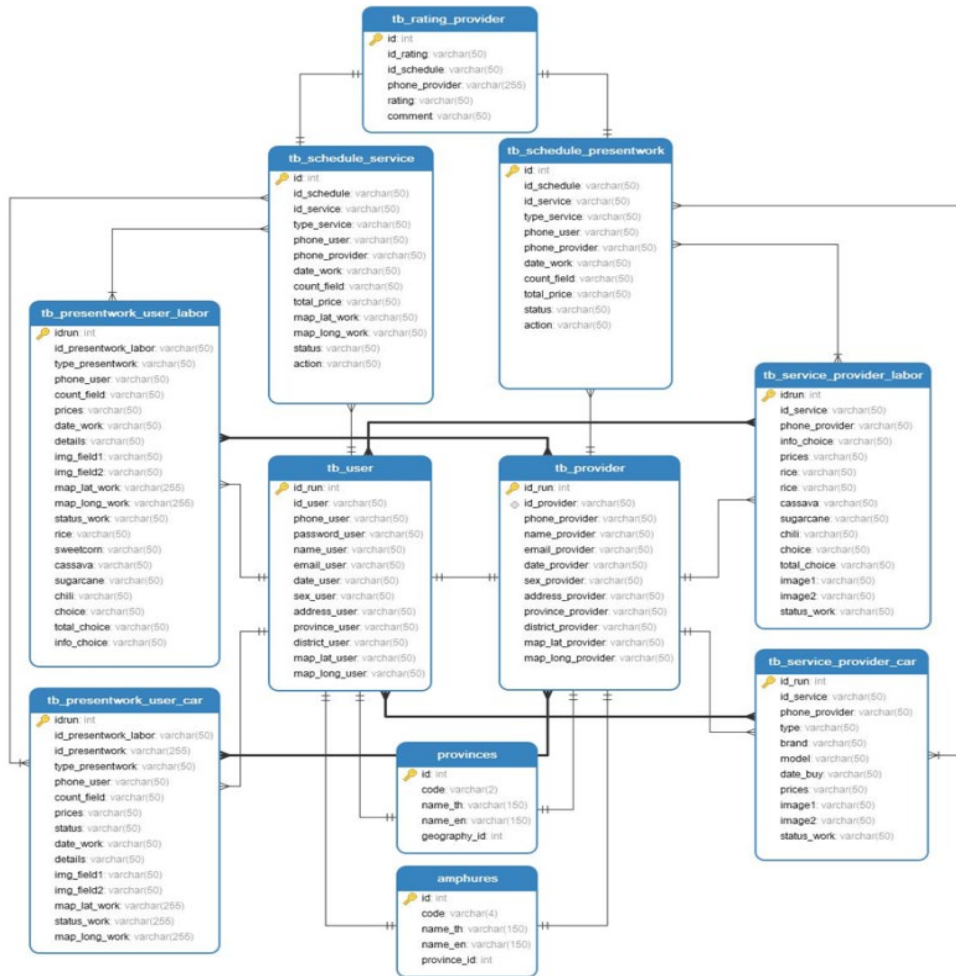


รูปที่ 3.2 Context Diagram แอปพลิเคชันเกษตรบริการ

การแสดงผลรวมการทำงานของระบบด้วยแผนภาพกระแสข้อมูล เพื่อแสดงการไหลของข้อมูลและการประมวลผลต่างๆ ในระบบ สัมพันธ์กับแหล่งเก็บข้อมูลที่ใช้

3.3 การออกแบบฐานข้อมูลด้วยแผนภาพ ER-Diagram

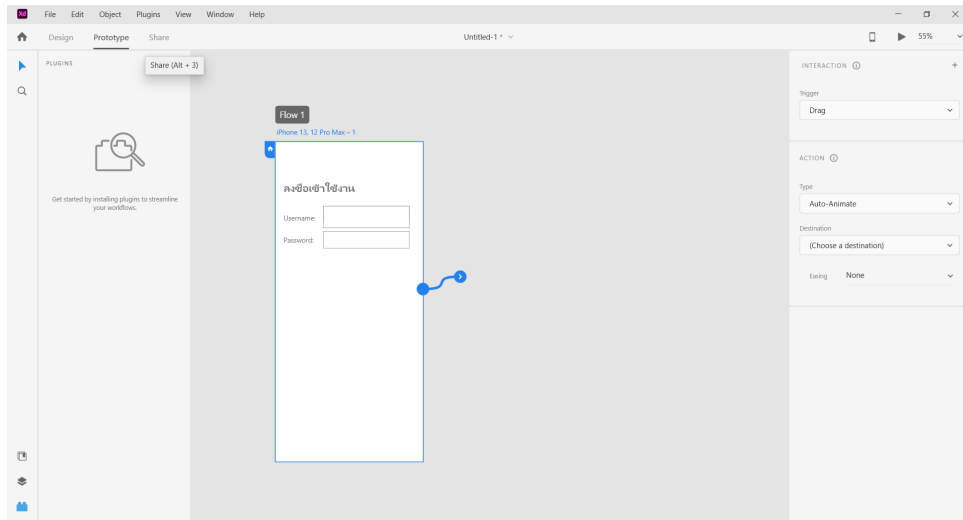
จากการวิเคราะห์กระบวนการทำงานของแอปพลิเคชันเกษตรบริการ ทางผู้พัฒนาจึงได้ออกแบบ ER Diagram เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลภายในฐานข้อมูลโดยรวมดังนี้



รูปที่ 3.3 การออกแบบฐานข้อมูล

การออกแบบฐานข้อมูลด้วยโปรแกรมการจัดการฐานข้อมูล MySQL Workbench เพื่อให้เห็นภาพรวมความสัมพันธ์ของข้อมูลในการจัดการฐานข้อมูล โดยมีการจัดการ SQL Development สำหรับการจัดการ Connection และตารางฐานข้อมูล เช่น การสร้างตาราง การลบตาราง เป็นต้น ส่วน Data Modeling เป็นการสร้าง EER Model โดยใช้ Table ที่ได้ออกแบบไว้ และ Server Administration เป็นการจัดการเกี่ยวกับส่วน Admin และการ Import/Export SQL

3.7 การออกแบบส่วนประสานการทำงานกับผู้ใช้ (User Interface) ด้วยโปรแกรม Adobe XD

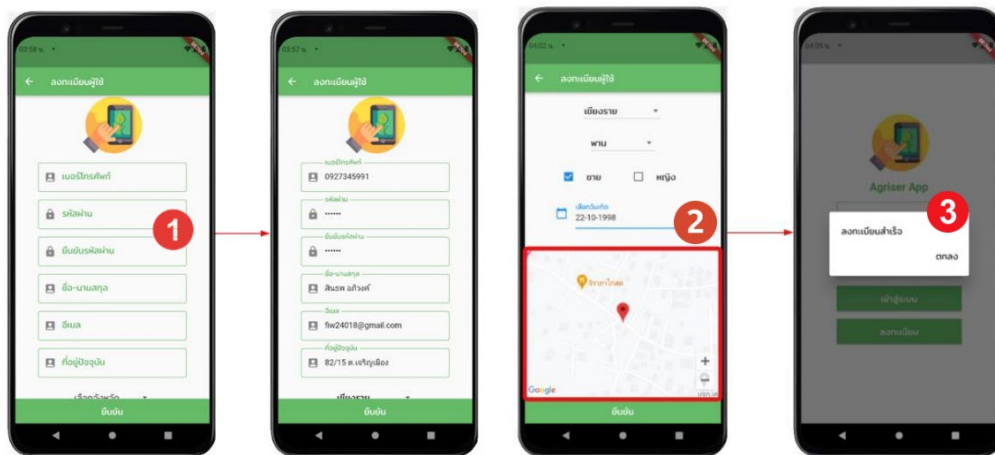


รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการออกแบบส่วนประสานการทำงานกับผู้ใช้ (User Interface) ด้วยโปรแกรม Adobe XD

Adobe Experience Design หรือ Adobe XD เป็น เครื่องมือสำหรับงานออกแบบ ในส่วนของประสบการณ์ของผู้ใช้งาน UX Design ซึ่งเป็นการมองมุมมองต่อการใช้งานของผู้ใช้งาน (Usability) และการเข้าถึง (Accessibility) โดยทั่วไปมักจะโยงในความหมายของการใช้งานของระบบงาน ที่มองถึงประสบการณ์การสร้างปฏิสัมพันธ์ของผู้ใช้งาน (User) ต่อการใช้งานระบบงาน จุดเด่น คือ สามารถออกแบบ Prototype และ Graphic UI ได้ สามารถทำงานได้ทั้งในส่วนของ Web Design และ Mobile App Design

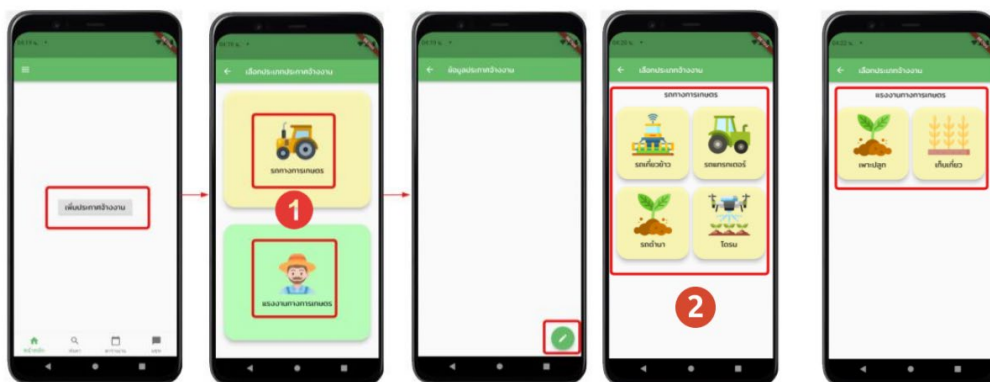
4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรม



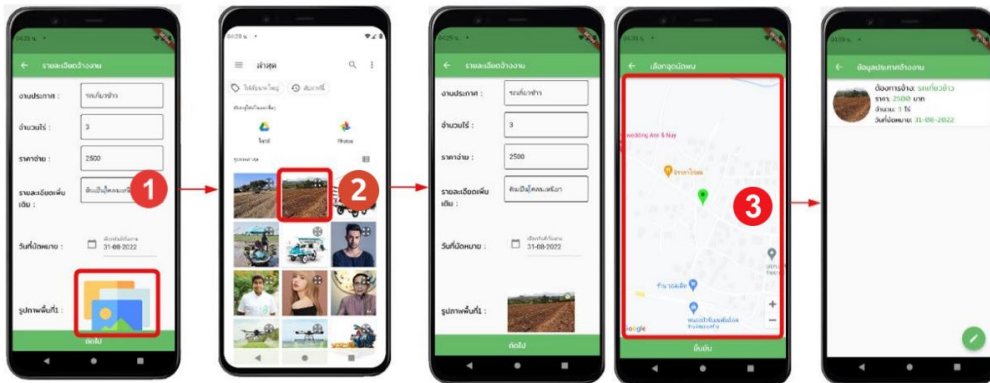
รูปที่ 4.1 หน้าจอฟังก์ชันการสมัครสมาชิกและกรอกข้อมูลสมาชิก

ฟังก์ชันการสมัครสามารถทำได้ดังนี้ 1) กรอกข้อมูลส่วนตัวลงในฟอร์มการสมัคร 2) เลือกตำแหน่งที่อยู่จากแผนที่ 3) กดยืนยันการสมัคร



รูปที่ 4.2 หน้าจอฟังก์ชันฟังก์ชันการลงทะเบียนประกาศงาน

ฟังก์ชันการลงทะเบียนประกาศงานสามารถทำได้ดังนี้ 1) เลือกประเภทของงานที่ประกาศ 2) แสดงการเลือกประเภทงานประกาศ



รูปที่ 4.3 ข้อมูลการประกาศการจ้างงาน

ฟังก์ชันรายละเอียดการจ้างงาน 1) กรอกข้อมูลลงในฟอร์ม 2) เลือกรูปภาพ 3) เลือกจุดนัดพบและยืนยันการสร้างงานประกาศ



รูปที่ 4.4 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับสถานะงานและข้อมูลงานบริการที่ติดต่อและการให้คะแนน

ฟังก์ชันตารางงานบริการ 1) เลือกดูข้อมูลและสถานะงานบริการที่ติดต่อ 2) แสดงการให้คะแนนผู้ให้บริการเมื่องานเสร็จสิ้น

4.1 การทดสอบการทำงานของระบบด้วยวิธี Unit Testing หรือ Integration Testing คือการทดสอบรวมของระบบ (Integration Testing) ว่าแต่ละฟังก์ชันสามารถทำงานด้วยกันอย่างดีไม่มีปัญหาหรือไม่ หรือการทดสอบระบบโดยแบ่งออกเป็น ส่วน ๆ (Unit Testing) ว่าแต่ละฟังก์ชันสามารถทำงานได้ถูกต้องหรือไม่ ซึ่งการทดสอบในระดับนี้ จะเป็นการทดสอบด้วยโปรแกรมที่ถูกเขียน Code ขึ้นมาเพื่อทำการทดสอบ software โดยเฉพาะ โดยยกตัวอย่างการทดสอบฟังก์ชันการเข้าสู่ระบบเกษตรกร ดังนี้

ตารางที่ 4.1 จำแนกชนิดการป้อนข้อมูล เบอร์โทรศัพท์ และรหัสผ่าน ของฟังก์ชันการเข้าสู่ระบบเกษตรกร

id	Specification Condition	Valid	Class	Invalid	Class
1	อักขระ (เบอร์โทรศัพท์ รหัสผ่าน)	0-9	1		
		[0-9,a-z ,ก-ฮ,อักขระพิเศษ]	2		
2	ความยาวอักขระ (เบอร์โทรศัพท์ รหัสผ่าน)	เท่ากับ 10 ตัว	4	ไม่เท่ากับ 10 ตัว	5
		มากกว่า 0 ตัว	6	น้อยกว่า 1 ตัว	7

5. สรุปและอภิปรายผล

จากการพัฒนาแอปพลิเคชันเกษตรกรบริการให้เป็นที่ไปตามขอบเขตและวัตถุประสงค์ของระบบ ซึ่งเป็นระบบการจับคู่กันระหว่างเกษตรกรและผู้ให้บริการเกษตรกร เพื่อติดต่อว่าจ้างสำหรับการทำางานเกษตรกรรม โดยภายในระบบจะแบ่งผู้ใช้ออกเป็น 2 ส่วนคือ เกษตรกร และผู้ให้บริการ โดยจะมีฟังก์ชันการใช้งานแตกต่างกันออกไป

1) เกษตรกร จากหน้าการใช้งานเกษตรกร เกษตรกรสามารถเลือกประกาศงานเพื่อสร้างงานประกาศสำหรับงานเกษตรกรรมที่ต้องการได้ ซึ่งสามารถระบุข้อมูลราคาจ้าง วันที่ต้องการนัดหมายหรือบอกรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับงานประกาศ เพื่อให้ผู้ให้บริการสามารถเข้ามาติดต่อขอรับงาน อีกทั้งเกษตรกรยังสามารถค้นหาบริการทั้งรถทางการเกษตรและแรงงานทางการเกษตรภายในระบบได้ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการค้นหาและตัดสินใจผ่านขอบเขตที่ได้กำหนดต่างๆ เช่น ราคาหรือข้อมูลเกี่ยวกับผู้ให้บริการ ส่วนตารางงานนั้นจะเป็นการจัดการค่าขอต่างๆระหว่างเกษตรกรและผู้ให้บริการ

2) ผู้ให้บริการ จากหน้าการใช้งานผู้ให้บริการ ผู้ให้บริการสามารถเลือกลงทะเบียนบริการได้เพื่อสร้างบริการไว้สำหรับงานเกษตรกรรม ซึ่งสามารถระบุ ราคา ข้อมูลเกี่ยวกับการบริการได้เพื่อให้เกษตรกรสามารถค้นหาผ่านระบบและติดต่อทำการว่าจ้าง อีกทั้งผู้ให้บริการก็สามารถค้นหาประกาศของเกษตรกรได้เพื่อติดต่อขอรับงานประกาศซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับผู้ให้บริการในการหารายได้ และผู้ให้บริการก็มีส่วนของตารางงานสำหรับการจัดการค่าขอต่างๆระหว่างเกษตรกรและผู้ให้บริการ

5.1 สรุปผลการประเมินความพึงพอใจ

ผลการประเมินความพึงพอใจทางผู้จัดทำได้แบ่งออกเป็น 2 ด้านคือ

5.1.2 ด้านการติดต่อประสานกับผู้ใช้งาน

เป็นส่วนของการประเมินเกี่ยวกับด้าน UI เช่น การแสดงข้อมูล ข้อความ ตัวอักษร การจัดวางลำดับต่างๆ ความน่าสนใจน่าใช้งาน ได้คะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.5 คะแนนซึ่งอยู่ในระดับดีค่อนข้างมาก

5.2.2 ด้านการใช้งานแอปพลิเคชัน

เป็นส่วนของการประเมินเกี่ยวกับการใช้งานแอปพลิเคชัน เช่น ความสะดวกในการใช้งาน ความครอบคลุมการใช้งานของแอปพลิเคชัน การแสดงผลที่ถูกต้อง ได้คะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 4 คะแนนซึ่งอยู่ในระดับดี

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ

5.3.1 การพัฒนาในช่วงแรกมีการศึกษาตาม YouTube และ Web ต่างๆ บาง Method ที่ใช้งานนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามเวอร์ชันของภาษาที่เขียนทำให้ไม่สามารถเรียกใช้งานได้อย่างถูกวิธี วิธีแก้ไขคือดูวิธีการใช้ Method ในเวอร์ชันที่เปลี่ยนแปลง

5.3.2 การเรียกใช้ API google map นั้นมีค่าใช้จ่ายสำหรับการเรียกใช้ ซึ่งทางผู้จัดทำใช้ฟรีสำหรับการสมัครบริการที่ผูกบัตรเครดิตครั้งแรก หากใช้ API จนครบ จะต้องต่อรายเดือนละ 3000 บาท วิธีแก้ไขคือทำการสมัครบริการอีกหนึ่ง Account และทำการผูกบัตรเครดิตเพื่อรับยอดการใช้ API ฟรี

5.3.3 ฐานข้อมูลของระบบมีความซับซ้อน ทำให้ระหว่างการพัฒนาได้มีการออกแบบ ฐานข้อมูลที่ผิดพลาดสำหรับการใช้งาน วิธีแก้ไขคือศึกษาเรื่องของการวางข้อมูลในระบบ หรือทำซ้ำๆจนเข้าใจเกี่ยวกับข้อมูลในระบบที่สัมพันธ์กัน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี ขอขอบคุณทีมงานอาจารย์และนักศึกษาในหลักสูตรทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงาน อนึ่งคณะผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่มากนักน้อย และหากมีข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น ยินดีรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

แผนการพัฒนาโลกเพื่อความยั่งยืน. สืบค้นจาก <https://th.linkedin.com/> (สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2566).

Wattana S. Fixzy. [จำนวน 7 หน้า]. สืบค้นจาก <https://www.iphone-droid.net/fixzyapplication/> (สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2562).

SQL Workbench. สืบค้นจาก <https://medium.com/@fonfahkhum/> (สืบค้นเมื่อ 28 มิถุนายน 2566)

โปรแกรม Adobe Experience Design (Adobe XD). สืบค้นจาก <https://www.codemobiles.co.th/online/course.php?id=xd> (สืบค้นเมื่อ 28 มิถุนายน 2566)

นายณัฐวุฒิ แสงมณี และนายสุริยะ โส. แอปพลิเคชันบริหารจัดการระบบเช่าโดรนเพื่อการเกษตร. ปรินต์
วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์.มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ เชียงราย; 2560.



CONFERENCE ON RESEARCH
& CREATIVE INNOVATIONS
การประชุมวิชาการ
วิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์



Proceeding CIRCi 2023

เล่ม 1 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 9 ประจำปี 2566
The 9th Conference on Research and Creative Innovations 2023

วันที่ 25-26 กรกฎาคม 2566
ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติ โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่



02-SCI

งานวิจัย ด้าน วิทยาศาสตร์ กายภาพ
สุขภาพ และชีวภาพ

**การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เชิงกล และเชิงแสง
ของกระดาษใช้ซ้ำโดยการเคลือบด้วยสารผสมจากถ่านชีวภาพ
สำหรับผลิตภัณฑ์ห่อมะม่วงก่อนเก็บเกี่ยว**

สุจิตตรา อินทอง^{1*} วาทิน ทองวิค² รัตชดา ศรีวิจิ² ประรณนา อินตะวิน³
รตบงกช แสนจุ่ม⁴ และฉัตรชัย เครืออินทร์²

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก
ต.บ้านกร่าง อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

³คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12110
⁴โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี
ต.พลวง อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี 22210

*s.inthong@rmutl.ac.th, 0823858944

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของสารผสมจากถ่านชีวภาพและวิธีการเคลือบที่ใช้เคลือบกระดาษใช้ซ้ำสำหรับการนำมาออกแบบและประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์ห่อมะม่วงก่อนเก็บเกี่ยว จากผลการศึกษาพบว่า การเคลือบคาร์บอนจากถ่านชีวภาพที่ได้จากเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรบนกระดาษใช้ซ้ำที่อัตราส่วนผสมของผงถ่านชีวภาพ 15 กรัม ต่อ เรซิน 100 กรัม โดยใช้วิธีการเคลือบแบบสกรีน 60 รอบ (SR-60) จะให้ค่าการทนต่อแรงดึงสูงสุด หลังจากที่ผ่านมาการตากแดดนาน 1 เดือนที่ 97.086 นิวตัน และค่าระยะยืดสูงกว่ากระดาษคาร์บอนทางการค้า ค่าการส่องผ่านของแสงในช่วงแสงขาวและรังสียูวีของกระดาษเคลือบคาร์บอนเงื่อนไข SR-60 เท่ากับกระดาษเคลือบทางการค้า และกระดาษเคลือบคาร์บอน SR-60 แสดงค่าร้อยละการดูดซับน้ำที่ร้อยละ 23 ซึ่งน้อยกว่ากระดาษเคลือบทางการค้า ในเวลาที่เท่ากัน กระดาษเคลือบคาร์บอน SR-60 มีความเหมาะสมในการนำไปพัฒนาประดิษฐ์เป็นผลิตภัณฑ์ห่อมะม่วงก่อนเก็บเกี่ยว เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้

คำสำคัญ การเคลือบ ถ่านชีวภาพ ถุงห่อมะม่วง

Improvement of physical, mechanical and optical properties of reuse paper by coating mixed biochar-based material for pre-harvest mango wrapping products

Suchittra Inthong^{1*} Wathin Thongwik² Radchada Sriwichi² Pratthana Intawin³
Ratabongkot Sanjoom⁴ and Chatchai Kruea-in²

¹Faculty of Sciences and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology
Lanna Phitsanulok Campus, Ban Krang, Mueang District, Phitsanulok 65000

²Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chang Puak,
Mueang District, Chiang Mai 50300

³Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong6,
Khlong Luang District, Pathum Thani 12110

⁴Establishment Project Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of
Technology Tawan-ok Chanthaburi Campus, Phluang, Khao Khitchakut District, Chanthaburi 22210

*s.inthong@rmutl.ac.th, 0823858944

Abstract

The purpose of this research was to compare the ratio of mixed biochar-based coating material and coating methods used for reuse paper coating for the design and fabrication of pre-harvest mango wrapping products. The results showed that carbon coating from biochar derived from agricultural wastes on reuse paper at a mixing ratio of 15 g of biochar per 100 g of resin and 60 cycle screen coating method (SR-60) offered the maximum tensile force at 97.086 N after drying in daylight for a month. The elongation length was higher than commercial carbon paper. The light transmittance luminance white light and UV ranges of SR-60 carbon coating paper was the same as that of commercial carbon paper. SR-60 samples exhibited a 23 percent water absorption property which was less than commercial carbon paper using the same duration. Therefore, the carbon coating paper SR-60 is suitable for the development and invention of wrapping material for pre-harvested mangoes in order to add value to Barracuda mango products.

Keywords: Coating Biochar Mango wrapping bag

1. บทนำ

จากสถานการณ์ในปัจจุบัน และแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในอนาคตปัญหาหนึ่งของประเทศไทย โดยเฉพาะภาคเหนือคือปัญหาสภาวะหมอกควัน P.M. 2.5 (เศรษฐ์, 2565) ที่เกิดขึ้นในช่วงปลายฤดูหนาวจนถึงฤดูร้อน ซึ่งปัญหานี้ส่งผลโดยตรงกับสภาพภูมิทัศน์ ภูมิอากาศ และสภาวะในด้านสุขภาพจะส่งผลโดยตรงกับสุขภาพ โดยเฉพาะจะเกิดขึ้นตรงกับกลุ่มเปราะบาง เช่น ผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจ ผู้ชรา และเด็ก อีกทั้งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนโดยทั่วไป ก่อให้เกิดโรคที่เกี่ยวกับทางเดินหายใจ และโรคที่มีผลสืบเนื่องมาจากปัญหาสภาวะหมอกควัน ซึ่งสภาวะหมอกควันที่เกิดขึ้นเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ไฟป่า การเผาขยะมูลฝอยจากชุมชน การเผาวัชพืชริมทาง การก่อสร้างและโรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลต่าง ๆ และการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อเป็นการบรรเทาหรือลดปัญหาสภาวะหมอกควัน จึงควรมีวิธีการหรือกระบวนการในการลดสาเหตุของปัญหาสภาวะหมอกควัน และเพิ่มมูลค่า เช่น การลดการเผาขยะมูลฝอยจากชุมชน ควรมีการคัดแยกเพื่อนำขยะเหล่านั้นไปกำจัดอย่างถูกวิธี หรือนำมาแปรรูปใช้ใหม่ (recycle) หรือนำมาใช้ซ้ำ (reuse) ได้ การลดการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ในที่โล่งที่ทำให้หมอกควันโดยตรง โดยนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ส่วนหนึ่งมาจัดทำเป็นปุ๋ยหมักในส่วนของวัสดุที่ย่อยสลายง่าย และส่วนที่เหลือนำมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพ โดยการเผาภายใต้เตาเผาที่ใช้ออกซิเจนต่ำลดการเกิดควัน ได้ถ่านชีวภาพที่มีปริมาณคาร์บอนสูงและรุกรุนมาก เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ ต่อไป ประกอบกับผลไม้บางชนิด เช่น มะม่วง ลิ้นจี่ และอินทผลัม จำเป็นต้องมีผลิตภัณฑ์ห่อเพื่อให้ได้สีของเปลือกผลไม้ตามต้องการ ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ห่อทำมาจากกระดาษเคลือบเพื่อลดความเข้มของแสงที่มากกระทบผิวของผลไม้แต่ละชนิด โดยเฉพาะมะม่วง ผลิตภัณฑ์ห่อต้องมีความเข้มแสงที่ส่องผ่านน้อยมากจึงจะทำให้ผิวของมะม่วงสวยตามความต้องการของตลาด ซึ่งผลิตภัณฑ์ห่อที่มาจากถ่านคาร์บอนได้รับความพึงพอใจจากผู้บริโภคในด้านสีผิวเปลือกและสีเนื้อ (เจนจิรา, 2561)

จากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้นทำให้คณะผู้วิจัยมีแนวคิดในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของกระดาษใช้ซ้ำโดยการเคลือบด้วยสารผสมถ่านชีวภาพสำหรับผลิตภัณฑ์ห่อมะม่วงก่อนเก็บเกี่ยว เนื่องจากการลดภาวะปัญหาหมอกควันจากสาเหตุโดยตรง อีกทั้งยังสามารถพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยได้เป็นนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ห่อมะม่วงก่อนเก็บเกี่ยว ลดรายจ่ายในการซื้อผลิตภัณฑ์ห่อมะม่วง และเพิ่มมูลค่าของขยะมูลฝอยและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของสารผสมจากถ่านชีวภาพและวิธีการเคลือบที่ใช้เคลือบกระดาษใช้ซ้ำในการนำมาออกแบบและประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์ห่อมะม่วงก่อนเก็บเกี่ยว

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

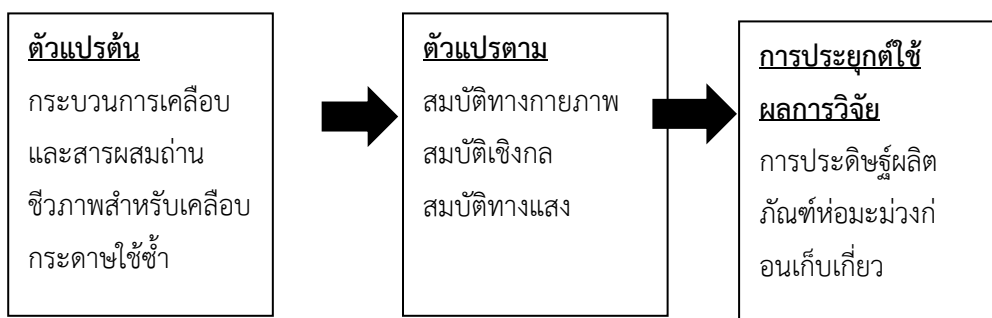
ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันกระดาษมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการเป็นวัสดุบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ที่มีลักษณะเป็นลายลักษณ์อักษร กระดาษนอกจากจะใช้ในการบันทึกข้อมูลแล้ว ยังสามารถใช้ทางด้านการทำเป็นบรรจุภัณฑ์ และทางการชำระล้าง กระดาษที่ใช้บันทึกข้อมูลนี้มีลักษณะเป็นแผ่นบางผลิตจากเส้นใยซึ่งมาจากพืชผสมกับสารเติมแต่งต่าง ๆ (จิราพร, 2564) เพื่อให้ได้กระดาษตามต้องการในกระบวนการผลิต ปัจจุบันมีการรายงานการใช้กระดาษของคนไทยปีละเฉลี่ย 3.9 ล้านตัน เมื่อคิดเทียบต่อคนพบว่ามีการใช้กระดาษมากถึง 60 กิโลกรัมต่อปีต่อคน ซึ่งผลิตจากต้นไม้โดยประมาณ 66.3 ล้านต้นต่อปี (คู่มือ การลดใช้กระดาษ, 2560) นอกจากนี้ในการผลิตกระดาษจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำ สารฟอกกระดาษ ซึ่งเสียไปเป็นต้นทุนในการผลิตกระดาษ โดยกระดาษเหล่านั้นเมื่อใช้แล้วจะกลายเป็นขยะ ตามสถิติคนไทยเราทิ้งขยะรวมกันทั่วประเทศวันละ 40,000 ตัน ขยะเหล่านั้นบางส่วนสามารถนำกลับมาทำให้เกิดมูลค่าได้ ซึ่งสามารถแยกได้เป็นกระดาษร้อยละ 19 พลาสติกร้อยละ 13 แก้วร้อยละ 8 โลหะร้อยละ 5 จะเห็นได้ว่าขยะกระดาษมีส่วนมากที่สุดที่เป็นขยะที่มูลค่า ดังนั้นถ้ามีการใช้แนวคิด 3R ได้แก่ ลดการใช้ (reduce) ใช้ซ้ำ (reuse) และแปรรูปใช้ใหม่ (recycle) ในการสร้างระบบ กลไก กับกระดาษ จะทำให้ลดการผลิตกระดาษใหม่ที่ต้องใช้ทรัพยากรจำนวนมากและลดมลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตและการกำจัด ในการจัดการกับขยะกระดาษวิธีการหนึ่งที่สะดวก ไม่ต้องมีกระบวนการที่ซับซ้อน ไม่ต้องใช้ทรัพยากรในการแปรรูปใช้ใหม่ คือการใช้ซ้ำ เช่น การนำกระดาษที่ใช้หน้าเดียวมาทำเป็นสมุดจดทำเป็นงานศิลปะและของตกแต่ง

ถ่านชีวภาพ หรือ ไบโอชาร์ (Biochar) คือวัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอน ผลิตจากชีวมวล (Biomass, วัสดุ เหลือใช้จากการเกษตร เช่น เปลือกผลไม้ ฟางข้าว ชังข้าวโพด เป็นต้น) ผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนโดยไม่ใช้ออกซิเจน หรือใช้น้อยมาก (ไพโรไลซิส, Pyrolysis) ซึ่งมีสองวิธีหลัก ๆ คือการ แยกสลายอย่างรวดเร็วและอย่างช้า การผลิตถ่านชีวภาพด้วยวิธีการแยกสลายอย่างช้าที่อุณหภูมิเฉลี่ย 500 องศาเซลเซียส ได้ผลผลิตของถ่านชีวภาพมากกว่าร้อยละ 50 โดยใช้เวลานาน ซึ่งต่างจากวิธีการแยกสลายอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิเฉลี่ย 700 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาเป็นวินาทีผลผลิตที่ได้จะเป็นน้ำมันชีวภาพ (bio-oil) ร้อยละ 60 แก๊สสังเคราะห์ (syngas) ร้อยละ 20 และถ่านชีวภาพ ร้อยละ 20 ถ่านชีวภาพแตกต่างจากถ่านทั่วไป (charcoal) ตรงจุดมุ่งหมายการใช้ประโยชน์คือถ่านทั่วไปจะหมายถึงถ่านที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง ขณะที่ไบโอชาร์คือถ่านที่ใช้ประโยชน์เพื่อกักเก็บคาร์บอนลงในดิน และปรับปรุงสภาพทางกายภาพของดิน เนื่องจากสมบัติเด่นของถ่านชีวภาพ คือมีรูพรุนตามธรรมชาติ เมื่อใส่ลงในดินจะช่วยการระบายอากาศ ดูดตรึงธาตุอาหาร เป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ ลดความเป็นกรดของดิน นอกจากนี้ถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนที่สูง มีสีดำ สามารถบดได้ผงที่มีอนุภาคเล็ก เมื่อนำไปผสมกับสารยึดติดชนิดต่าง ๆ สามารถสร้างเป็นของผสมใช้ประโยชน์ในด้านเคลือบผิวที่ดำได้เป็นอย่างดี

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) เป็นพืชอยู่ในวงศ์ Anacardiaceae เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ลำต้นตรงมีกิ่งก้านแผ่ออกเป็นทรงพุ่มที่แน่นทึบ ปัจจุบันมะม่วงได้เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางและชาวต่างประเทศนิยมบริโภคกันมากขึ้น จึงมีการผลิตมะม่วงในเชิงการค้าเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับความต้องการมะม่วงทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศที่ปริมาณสูงขึ้น ทำให้มะม่วงกลายเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่ง เพราะได้มีการส่งออกมะม่วงไปจำหน่ายในต่างประเทศ เป็นสินค้าส่งออกที่สร้างมูลค่านำเงินเข้าประเทศปีละหลายล้านบาท ชาวต่างชาตินิยมรับประทานมะม่วงจากประเทศไทย เพราะมีรสชาติดี กลิ่นหอมรับประทานและคุณค่าทางโภชนาการสูง มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จัดเป็นพันธุ์ที่เป็นที่นิยมของตลาด มีศักยภาพสูงในการส่งออกในปัจจุบัน โดยเฉพาะในตลาดเอเชียและอเมริกา (ธวัชชัย, 2553) ซึ่งในปัจจุบันปริมาณผลผลิตคุณภาพดียังไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด โดยลักษณะของผลผลิตที่มีคุณภาพดีจะต้องมีรูปร่างสวย สีผิวมีความสม่ำเสมอ มีผิววนลไม่มีลักษณะต่างหรือลาย ไม่มีร่องรอยการทำลายของแมลงและโรค ไม่ช้ำหรือมีตำหนิบนผิวดังนี้ เกษตรผู้ปลูกมะม่วง จึงจำเป็นต้องศึกษาความรู้เกี่ยวกับเทคนิควิธีการผลิตมะม่วงให้ได้คุณภาพตรงตามมาตรฐานหรือความต้องการของแต่ละประเทศที่กำหนดไว้ วิธีหนึ่งที่ใช้เพื่อควบคุมคุณภาพ คือ การใช้ถุงห่อผลมะม่วงบนต้นขณะกำลังเจริญเติบโต เพื่อลดการเข้าทำลายของแมลงอันตรายและเพลี้ยชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะการห่อมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยถุงคาร์บอน ทำให้ได้มะม่วงที่สีสวย ไม่มีตำหนิ นำรับประทาน มะม่วงลักษณะนี้จึงเป็นที่ต้องการของท้องตลาด ปัจจุบันถุงห่อผลไม้มีการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยมีคุณภาพและราคาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งานของเกษตรกร

การเคลือบกระดาษเป็นการนำสารสารยึดเกาะมาห่อหุ้มผิวด้านนอกของกระดาษแล้วทำให้แห้งและเรียบโดยวิธีการต่าง ๆ สารที่ใช้เคลือบโดยทั่วไปจะเป็นวัสดุจำพวก แป้ง น้ำยางสังเคราะห์ และสารสี ที่ผสมกับตัวยึดเกาะ (ชูเกียรติ 2561, Howard 2015, Sharma 2020) ทำให้ได้กระดาษที่มีสมบัติตามต้องการ ได้แก่ ความเรียบ ความแข็ง ความเหนียว สี สมบัติสำหรับการพิมพ์ การต่อต้านแบคทีเรีย และการต้านทานน้ำและไขมัน (กิตติมา 2552, ณัฏพร 2559) ที่ต้องการเป็นต้น

กรอบแนวคิดการวิจัย



3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างกระดาษเคลือบคาร์บอนและการเตรียมสารผสม

กระดาษที่ใช้สำหรับการทดลองได้มาจากกระดาษขนาด A4 ที่ใช้งานแล้วทั้ง 2 ด้านหรือกระดาษใช้ซ้ำ (Reuse paper; RP) โดยนำมาเคลือบผงคาร์บอนที่ได้จากถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ใบมะม่วง, เปลือกทุเรียน, เปลือกมังคุด) ในการการวิจัยนี้ทำการเคลือบผงคาร์บอนบนกระดาษ 2 วิธี คือ 1) การเคลือบด้วยวิธีการทาด้วยแปรง และ 2) การเคลือบด้วยวิธีการสกรีนผ่านผ้าสกรีน โดยตัวเชื่อมประสานที่ใช้คือเรซินในรูปแบบของเหลวและผงกำอารบิกละลายในน้ำกลั่น รายละเอียดของส่วนผสมแต่ละเงื่อนไขของชิ้นงานตัวอย่างแสดงในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้กับถุงกระดาษคาร์บอนทางการค้าที่มีการใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์ห่อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เกษตรกรใช้เพื่อให้ผลผลิตมีสีเหลืองสวยงามสม่ำเสมอ ผิวเรียบ ไม่มีรอยขีดข่วน ป้องกันการรบกวนจากแมลง เพิ่มมูลค่าแก่ผลผลิตที่ได้ ส่งผลให้ขายมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ราคาสูงขึ้น หรือเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลมะม่วงสำหรับส่งออกขายในต่างประเทศ

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์และเงื่อนไขของชิ้นงานตัวอย่างในการทดลองเคลือบด้วยวิธีการทา

รายละเอียดเงื่อนไขการทดลองสำหรับการเคลือบด้วยวิธีการทา					
สัญลักษณ์	ถ่านชีวภาพ	เรซิน	สัญลักษณ์	ถ่านชีวภาพ	กำอารบิก - น้ำกลั่น
	พ				
R-1	2 กรัม	50 กรัม	G-1	2 กรัม	15 กรัม - 15 กรัม
R-2	4 กรัม	50 กรัม	G-2	4 กรัม	15 กรัม - 15 กรัม
R-3	6 กรัม	50 กรัม	G-3	6 กรัม	15 กรัม - 15 กรัม

ตารางที่ 2 สัญลักษณ์และเงื่อนไขของชิ้นงานตัวอย่างในการทดลองเคลือบด้วยวิธีการสกรีน

รายละเอียดเงื่อนไขการทดลองสำหรับการเคลือบด้วยวิธีการสกรีน							
สัญลักษณ์	ถ่าน ชีวภาพ	เรซิน	จำนวน รอบ	สัญลักษณ์	ถ่าน ชีวภาพ	กัมอาร์บิก - น้ำกลั่น	จำนวน รอบ
SR-20	15 กรัม	100 กรัม	20	SG-10	15 กรัม	100 กรัม - 100 กรัม	10
SR-40	15 กรัม	100 กรัม	40	SG-20	15 กรัม	100 กรัม - 100 กรัม	20
SR-60	15 กรัม	100 กรัม	60	SG-30	15 กรัม	100 กรัม - 100 กรัม	30

3.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบการต้านแรงดึงจนขาด (Tensile strength) และระยะยืดสูงสุดของชิ้นงานก่อนฉีกขาดของกระดาษเคลือบคาร์บอนในแต่ละเงื่อนไข ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการต้านแรงดึง (Tensile Machine; รุ่น ITO-1065A ยี่ห้อ BEMACS) ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีขนาด (กว้าง×ยาว) 1.5×10 เซนติเมตร อัตราการผิดรูป 12.5 เซนติเมตรต่อนาที การทดสอบแรงดึงนี้เป็นการทำให้ชิ้นงานทดสอบอยู่ภายใต้สภาวะยืดและเกิดการเสียรูปจากแรงที่กระทำ การตรวจวัดการเสียรูปจะวัดจากการเปลี่ยนแปลงความยาวของระยะทดสอบ (Gauge length) เทียบกับระยะทดสอบเริ่มต้น ซึ่งการวิจัยนี้จะทำการทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง คือชิ้นงานตัวอย่างก่อนนำไปตากแดด ชิ้นงานตัวอย่างหลังจากนำไปตากแดดตามธรรมชาติเป็นระยะเวลา 1 เดือน และชิ้นงานตัวอย่างหลังจากนำไปตากแดดตามธรรมชาติเป็นระยะเวลา 2 เดือน เพื่อทดสอบความคงทนของกระดาษเคลือบคาร์บอนแต่ละเงื่อนไขตามแบบจำลองสถานการณ์การใช้งานจริง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้อิงไปวิเคราะห์ผล

3.3 การทดสอบสมบัติทางแสง

การทดสอบความสามารถในการส่องผ่านของแสงสีขาวและรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ของชิ้นงานตัวอย่างกระดาษเคลือบคาร์บอนโดยประเมินค่าจากความเข้มแสงที่วัดได้จากเครื่องวัดความเข้มแสง (Lux meter TESTO 545) และสเปกโตรมิเตอร์ (Digital Spectrometer LD with Absorption Chamber 3B Scientific) ทดสอบในช่วงความยาวคลื่น 380-800 nm การทดสอบจะจัดให้ชิ้นงานตัวอย่างและหัววัดแสงสีขาวหรือหัววัดแสงยูวีอยู่ภายในบริเวณที่กันแสงจากแหล่งอื่นทะลุผ่าน นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าความสามารถ

ในการส่องผ่านของแสงสีขาวยุติและรังสียูวี จากความเข้มแสงที่ตกกระทบผ่านกระดาษของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละเงื่อนไข ดังแสดงในตารางที่ 3

3.4 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบความสามารถในการป้องกันการเปียกน้ำและร้อยละของการดูดซึมน้ำ โดยการหยดน้ำจำนวน 1 หยด ลงบนพื้นผิวกระดาษชิ้นงานตัวอย่าง ถ่ายภาพหยดน้ำที่เกิดขึ้น แล้ววัดมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวชิ้นงาน โดยมีเงื่อนไขคือ ถ้ามุมของหยดน้ำน้อยกว่า 90 องศา แสดงถึงการชอบน้ำของพื้นผิววัสดุชิ้นนั้น ถ้ามุมของหยดน้ำมากกว่า 90 องศา แสดงถึงการไม่ชอบน้ำของพื้นผิววัสดุชิ้นนั้น และถ้ามุมของหยดน้ำมากกว่า 150 องศา แสดงถึงการไม่ชอบน้ำยิ่งยวดของพื้นผิววัสดุชิ้นนั้น ซึ่งลักษณะรูปทรงหยดน้ำและมุมสัมผัสที่วัดได้ของกระดาษทางการค้ากระดาษใช้ซ้ำ และชิ้นงานตัวอย่างแต่ละเงื่อนไขแสดงในรูปที่ 3 สำหรับการทดสอบการดูดซึมน้ำของกระดาษโดยเตรียมชิ้นงานตัวอย่างขนาด (กว้าง×ยาว) 5×5 เซนติเมตร บันทึกค่าน้ำหนักของชิ้นงานแห้งก่อนแช่น้ำ โดยแช่ชิ้นงานตัวอย่างในน้ำกลั่นเป็นนาน 2 นาที แล้วผึ่งให้เสด็จน้ำประมาณ 50 วินาที บันทึกค่าน้ำหนักขณะชิ้นงานเปียกหลังแช่น้ำ จากนั้นเปลี่ยนชิ้นตัวอย่างใหม่สำหรับใช้แช่ในน้ำกลั่นเป็นระยะเวลา 4, 6, 8 และ 10 นาที ตามลำดับ บันทึกค่าน้ำหนักของชิ้นงานขณะแห้งและเปียก นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเพื่อใช้ในการคำนวณค่าร้อยละดูดซึมน้ำ (% water absorption) ของชิ้นงานตัวอย่างตามสมการที่ (1) (สุฤกษ์, 2556)

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{(M_1 - M_0)}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_0 คือ น้ำหนักของชิ้นงานแห้งก่อนแช่น้ำ
 M_1 คือ น้ำหนักของชิ้นงานเปียกหลังแช่น้ำ

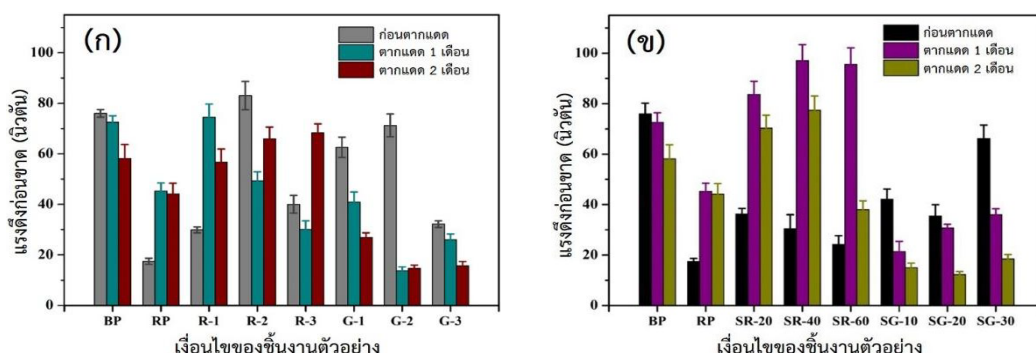
4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยนี้ใช้สัญลักษณ์แทนเงื่อนไขของชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของกระดาษ (WP), กระดาษคาร์บอนทางการค้า (BP), กระดาษใช้ซ้ำ (RP) ตามสมบัติที่ต้องการทดสอบ

4.1 สมบัติเชิงกล

ผลการทดสอบแรงดึงจนขาดและระยะยืดสูงสุดของชิ้นงานก่อนขาดออกจากกันแสดงด้วยแผนภูมิแท่ง ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ พบว่ากระดาษเคลือบคาร์บอนที่ผ่านการตากแดด

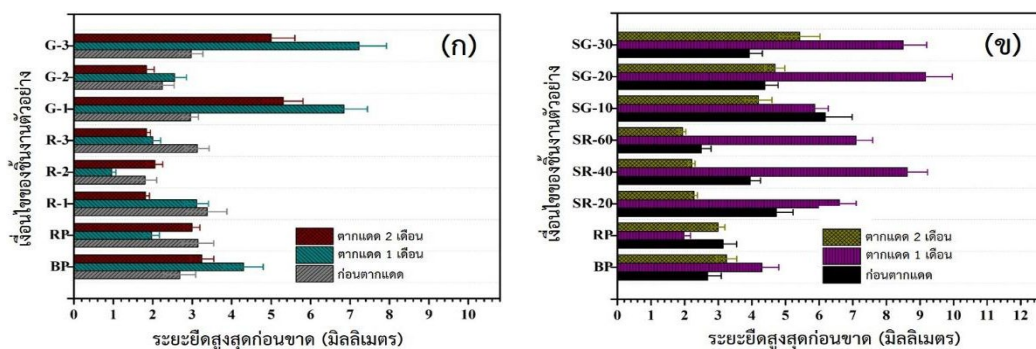
เป็นระยะเวลา 1 เดือน ใช้แรงดึงสูงกว่าในเงื่อนไขที่ตัวเชื่อมประสานเป็นเรซินที่ใช้ทั้งวิธีการเคลือบแบบทาและแบบสกรีน ส่วนชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ตัวเชื่อมประสานด้วยกัมอาร์บิกจะใช้แรงดึงน้อยกว่าในการเคลือบทั้ง 2 วิธี และเมื่อระยะเวลาการตากแดดเพิ่มมากขึ้นในการเคลือบแบบสกรีนชิ้นงานตัวอย่างทนแรงดึงได้น้อยลงรวมถึงกระดาษคาร์บอนทางการค้าด้วยเช่นกัน ซึ่งกระดาษเคลือบคาร์บอนที่ทนต่อแรงดึงได้มากที่สุดคือกระดาษเคลือบคาร์บอนที่ผสมเรซินด้วยวิธีสกรีน (SR-40) ที่ผ่านการตากแดดนาน 1 เดือน ซึ่งทนต่อแรงดึงได้ 97.086 นิวตัน สำหรับกราฟแสดงผลระยะยืดสูงสุดของชิ้นงาน (รูปที่ 2) นั้นพบว่ากระดาษที่เคลือบคาร์บอนที่ผสมกัมอาร์บิกมีแนวโน้มในการยืดตัวได้ดีกว่าผสมเรซินในวิธีการเคลือบทั้ง 2 วิธี และระยะยืดสูงสุดที่วัดได้คือ 9.166 มิลลิเมตร ในเงื่อนไข SG-20 ที่ผ่านการตากแดดเป็นระยะเวลา 1 เดือน



รูปที่ 1 ผลของการทนต่อแรงดึงของกระดาษเคลือบหลังจากตากแดด

เปรียบเทียบกับกระดาษเคลือบทางการค้าและกระดาษรียู่ส

(ก) เคลือบด้วยวิธีการทา และ (ข) เคลือบด้วยวิธีการสกรีน



รูปที่ 2 ผลของระยะยืดสูงสุดก่อนการฉีกขาดของกระดาษเคลือบหลังจากตากแดด

เปรียบเทียบกับกระดาษเคลือบทางการค้าและกระดาษรียู่ส

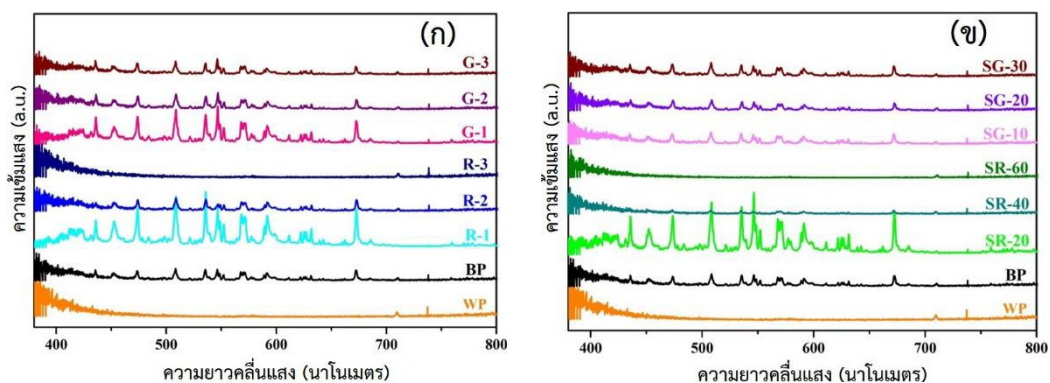
(ก) เคลือบด้วยวิธีการทา และ (ข) เคลือบด้วยวิธีการสกรีน

4.2 สมบัติทางแสง

การส่องผ่านของแสงขาวและรังสียูวีจากกระดาษเคลือบคาร์บอน แสดงค่าปริมาณแสงที่ทะลุผ่านกระดาษแสดงในตารางที่ 3 พบว่ากระดาษเคลือบคาร์บอนด้วยวิธีการทาตามเงื่อนไข R-3 และกระดาษเคลือบคาร์บอนด้วยวิธีสกรีนตามเงื่อนไข SR-60 นั้นมีค่าการส่องผ่านแสงเท่ากับกระดาษเคลือบทางการค้าซึ่งมีค่าการส่องผ่านของแสงเท่ากับ 1 ลักซ์ ที่ใช้ตัวเชื่อมประสานเป็นเรซินซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3 (ก) และ (ข) เป็นกราฟแสดงความเข้มแสงที่ตรวจวัดได้ โดยพบว่าชั้นงาน R-3 และ SR-60 ความยาวคลื่นแสงช่วงแสงขาว (380-800 นาโนเมตร) นั้น ไม่สามารถส่องผ่านได้

ตารางที่ 3 แสดงค่าการส่องผ่านของแสงผ่านชั้นงานตัวอย่าง

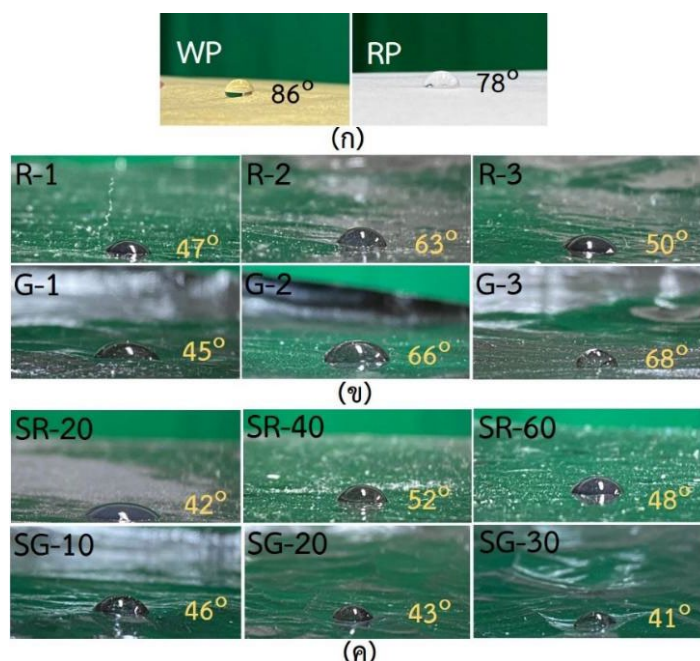
ชั้นงาน ตัวอย่าง	การส่องผ่าน ของแสง (ลักซ์)	ชั้นงาน ตัวอย่าง	การส่องผ่าน ของแสง (ลักซ์)	ชั้นงาน ตัวอย่าง	การส่องผ่าน ของแสง (ลักซ์)
WP	1	R-1	1207	SR-20	96
BP	17	R-2	193	SR-40	28
		R-3	1	SR-60	1
		G-1	562	SG-10	128
		G-2	112	SG-20	73
		G-3	25	SG-30	86



รูปที่ 3 ผลการส่องผ่านของแสงชั้นงานตัวอย่างแต่ละเงื่อนไข
(ก) เคลือบด้วยวิธีการทา และ (ข) เคลือบด้วยวิธีการสกรีน

4.3 ผลการดูดซึมน้ำ

ผลของมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวชิ้นงานตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 4 พบว่าถุงเคลือบทางการค้า (WP) และกระดาษใช้ซ้ำ (RP) มีค่ามุมของหยดน้ำน้อยกว่า 90 องศา แสดงถึงการชอบน้ำ เช่นเดียวกับกระดาษเคลือบคาร์บอนด้วยวิธีการทาและวิธีการสกรีน มีค่ามุมของหยดน้ำน้อยกว่า 90 องศา แสดงว่ากระดาษเคลือบคาร์บอนนั้นชอบน้ำเช่นเดียวกัน คือหยดน้ำจะเกาะอยู่ที่กระดาษเคลือบคาร์บอน ซึ่งจะไม่ไหลลงหรือจะไหลลงจากถุงกระดาษเคลือบคาร์บอนซ้ำ

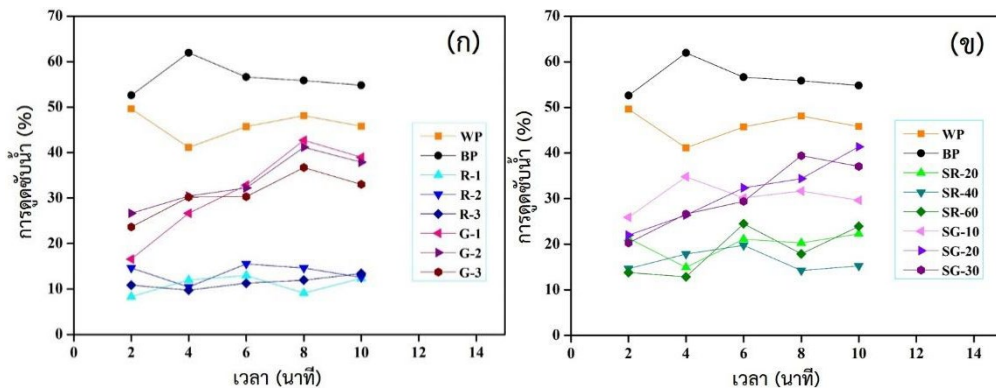


รูปที่ 4 แสดงรูปหยดน้ำที่ทำมุมสัมผัสกับชิ้นงานตัวอย่างแต่ละเงื่อนไข

(ก) กระดาษทางการค้าและกระดาษรีไซเคิล (ข) ชิ้นงานตัวอย่างเคลือบด้วยวิธีการทา

และ (ค) ชิ้นงานตัวอย่างเคลือบด้วยวิธีการสกรีน

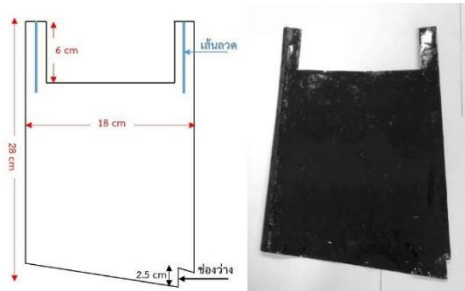
ค่าร้อยละของการดูดซับน้ำของกระดาษเคลือบคาร์บอนที่แสดงในรูปที่ 5 พบว่ากระดาษที่เคลือบด้วยตัวเชื่อมประสานเรซินค่าร้อยละการดูดซับของน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นตามเวลาที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งเคลือบด้วยวิธีการทาและสกรีน กระดาษที่เคลือบด้วยตัวเชื่อมประสานกัมอาร์บิกที่เคลือบด้วยวิธีการทาค่าร้อยละการดูดซับน้ำเปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เมื่อนำผลมาวิเคราะห์พบว่ากระดาษเคลือบคาร์บอนจากถ่านชีวภาพมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำต่ำกว่ากระดาษคาร์บอนทางทาคำนั่นหมายความว่าสามารถทนต่อความชื้นหรือละอองน้ำได้ดีกว่า



รูปที่ 5 ผลของการดูดซับน้ำของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละเงื่อนไข
(ก) เคลือบด้วยวิธีการทา และ (ข) เคลือบด้วยวิธีการสกรีน

4.4 การออกแบบต้นแบบผลิตภัณฑ์ห่อมะม่วงก่อนเก็บเกี่ยว

นำกระดาษใช้ซ้ำที่เคลือบคาร์บอนจากถ่านชีวภาพด้วยวิธีการเคลือบแบบสกรีน 60 รอบ (SR-60) มาออกแบบเป็นถุงคาร์บอนห่อมะม่วง โดยใช้กระดาษเคลือบคาร์บอนจำนวน 2 แผ่นมาประกบติดกันด้วยกาว ถุงมีขนาดความกว้าง 18 เซนติเมตร ยาว 28 เซนติเมตร ตรงบริเวณที่กั้นถุงมีช่องว่างยาว 2.5 เซนติเมตร สำหรับระบายอากาศ ด้านบนจะใส่เส้นลวดสำหรับเป็นตัวยึดเกี่ยวถุงคาร์บอนกับก้านของผลมะม่วงตอนที่ห่อ ซึ่งลักษณะถุงคาร์บอนต้นแบบแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กระดาษเคลือบคาร์บอนที่ถูกออกแบบเพื่อทดลองใช้เป็นผลิตภัณฑ์ห่อมะม่วงน้ำดอกไม้

5. สรุปผล

การเคลือบคาร์บอนจากถ่านชีวภาพที่ได้จากเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรบนกระดาษใช้ซ้ำที่อัตราส่วนผสมของผงถ่านชีวภาพ 15 กรัม ต่อ เรซิน 100 กรัม โดยใช้วิธีการเคลือบแบบสกรีน 60 รอบ (SR-60) จะให้ค่าการทนต่อแรงดึงสูงสุด หลังจากที่ผ่านมาการตากแดดนาน 1 เดือน และค่าระเหยยี่ดสูงกว่ากระดาษคาร์บอนทางการค้า ผลจากการทดสอบการส่องผ่านของแสง

ในช่วงแสงขาวและรังสียูวีของกระดาษเคลือบคาร์บอนเงื่อนไข SR-60 นั้น แสงลอดผ่านได้น้อยมาก และมีค่าการส่องผ่านของแสงเท่ากับกระดาษเคลือบทางการค้า ผลของค่าร้อยละการดูดซับน้ำของกระดาษเคลือบคาร์บอน SR-60 แสดงค่าที่ร้อยละ 23 ซึ่งน้อยกว่ากระดาษเคลือบทางการค้าที่มีค่าร้อยละการดูดซับน้ำที่ร้อยละ 45 ในเวลาที่เท่ากัน ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงคิดเห็นว่ากระดาษเคลือบคาร์บอนที่เงื่อนไขนี้ จึงเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการนำไปประดิษฐ์เป็นผลิตภัณฑ์ห่อมะม่วงก่อนเก็บเกี่ยว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตมะม่วงและเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดมูลค่าและประโยชน์มากกว่าการกำจัดโดยการเผาทำลาย

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ประจำปีงบประมาณ 2565 ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก และ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ สำหรับสถานที่และวัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ ในการดำเนินงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล. (2565). การแผ่รังสีและเตือนภัยปัญหาหมอกควันโดยเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศระบบเซ็นเซอร์ DustBoy ในประเทศไทย ระยะที่ 3 (รายงานการวิจัย). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เจนจิรา ชุมภูคำ, นิตยา เงินแถบ, อิชยา นะมิกิ, และรัฐพล ฉัตรบรรยงค์. (2561). ผลของชนิดวัสดุห่อผลต่อคุณภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4. *Thai Journal of Science and Technology*, 7(4), 393-398. DOI:10.14456/tjst.2018.36
- จิราพร ชุมชิต, และนภารัตน์ จิวาลักษณ์. (2564). การใช้ประโยชน์จากเส้นใยของเปลือกและลำต้นหอมแดงเพื่อผลิตกระดาษและบรรจุภัณฑ์ (รายงานการวิจัย). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- สำนักงานคณบดี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (2560). *คู่มือการเลือกใช้กระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ มศว*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ธวัชชัย รัตน์ชเลศ, และรุ่งทิพย์ อทุมพันธ์. (2553). การผลิตมะม่วงคุณภาพเพื่อการส่งออก. ในมะม่วงนอกฤดู งานประชาสัมพันธ์และบริการวิชาการ คณะเกษตรศาสตร์ (บ.ก.), *พัฒนามะม่วงไทยก้าวไกลมะม่วงโลก*. เชียงใหม่: วนิตา การพิมพ์.
- ชูเกียรติ อนันต์เวทยานนท์, ธานี สุขคนธชาติ, และมัทธนี ปราโมทย์เมือง. (2561). *การศึกษาและพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากกระดาษเคลือบน้ำยาพาราควอตด้วยวิธีการปั๊มตัดขึ้น*

รูปในงานบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์แก้วและเซรามิก (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

Howard, K.W., and Hodgson, K.T.(2015). Influence of pigment packing behavior on the adhesive requirements of aqueous paper coatings, *J. Coatings Technol. Res.* 12, 237-245. DOI:10.1007/s11998-014-9645-0

Sharma, M., Aguado, R., Murtinho, D., Valente, J.M., Mendes De Sousa, A.P., and Ferreira, J.T. (2020). A review on cationic starch and nanocellulose as paper coating components. *International Journal of biological.* 162, 578-598. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2020.06.131

กิตติมา เจริญสุข. (2552). *คุณลักษณะของกระดาษเคลือบที่มีสมบัติต่อต้านแบคทีเรีย*. (วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ณัฏพร ชาญชัยกรณ, และกฤติกา ต้นประเสริฐ. (2559). ผลของการเคลือบกระดาษแข็งด้วยผงบุกและไคโตซานต่อคุณสมบัติการต้านน้ำและไขมัน. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 3(1), 30-42.

สุฤกษ์ คงทอง, และอรสา พัฒน์จันทร์. (2556). การพัฒนากระดาษด้านการดูดซึมน้ำโดยการผสมด้วยยางธรรมชาติ. *วารสารวิทยาศาสตร์ มศว*, 29(2), 263-273.

การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพดด้วยเตาเผาไพโรไลซิส

สุริยงค์ ประชาเขียว^{1*}, สมอ บุญพันธ์¹, สรายุทธ บุญช่วย¹ และณัฐมน ทรัพย์บุญโต²

¹ชื่อ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

²ชื่อ บริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

เลขที่ 99 ต. ทราชยาว อ.พาน จ.เชียงราย 57120

*E-mail: langmu@rmutl.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ : 0628898878

บทคัดย่อ

ปัญหาหมอกควันในภาคเหนือเกิดขึ้นในทุก ๆ ปี เนื่องมาจากการเผาวัสดุชีวมวลทางการเกษตรของเกษตรกรในพื้นที่ราบสูง ส่งผลให้เกิดไฟไหม้ป่าและส่งผลกระทบต่อด้านสุขภาพจากปัญหาหมอกควัน PM 2.5 ซึ่งเกิดจากการเผาต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อเตรียมเพาะปลูกรอบต่อไป ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษานำชีวมวลต้นข้าวโพดที่เหลือทิ้งในพื้นที่จังหวัดเชียงรายมาพัฒนาเป็นถ่านอัดแท่งชีวมวล และทดสอบเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งไม้ในท้องตลาด โดยนำต้นข้าวโพดขนาด 20-30 cm เผาในเตาไพโรไลซิสที่มีขนาด 200 ลิตรเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งได้ผลผลิตร้อยละ 20 ของน้ำหนักทั้งหมด จากนั้นนำไปดัดให้ละเอียดนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดในอัตราส่วนผสมของถ่าน แป้งมัน และ น้ำ ดังนี้ 10 : 1: 3 kg จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติของถ่าน ผลการทดสอบพบว่า มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 165.28 kg/m³ ระยะเวลาการติดไฟเฉลี่ยประมาณ 2.21 ชั่วโมง ซึ่งจากการศึกษาถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพดสามารถนำไปผลิตเพื่อเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรและยังช่วยลดการเกิดหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือได้ต่อไป

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่ง, ชีวมวล, ค่าความหนาแน่น

Development of Corn Stalk Briquettes by Pyrolysis kiln

Suriyong Prachakiew^{1*}, Samor Boonphan¹,
Sarayut boonchuay¹ and Nathamon Supbunto²

¹Faculty of Sciences and Agricultural Technology,
Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai

²Faculty of Business Administration and Liberal Arts,
Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai
99 M.10 Sai Khao, Pan, Chiang Rai, Thailand, 57120

*E-mail: lamgmu@hotmail.com, 0628898878

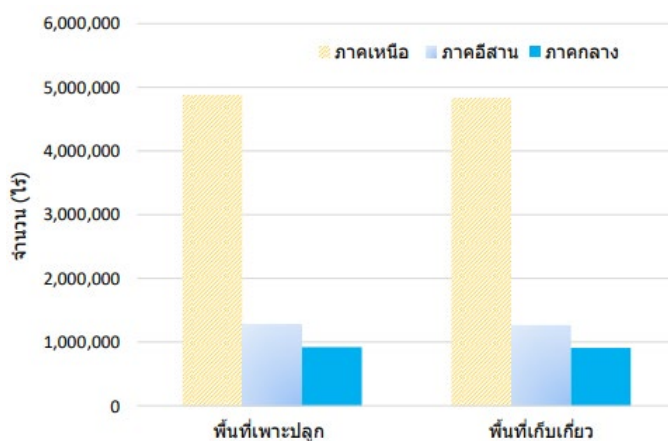
Abstract

The problem of smoke haze in the northern region occurs every year. Due to the burning of agricultural biomass by farmers in plain and high areas. Resulting in forest fires and affecting health from PM 2.5 fog problems, which is caused by burning maize stalks to prepare for the next round of planting. Therefore, this research aims to investigate the use of residual corn biomass in Chiang Rai province and developed into biomass charcoal briquettes. The efficiency of the charcoal briquettes from corn stalks and the charcoal briquettes in the market were to compare. A method, placing the corn stalks (size 20-30 cm) in a 200 liters pyrolysis kiln and heated for 2 h, the yields of charcoal briquettes are 20 wt%. Then, the bulk of charcoal briquettes was grinded and formed. The ratio of the charcoal briquette before press was used: charcoal powder, starch and water 10: 1: 3 kg. The test results showed that the average density was 165.28 kg/m³, average ignition time is about 2.21 h. This product can increase the farmer's income and reduce the occurrence of haze in the northern region in the future.

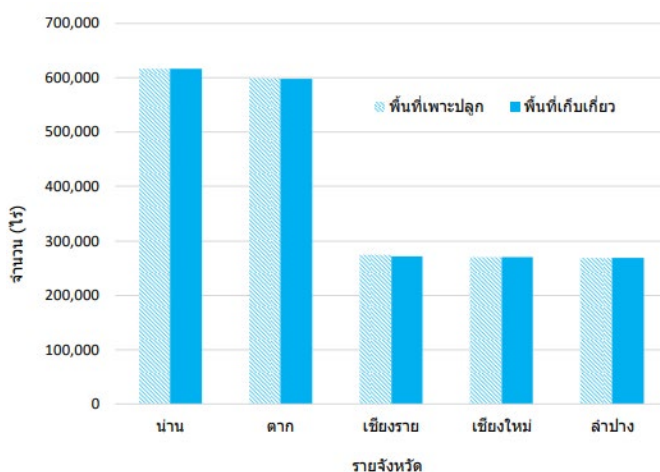
Keywords: Charcoal briquettes, Biomass, Density

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ส่งผลให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เกษตรกรนิยมกำจัดโดยวิธีการเผา เพื่อใช้พื้นที่เพาะปลูกพืชในฤดูกาลถัดไป ซึ่งก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศจากหมอกควันและฝุ่นละออง PM 2.5 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนในหลายพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย (ฉิชา บุรณสิงห์, 2563) โดยในภาคเหนือพบว่ามีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์รวมทั้งหมด 4,880,951 ไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยว 4,833,037 ไร่ ผลผลิต 3,440,064 ตัน พบว่าจังหวัดเชียงรายมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพด 274,790 ไร่ ดังแสดงในรูปที่ 1 และ รูปที่ 2



รูปที่ 1 พื้นที่เพาะปลูกรายภาค (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)



รูปที่ 2 พื้นที่เพาะปลูกรายจังหวัดในภาคเหนือ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าต้นตอใหญ่ที่สุดของฝุ่น PM 2.5 คือการเผาในที่โล่งในพื้นที่เกษตร และไฟไหม้ป่า รายงานการศึกษาในอดีตระบุว่า การเผาในที่โล่งในพื้นที่เกษตรก่อให้เกิดฝุ่น PM 2.5 ประมาณ 209,937 ตัน) รองลงมาคือ อุตสาหกรรม (65,140 ตัน/ปี) และการขนส่ง (50,200 ตัน/ปี) และการผลิตไฟฟ้า (31,793 ตัน/ปี) ตามลำดับ (นิพนธ์ พัวพงศกร และคณะ, 2566) ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้นำต้นข้าวโพดที่เหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งเป็นชีวมวลของจังหวัดเชียงรายมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มมูลค่าของถ่านอัดแท่งเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งไม้เชิงพาณิชย์ ก่อให้เกิดรายได้ของชุมชนและกลุ่มวิสาหกิจที่มีความสนใจในตามหลักเศรษฐกิจสีเขียว BCG

โดยมีวัตถุประสงค์หลักดังนี้ 1. เพื่อศึกษาการนำต้นข้าวโพดมาพัฒนาเป็นถ่านอัดแท่ง 2. เพื่อเปรียบเทียบถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพดและถ่านอัดแท่งในท้องตลาด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นพพร สุดใจธรรม (2546) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ โดยใช้เครื่องอัดเย็นและมีตัวประสานที่ใช้ในงานวิจัย 3 ชนิดคือ ผักตบชวาหมักเศษมันสำปะหลัง และแป้งเปียก ผลการทดลองพบว่ากากกาแฟมีค่าความร้อน 6,038 kcal/kg (25.28 MJ/kg) ซึ่งมีความสูงกว่าฟืน (4,436 kcal/kg) แต่ต่ำกว่าถ่านไม้เบญจพรรณ (6,552 kcal/kg) ค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.5 - 0.9 g/cm² ค่าดัชนีแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.82 - 0.99 และมีค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของความร้อน 13.30 - 23.40 %, วรุณทิพย์ ฉัตรจุฑามณี (2547) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำวัชพืช เช่น ฐูปฤษี หญ้าคาและไมยราบ มาประยุกต์ใช้เป็นถ่านอัดแท่งด้วยวิธีอัดร้อนและอัดเย็น ที่ส่วนผสมระหว่างวัชพืชและตัวประสานอัดรส่วนต่างๆ ผลการทดลองพบว่าถ่านอัดแท่งจากฐูปฤษีมีคุณภาพดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งจากวัชพืชอีกสองชนิด โดยมีค่าความร้อน 5.29 kcal/g ความชื้น 1.73 % เถ้า 12.83 % และความทนต่อแรงกด 850 N ส่วนไมยราบไม่สามารถอัดเป็นแท่งได้, รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล (2553) ได้ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้งน้ำมันสำปะหลัง โดยทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547) จากการผลิตถ่านอัดแท่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองวัสดุทั้ง 2 ชนิดดังกล่าว มาผสมกัน 5 อัตราส่วน ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้งน้ำมันสำปะหลังในอัตราส่วน 9 : 1 ให้ค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 6,580.10 kcal/kg และอัตราส่วน 1 : 9 ให้ค่าความร้อนต่ำสุดเท่ากับ 4,514.13 kcal/kg, ศุภกร เชื้ออ้อ, ศิริรินทร์ ทองแสงและแววบุญ แยมแสงสังข์, (2561). ได้ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากซังข้าวโพดและกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมพลาสติก

ก พบว่าที่อัตราส่วนของกากตะกอนต่อซังข้าวโพด 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6 สามารถอัดเป็นแท่ง และ กรณีแบบไม่เติมถ่านผงถ่านการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนของกากตะกอนต่อซังข้าวโพด 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 สามารถอัดเป็นแท่ง การทดสอบสมบัติของถ่านอัดแท่งเชื้อเพลิงค่าความร้อน สูงสุดที่ 3,770 kcal/kg , Oladeji (2010) ได้ศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากซังข้าวโพดและแกลบ โดยทดสอบกำลังอัด ค่าความชื้น ค่าความหนาแน่น และค่าความร้อน จากการศึกษาพบว่า ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดดีกว่าถ่านอัดแท่งจากแกลบ ซึ่งมีค่าความร้อนกำลังอัดที่ 22.34 KN/m ความชื้นปานกลาง 13.47 % ความหนาแน่นสูงที่ 650 kg/m³ และค่าความร้อนที่สูงถึง 20,890 KJ/kg, Zuniga (2007) ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนจากกาบมะพร้าว และกะลามะพร้าวและเปรียบเทียบปริมาณควันในการเผาไหม้ โดยค่าที่ได้จากการทดลอง ของกะลามะพร้าวมีค่า คือ 5.535 kcal/kg ส่วนค่าพลังงานความร้อนของกาบมะพร้าวมีค่า คือ 4.986 kcal/kg และปริมาณควันในการเผาไหม้จากกะลามะพร้าวมีปริมาณมากกว่า การเผาไหม้จากกาบมะพร้าว จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงนำมาพัฒนาต้นข้าวโพดที่เหลือทิ้ง มาทำเป็นถ่านอัดแท่งเชื้อเพลิงและทดสอบสมบัติเบื้องต้น เพื่อดูความเหมาะสมของ ถ่านอัดแท่งสำหรับการใช้งานในชุมชน

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ความหนาแน่น (Density) หมายถึง อัตราส่วนของน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร เป็นความหนาแน่นที่รวมช่องว่างที่เกิดขึ้นทั้งหมดในโครงสร้างหรือความหนาแน่นเฉลี่ย (Average density) ซึ่งหาได้จากผลหารระหว่างมวลรวมกับปริมาตรรวม ดังสมการนี้ (Raymond A. Serway and John W. Jewett (2004)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (kg/m³)

m คือ มวลรวมของวัตถุ (kg)

V คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ (m³)

3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์การทดลอง



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3 (ก) ต้นข้าวโพด (ข) ถังเผาถ่านขนาด 200 ลิตร (ค) ถ่านที่ได้จากการเผา



(ง)



(จ)

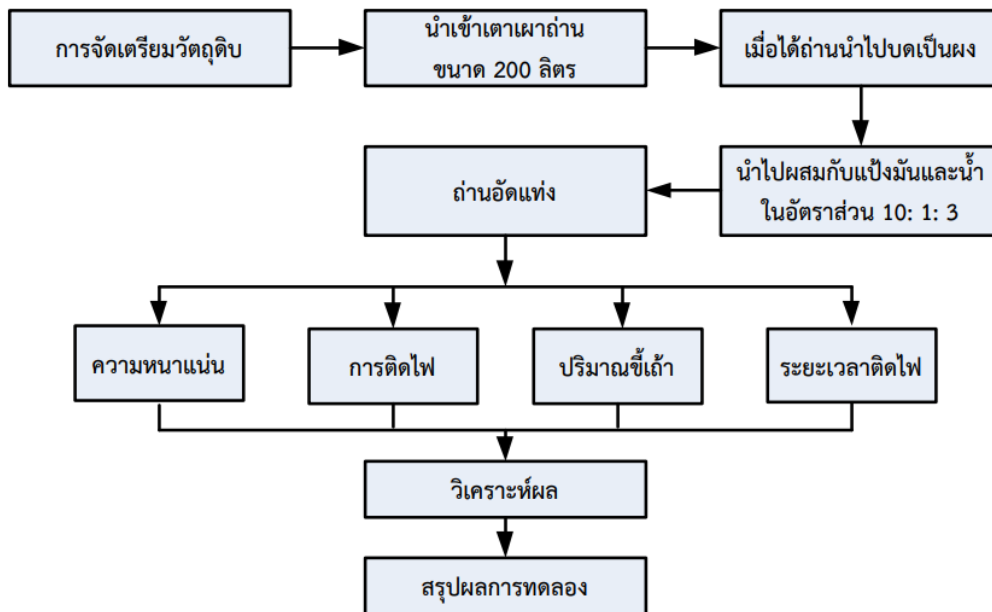


(ฉ)

รูปที่ 4 (ง) เครื่องอัดถ่าน (จ) ถ่านที่ออกมาจากเครื่อง 200 ลิตร
(ฉ) ถ่านที่ได้จากการอัดแท่ง

3.2 วิธีดำเนินการงานวิจัย

การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพดมีขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่ง โดยนำวัสดุดิบต้นข้าวโพดมาเผาในถังขนาด 200 ลิตร แบบความคุมอากาศ โดยใช้ระยะเวลาการเผา 1-2 ชั่วโมง อุณหภูมิการเผาเฉลี่ยประมาณ 300-600 °C ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) โดยการมีผลผลิตและทดสอบเปรียบเทียบกับถ่านเชิงพาณิชย์ โดยมีการทดสอบความหนาแน่นของถ่าน และทดสอบระยะเวลาการติดไฟ รวมถึงปริมาณเถ้าที่เหลือจากการกระบวนการเผาไหม้ โดยมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 5



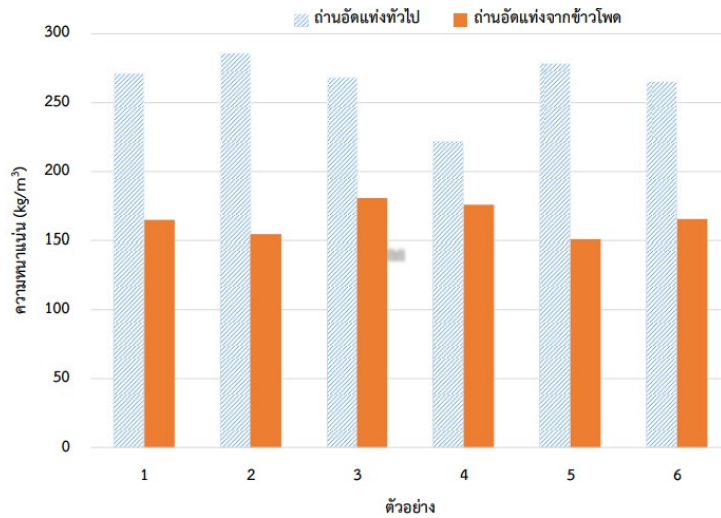
รูปที่ 5 กระบวนการดำเนินงานวิจัย

4. ผลการวิจัย

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ถ่านจากต้นข้าวโพดแล้วนำมาทดสอบสมบัติเบื้องต้นสำหรับการใช้งานของถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพดเพื่อเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งในท้องตลาด ของจังหวัดเชียงราย โดยได้ทำการทดสอบ คือ 1. ค่าความหนาแน่น 2. การติดไฟ 3. ปริมาณเถ้า และ 4. ระยะเวลาการติดไฟของถ่าน ตามลำดับ ซึ่งมีผลการทดสอบสมบัติถ่านอัดแท่ง ดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบความหนาแน่น

จากการพัฒนาถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพด นำมาทดสอบความหนาแน่น พบว่าถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพดมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 165.28 kg/m^3 และ ถ่านอัดแท่งในท้องตลาดมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 265.21 kg/m^3 จากกราฟค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งในท้องตลาดส่วนใหญ่ มีค่าเฉลี่ยมากกว่าถ่านจากต้นข้าวโพด ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การทดสอบความหนาแน่น

4.2 การติดไฟ

ทำการทดสอบส่วนถ่านอัดแท่งของถ่านทั้งสองอย่างละ 5 ตัวอย่าง พบว่าถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพดพบว่าการติดไฟของถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพดสามารถติดไฟได้อย่างง่ายเมื่อเทียบกับการทดสอบส่วนถ่านอัดแท่งในท้องตลาดมีการติดไฟที่ยากกว่า ต้องใช้ระยะเวลาการติดไฟ ทำให้ถ่านจากต้นข้าวโพดให้ความร้อนที่เร็วกว่าถ่านที่ขายในท้องตลาด ที่ติดช้ากว่าในระยะเวลาเท่ากันส่งผลให้เกิดความร้อนได้ช้า ในการนำมาใช้ในการปิ้งย่างหมูกระทะ

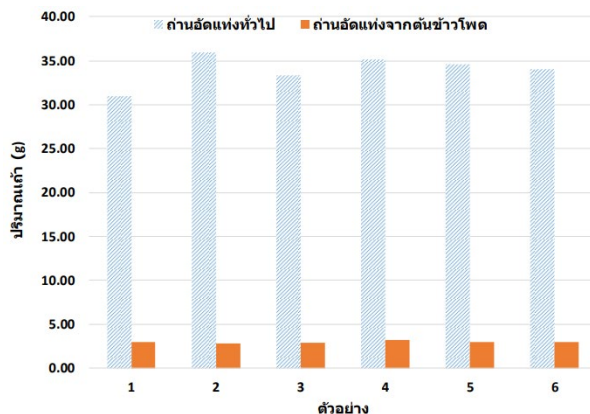
4.3 ปริมาณเถ้า

จากการทดสอบในสภาวะจริงของถ่านทั้งสองที่มีขนาดเท่ากันพบว่า เมื่อนำถ่านทั้งสองชนิดมาเผาทิ้งไว้จนเหลือแต่ปริมาณเถ้า แล้วนำมาชั่งปริมาณเถ้า ถ่านที่ขายในท้องตลาดมีปริมาณเถ้าที่เฉลี่ยที่ 33.50 g ในขณะที่ถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพดมีปริมาณเถ้าเฉลี่ย 3.00 g ดังแสดงปริมาณเถ้าในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ปริมาณเถ้าจากถ่านอัดแท่ง (ข) ต้นข้าวโพด (ช) จากท้องตลาด

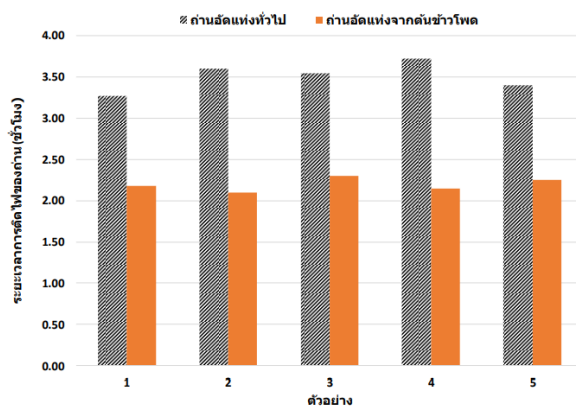
จากถ่านทั้งสองเมื่อทำการทดสอบจะแสดงปริมาณของจำนวนเถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาพบว่าถ่านจากต้นข้าวโพดและถ่านในท้องตลาดมีปริมาณเถ้าเฉลี่ย 2.98 g และ 34.04 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่ง

4.4 ระยะเวลาการติดไฟ

จากการทดสอบนำถ่านทั้งสองชนิดมาเผาในห้องปิด และทิ้งไว้ในสภาวะเดียวกัน และจับเวลาความคงทนของถ่านที่ติดไฟ พบว่าถ่านทั่วไปมีระยะเวลาการให้ความร้อนที่นานกว่าที่ระยะเวลาเฉลี่ย 3.34 ชั่วโมง ขณะที่ถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพดมีระยะเวลาการติดไฟเฉลี่ย 2.21 ชั่วโมง ซึ่งถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพด มีระยะเวลาการติดไฟน้อยกว่าถ่านทั่วไป 1.13 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ระยะเวลาการติดไฟของถ่าน (ชั่วโมง)

5. สรุปและอภิปรายผล

จากการพัฒนาถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพด มีความหนาแน่นเฉลี่ย 165.28 kg/m^3 และถ่านในท้องตลาด มีความหนาแน่นเฉลี่ยที่ 265.21 kg/m^3 ซึ่งจากข้อมูลถ่านจากต้นข้าวโพด สามารถพัฒนาเป็นถ่านได้ โดยมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานในร้านปิ้งย่าง เนื่องจากการติดไฟที่รวดเร็วและการให้ความร้อนเฉลี่ยประมาณ 2.21 ชั่วโมง ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานกับร้านปิ้งย่าง หมูกระทะ หากต้องการใช้งานที่นานขึ้นต้องนำผงถ่านของต้นข้าวโพดไปผสมกับผงถ่านไม้จะได้พลังงานและระยะเวลาการติดไฟที่นานขึ้น โดยมีต้นทุนเฉลี่ยก้อนละ 13.20 บาท ซึ่งในท้องตลาดที่ขายเฉลี่ยก้อนละ 3.00 บาท เหตุผลเนื่องมาจากการผลิตที่ได้น้อย ในถ่านเผาถ่านที่ความจุเดียวกัน ถ้ามีการผลิตควรรวมในปริมาณเยอะจะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ หรือใช้เป็นถ่านคาร์บอนสูงได้ ดังนั้นถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพด สามารถพัฒนาเป็นถ่านได้ อีกทั้งยังช่วยลดมลพิษจากการเผาป่า เผาชีวมวลทางการเกษตร และยังสามารถนำไปต่อยอดสร้างรายได้ให้กับชุมชน วิสาหกิจชุมชนต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์โดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม งบประมาณประจำปี พ.ศ. 2565 และ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ที่เอื้อเพื่อสถานที่ในการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- ณิชา บุรณสิงห์, (2563). ซังข้าวโพดถ่านอัดแท่งลดมลพิษ, สืบค้นเมื่อวันที่ 17 เมษายน 2566 จาก <https://library.parliament.go.th/th/radioscript/rr2563-dec1>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, (2564). ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สืบค้นเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2566 จาก <https://www.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์/TH-TH>
- นิพนธ์ พัวพงศกร กัมพล ปันตะแก้ว สุทธิภัทร ราชคม, (2566). ข้อจำกัดในการแก้ไขปัญหาฝุ่น PM 2.5 สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย สืบค้นเมื่อวันที่ 5 เมษายน 2566 จาก <https://tdri.or.th/2023/03/pm2-5-thailands-solutions/>
- Raymond A. Serway and John W. Jewett, (2004). Physics for Scientists and Engineers 6th edition, Fluid Mechanics, ISBN 0534408427
- นพพร สุดใจธรรม. (2546). งานวิจัยเรื่องเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ, มหาวิทยาลัยมหิดล. บัณฑิตวิทยาลัย.

- วรรณทิพย์ ฉัตรจุฑามณี. (2547). งานวิจัยเรื่องถ่านอัดแท่งจากธูปฤๅษีหน้าคาและไมยราบ
คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล, (2553). งานวิจัยเรื่องการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลา
มะพร้าวและถ่านห้ำมันสำปะหลัง. กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ศุภกร เชื้ออ่ำ, ศิรินทร ทองแสงและแววบุญ แยมแสงสังข์, (2561). ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงอัด
แท่งจากซังข้าวโพดและกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมพลาสติก, งานประชุมวิชาการ
ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 9 วันที่ 9 มีนาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- Oladeji, J.T. (2010). Fuel characterization of Briquettes Produced from Corncob and
Rice Husk Residues. The Pacific Journal of Science and Technology 1 (11), 101-
106

นิเวศวิทยาและความหลากหลายชนิดของเห็ดป่าในพื้นที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม

วัชรีย์ หาญเมืองใจ,^{*1,2} อ้อมหทัย ตีแท้^{1,2}, อุษณีย์ ก่อแจ้¹

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

²ศูนย์ความเป็นเลิศด้านความหลากหลายทางชีวภาพในท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

*E-mail : watcharee_han@cmru.ac.th, 081-5944298

บทคัดย่อ

การศึกษานิเวศวิทยาของเห็ดป่าที่พบในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษานิเวศวิทยาของเห็ดป่า การจัดจำแนกชนิดพันธุ์ และหาค่าดัชนีความเด่น ชนิดของเห็ดป่าที่พบ โดยสำรวจแบบ line transect ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 ใช้เส้นทางหลัก ที่ชาวบ้านหาของป่า พบเห็ดทั้งหมด 24 ไอโซเลท โดยพบบนพื้นดิน และพบบนขอนไม้ คิดเป็น ร้อยละ 95.83 และ 4.17 ตามลำดับ ค่า pH ของดิน อยู่ในช่วง 4.20 – 5.30 ความชื้นสัมพัทธ์ ในอากาศอยู่ในช่วง 55 – 62 % และความสูงระดับน้ำทะเลอยู่ในช่วง 316.10 – 354.40 เมตร จากการสำรวจและจัดจำแนกโดยลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายนอกและลักษณะทางสัณฐานวิทยา ของสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ สามารถจัดจำแนกได้ 5 อันดับ 11 วงศ์ 15 สกุล อันดับที่พบ มากที่สุดคือ Agaricales คิดเป็นร้อยละ 54.17 วงศ์ที่พบมากที่สุดคือ Russulaceae ร้อยละ 29.17 สกุลที่พบมากที่สุดคือ *Russula* sp. ร้อยละ 29.17 จัดจำแนกโดยเกณฑ์การใช้ประโยชน์ แบ่งเป็นรับประทานได้ รับประทานไม่ได้ และไม่มีข้อมูลว่ารับประทานได้หรือไม่ได้ คิดเป็นร้อยละ 48, 19, และ 33 ตามลำดับ ค่าดัชนีความเด่นชนิดของเห็ดที่สำรวจพบมีค่าเท่ากับ 0.274

คำสำคัญ : เห็ดป่า นิเวศวิทยา ความหลากหลายชนิด

Ecosystems and Diversity of Wild Mushrooms in Chiang Mai Rajabhat University, Mae Rim Center

Watcharee Hanmoungjai,^{*1,2} , Aomhatai Deethae^{1,2}, Ausanee Kochae¹

¹Department of Biology, Faculty of Science and Technology,

Chiang Mai Rajabhat University, Chang Phueak, Mueang, Chiang Mai, 50300

²Centre of Excellence on Biodiversity Research and Implementation for Community,

Chiang Mai Rajabhat University, Chang Phueak, Mueang, Chiang Mai, 50300

*E-mail : watcharee_han@cmru.ac.th, 081-5944298

Abstract

The study of the ecosystem of wild mushrooms found in the area Chiang Mai Rajabhat University, Mae Rim Center, aimed to study the ecology of wild mushrooms. Identification of wild mushroom species found by line transect survey in July 2022 using the main route that villagers search for forest products. Among 24 isolates found, 95.83% were on the ground while 4.17% were on the log surfaces. The pH of the soil, the relative humidity in the air and the height of sea level were altitude range 4.20-5.30, 55-62% and 316.10-354.40 meters, respectively. By morphological characteristics of the spores under the microscope, the isolations can be classified into 5 Order, 11 Families and 15 Genera. The most Genus was *Russula* sp., 29.17%. According to mushrooms utilization, they can be classified to be edible, inedible and with no information about edibility as 48, 19 and 33%, respectively. The dominance index of surveyed mushrooms was 0.274.

Keyword: Wild Mushroom, Ecosystem, Diversity

1. บทนำ

การศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากระบบนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อมเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดการสูญพันธุ์หรือการลดลงอย่างรวดเร็วทั้งปริมาณและชนิดพันธุ์ของพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ในด้านความหลากหลายของจุลินทรีย์ในระบบนิเวศของป่าชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทยยังมิได้มีการศึกษาหาข้อมูลอย่างจริงจัง จึงทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการศึกษาการทำวิจัยในด้านต่าง ๆ ต่อไป

บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลขี้เหล็ก อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่ เป็นป่าเต็งรังที่ดินมีลักษณะดินร่วนปนทราย ดินแดง และดินลูกรัง ทำให้พื้นที่บริเวณรอบ ๆ นี้มีเห็ดขึ้นหลากหลายชนิดพอสมควร ทั้งชนิดที่กินได้และชนิดที่กินไม่ได้ แต่ยังไม่มีความชัดเจนที่เป็นหลักฐานอย่างชัดเจนในการสำรวจเห็ดในรอบ ๆ บริเวณนี้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษานิเวศวิทยาของเห็ดป่า การจัดจำแนกชนิดพันธุ์ และหาค่าดัชนีความเด่นชนิดของเห็ดป่าในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม ในช่วงฤดูฝนในเดือนกรกฎาคม จากการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของเห็ด และศึกษาปัจจัยแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อผลิตผลของเห็ด สามารถนำมาพัฒนาแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูความหลากหลายของเห็ด อีกทั้งยังสามารถต่อยอดในการสร้างแปรรูปเห็ดป่าในสภาพธรรมชาติ เพื่อเพิ่มผลิตผลของเห็ดป่าเป็นแหล่งอาหารและสร้างรายได้ให้แก่ชุมชนท้องถิ่นที่อาศัยบริเวณโดยรอบของมหาวิทยาลัยได้เพื่อเป็นข้อมูลและการใช้ประโยชน์ที่จะสามารถนำไปประยุกต์และเผยแพร่ให้กับผู้ที่สนใจ และยังเป็นการกระตุ้นให้เกิดความตระหนักถึงความสำคัญของระบบนิเวศอีกด้วย

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เห็ด (mushroom) จัดเป็นราที่มีขนาดใหญ่ (macro fungi) เห็ดและราเป็นสิ่งที่มีชีวิตที่อยู่ในอาณาจักรรา (Fungi Kingdom) เป็นกลุ่มเส้นใย (mycelium) ที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ เรียกว่า ดอกเห็ด สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (เกษม สร้อยทอง, 2537) เห็ดยังมีความสำคัญในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เพื่อให้พืชได้ใช้เป็นแหล่งอาหารในการเจริญเติบโต นอกจากนี้ประโยชน์ต่อระบบนิเวศแล้ว เห็ดป่าหลายชนิดยังเป็นเห็ดที่กินได้ และบางชนิดมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง สามารถเป็นแหล่งอาหารและสร้างรายได้ให้กับชุมชนได้ ซึ่งยังมีปัจจัยแวดล้อมหลายปัจจัยยังมีอิทธิพลต่อปริมาณการเกิดของเห็ด ทำให้ไม่สามารถ

คาดการณ์ ปริมาณของเห็ดในแต่ละปีได้ ดังนั้นความหลากหลายของเห็ด จึงเป็นดัชนีบ่งชี้ความสมบูรณ์ของแหล่งธรรมชาติ และเป็นความรู้พื้นฐานที่จะนำมาใช้ทางวิทยาศาสตร์และสาขาอื่น ต่อไป บทบาทของเห็ดต่อระบบนิเวศ สามารถบ่งบอกถึงบทบาทและหน้าที่ต่อระบบนิเวศของเห็ดได้ดังนี้ (สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์, 2560)

1.เห็ดที่ขึ้นอยู่บนซากพืชและมูลสัตว์ เรียกว่า เห็ดผู้ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ (saprophytic mushroom) เห็ดพวกนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายซากเหล่านั้น และกลายเป็นแร่ธาตุกลับคืนลงสู่ดิน บางส่วนของแร่ธาตุจะถูกเส้นใยของเห็ดดูดไปใช้ เห็ดกลุ่มนี้พบได้บ่อยเพราะมีเป็นจำนวนมาก และพบได้ตลอดทั้งปี โดยเฉพาะบริเวณที่มีความชื้นสูง ได้แก่ เห็ดเยื่อไผ่ หรือ เห็ดร่างแห (*Dictyophora indusiata*) เป็นต้น

2.เห็ดที่ ขึ้นโดยตรงจากดิน เห็ดกลุ่มนี้สามารถแบ่งตามชนิดของสิ่งมีชีวิตที่สัมพันธ์ด้วยกันได้ 2 กลุ่ม คือ เห็ดที่อยู่ร่วมกับรากของพืชที่เจริญอยู่ใกล้ ๆ ในแบบพึ่งพาอาศัยกัน (symbiosis mushroom) หรือที่เรียกว่า เห็ดเอคโตไมคอร์ไรซา (ectomycorrhizal mushroom) เห็ดในกลุ่มนี้พบมากในป่าที่มีไม้วงศ์ไม้ยาง (Dipterocarpaceae) วงศ์ก่อ (Fagaceae) และวงศ์สนเขา (Pinaceae) ได้แก่ เห็ดระโงก (*Amanita hemibapha*) เห็ดหล่ม (กระเชียว) หรือ เห็ดตะไคล (*Russula virescens*) เห็ดเผาะ หรือ เห็ดถอบ (*Astraeus hygrometricus*) เห็ดตับเต่า (*Phaeogyroporus portentosus*) และอีกกลุ่มคือ เห็ดโคนปลวก (termite mushroom) ได้แก่ เห็ดโคน (*Termitomyces fuliginosus* Heim) เป็นต้น

3.เห็ดที่ ขึ้นอยู่ตามลำต้น กิ่ง และก้านของต้นไม้ บนตัวหนอน หรือส่วนต่าง ๆ ของแมลงเรียกว่าเห็ดปรสิต (parasitic mushroom) เห็ดประเภทนี้จะเข้าไปแย่งน้ำและอาหาร ทำให้เซลล์และเนื้อเยื่อของสิ่งที่เห็ดขึ้นอยู่ค่อย ๆ ตายลงไป ได้แก่ เห็ดขอนขาว (*Lentinus squarrosulus*) เห็ดหลินจือ (*Ganoderma lucidum*) และกลุ่มรามแมลง (*Cordyceps* sp.) เป็นต้น

ซึ่งองค์ความรู้จากการศึกษานิเวศวิทยาของเห็ดป่า การจัดจำแนกชนิดพันธุ์ และหาค่าดัชนีความเด่นชนิดของเห็ดป่าที่ได้นี้ อาจจะเป็นแนวทางในการพัฒนาพื้นที่ป่าให้เป็นแปลงสาธิตการเพาะเห็ดป่ากินได้ ซึ่งจะนำไปสู่การใช้ประโยชน์ บนพื้นฐานของศักยภาพทรัพยากร ความหลากหลายทางชีวภาพของเห็ดในระดับชุมชน และสามารถยกระดับทางเศรษฐกิจระดับชุมชนจากการเก็บผลผลิตของเห็ดป่าเพื่อสร้างรายได้ในอนาคตต่อไป

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เก็บข้อมูลด้านเอกสาร

ทำการศึกษาข้อมูลทั่วไปของพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม และวางแผนกำหนดเส้นทางสำรวจ โดยเลือกเส้นทางหลักที่ชาวบ้านใช้ในการหาของป่าของพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม

3.2 การสำรวจและเก็บตัวอย่างของเห็ด

กำหนดเส้นทางสำรวจ โดยเลือกเส้นทางหลักที่ชาวบ้านใช้ในการหาของป่าของพื้นที่ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม โดยใช้วิธีการสำรวจแบบ Line transect ทั้ง 2 ข้างทางลึกเข้าไป 5 เมตร เป็นระยะทาง 3,750 เมตร สำรวจเก็บข้อมูลในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 โดยวัดค่า pH ของดิน ด้วยเครื่อง Rapites 4 way Analyzer และบันทึกค่าตำแหน่งพิกัดด้วยเครื่อง GARMIN รุ่น OREGON 750 จากนั้นบันทึกภาพดอกเห็ดจากสภาพจริง และวัดขนาดด้วยไม้บรรทัด เมื่อบันทึกผลเสร็จแล้วนำดอกเห็ดแต่ละชนิดใส่ในกล่องพลาสติก เขียนหมายเลขตัวอย่างกำกับไว้ในอุปกรณ์ใส่เห็ด เพื่อป้องกันการปะปนของสปอร์เห็ดแต่ละชนิดเพื่อใช้ศึกษาในห้องปฏิบัติการต่อไป

3.3 ศึกษาลักษณะสัณฐานเห็ดในห้องปฏิบัติการ

ทำการวัดขนาดของหมวกเห็ด ความยาวก้าน โดยใช้ไม้บรรทัดในการวัด ศึกษาลักษณะการเรียงตัวของครีบ และสีของดอก จดบันทึกข้อมูลลงในแบบบันทึก จากนั้นนำจำนวนเห็ดบางส่วนไปผ่าครึ่งเพื่อดูลักษณะสัณฐานของก้านภายใน แล้วทำการสเก็ทภาพหรือบันทึกภาพ

3.4 การทำรอยพิมพ์สปอร์และศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์

1) ศึกษาลักษณะของสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์เลนซ์ประกอบ (compound microscope) โดยตัดชิ้นส่วนของครีบมาเล็กน้อย วางบนกระดาษกรองย้อมด้วย Lactophenol cotton blue และ Melzer's reagent นำไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ บันทึกลักษณะของสปอร์ ผิวผนังสปอร์ และขนาดของสปอร์

2) เลือกเห็ดที่โตเต็มที่และสดมา 1 ดอก ใช้มีดตัดส่วนหมวกออกจากก้าน แล้วนำหมวกเห็ดไปคว่ำลงบนกระดาษเพื่อทำรอยพิมพ์สปอร์ เป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้สปอร์ตกลงบนแผ่นกระดาษรอยพิมพ์สปอร์ จากนั้นเก็บกระดาษรอยพิมพ์สปอร์ที่มีสปอร์ตกใส่ถุงพลาสติกและปิดผนึกด้วยเทปใส เพื่อศึกษาในขั้นต่อไป

3.5 การจัดจำแนกเห็ด

จัดจำแนกเห็ดเบื้องต้น ด้วยการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดอกเห็ด โดยดูจากลักษณะของดอกเห็ด สีของดอกเห็ด ลักษณะหมวกเห็ด การเรียงตัวของครีบ

และคุณลักษณะของสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เปรียบเทียบและอ้างอิงจากหนังสือ ความหลากหลายของเห็ดและราขนาดใหญ่ในประเทศไทย (อนงค์ จันทศรีกุล และคณะ, 2551) หนังสือความหลากหลายของเห็ดราในศูนย์การศึกษาสามพร้าว (กิ่งจันทน์ มะลิซ้อน และคณะ, 2559) หนังสือความหลากหลายของเห็ดราในพื้นที่ป่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เล่มที่ 1 (สุรางค์ เจริญทรัพย์ และคณะ, 2554) หนังสือความหลากหลายของเห็ดราในพื้นที่ป่าภาคเหนือ เล่มที่ 1 (สุรางค์ เจริญทรัพย์ และคณะ, 2554) หนังสือเห็ดในประเทศไทย(อนงค์ จันทศรีกุล และคณะ, 2550) หนังสือคู่มือความหลากหลายเห็ด (บารมี สกลรักษ์ และคณะ, 2560) และหนังสือความหลากหลายทางชีวภาพด้านเห็ดรา

3.6 คำนวณหาค่าดัชนีความหลากหลาย

ค่าดัชนีความเด่นชนิด (Dominance index) คือ ค่าดัชนีที่แสดงถึงเห็ดแต่ละชนิดที่มีความเด่น โดยใช้วิธีของ Simpson's index ดังนี้

$$D = \sum \left(\frac{ni}{N} \right)^2$$

เมื่อ D คือ ค่าดัชนีความเด่น

ni คือ จำนวนทั้งหมดที่พบในแต่ละสกุลเห็ด

N คือ จำนวนสกุลเห็ดที่พบทั้งหมด

4. ผลและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 การศึกษาด้านนิเวศวิทยาของเห็ดแต่ละชนิดที่สำรวจพบในพื้นที่ป่าของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565

ศึกษาแหล่งที่อยู่ของเห็ดป่าที่สำรวจพบในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 บริเวณที่ศึกษาเป็นป่าเต็ง ดินบริเวณที่พบเห็ดป่ามีสภาพเป็นดินร่วนปนทราย มีความสูงระดับน้ำทะเลอยู่ในช่วง 316.10-354.40 เมตร ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ในช่วง 55-62 % ค่า pH ของดินที่สามารถเจริญได้อยู่ที่ 4.20-5.30 ความชื้นของดินอยู่ที่ 10-30 % ความเข้มแสงของดินอยู่ที่ 3.00-5.70 พืชที่พบส่วนใหญ่คือ เต็ง รัง และพลวง เป็นต้น

4.2 จัดจำแนกตามแหล่งที่อยู่อาศัยของเห็ดป่าที่พบในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565

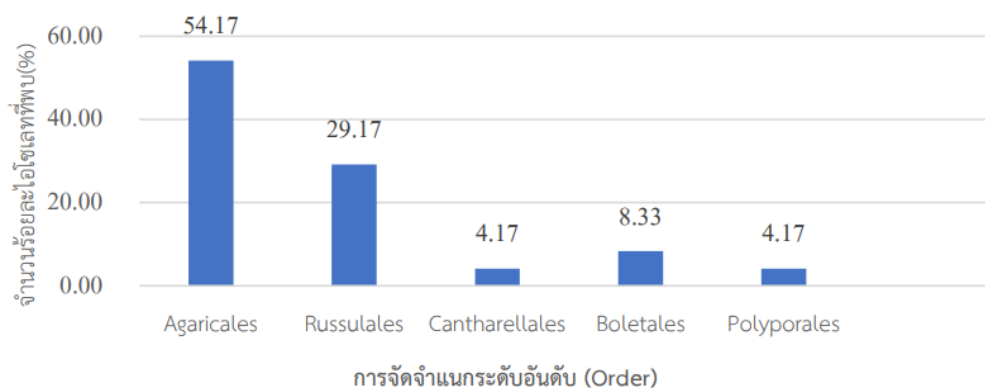
จากการสำรวจเห็ดป่าในพื้นที่โซนป่าอนุรักษ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม พบเห็ดทั้งหมด 24 ไอโซเลท เมื่อจัดจำแนกตามแหล่งที่อยู่อาศัย สามารถจัดจำแนกเป็นเห็ดที่พบขึ้นบนพื้นดินมากที่สุด และเห็ดที่พบบนขอนไม้ คิดเป็นร้อยละ 95.83 และ 4.17 ตามลำดับ

4.3 การจัดจำแนกลักษณะสัณฐานวิทยาของเห็ดป่าที่พบในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม

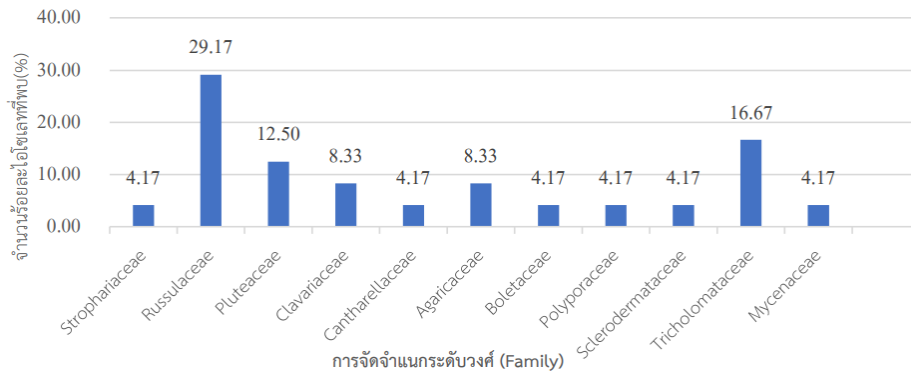
ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาภายนอกของเห็ดที่พบ โดยดูลักษณะของสีดอกเห็ดลักษณะภายใต้หมวกเห็ด (ครีบ หรือรู) โครงสร้างและผิวของหมวกเห็ด การมีวงแหวนหรือไม่มีวงแหวนจากก้าน เป็นข้อมูลในการจัดจำแนก จากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเห็ดที่สำรวจพบ 24 ไอโซเลท พบว่าลักษณะหมวกเป็นครีบ ลักษณะใต้หมวกเป็นรู และลักษณะใต้หมวกเป็นลักษณะอื่น คิดเป็นร้อยละ 79.17, 8.33 และ 12.50 ตามลำดับ

4.4 การจัดจำแนกเห็ดที่สำรวจพบในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม

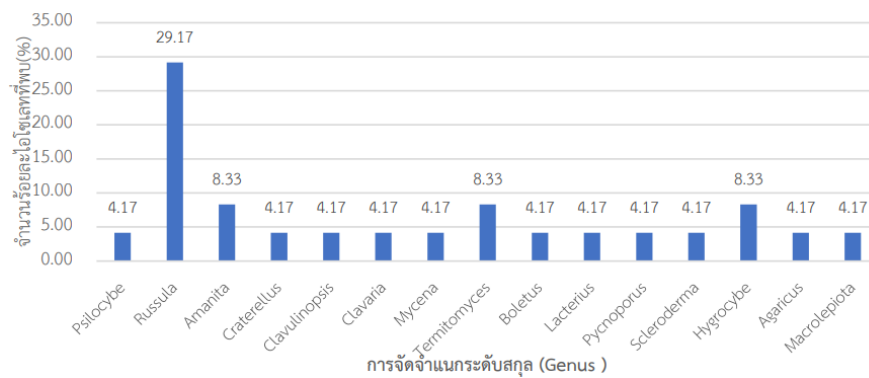
การสำรวจแบบ line transect ทั้งสองข้างทาง พบเห็ดทั้งหมด 24 ไอโซเลท จัดอยู่ใน 5 อันดับ 11 วงศ์ 15 สกุล อันดับที่พบมากที่สุดคือ Agaricales คิดเป็นร้อยละ 54.17 (ดังภาพที่ 1) วงศ์ที่พบมากที่สุดคือ Russulaceae คิดเป็นร้อยละ 29.17 (ดังภาพที่ 2) และสกุลที่พบมากที่สุดคือ *Russula* sp. คิดเป็นร้อยละ 29.17 (ดังภาพที่ 3 และ 4)



ภาพที่ 1 กราฟแสดงการจัดจำแนกเห็ดในระดับ Order ของเห็ดป่าที่พบในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม



ภาพที่ 2 กราฟแสดงการจัดจำแนกเห็ดในระดับวงศ์ (Family) ของเห็ดป่าที่พบในพื้นที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม



ภาพที่ 3 กราฟแสดงการจัดจำแนกเห็ดในระดับสกุล (Genus) ของเห็ดป่าที่พบในพื้นที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม



ภาพที่ 4 ตัวอย่างเห็ดจากการสำรวจที่พบมากที่สุด

(ก). *Amanita hemibapha* (Berk. & Broome) (ข). *Russula delica* Fr.
 (ค). *Russula virescens* (Schaeff.) Fr.

4.5 การจัดจำแนกโดยเกณฑ์การใช้ประโยชน์ของเห็ดป่าที่สำรวจพบในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม

จากการสำรวจเห็ดป่าในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 พบเห็ดทั้งหมด 24 ไอโซเลท สามารถจัดจำแนกโดยเกณฑ์การใช้ประโยชน์ จัดเป็นเห็ดที่รับประทานได้ เห็ดที่รับประทานไม่ได้ และไม่มีข้อมูลว่ารับประทานได้หรือไม่ คิดเป็นร้อยละ 58.33, 12.50 และ 29.17 ตามลำดับ

4.6 ค่าดัชนีความเด่นชนิดของเห็ดป่าที่พบในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างเห็ดป่าในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 พบเห็ดจำนวนทั้งหมด 24 ไอโซเลท สามารถจัดจำแนกได้ 5 อันดับ 11 วงศ์ 15 สกุล เมื่อนำไปหาค่าดัชนีความเด่นชนิดของเห็ดป่า พบว่า มีความเด่นชนิดเท่ากับ 0.274 ซึ่งสกุลเห็ดที่มีความสม่ำเสมอมากที่สุดคือ สกุล *Amanita* sp. รองลงมาคือ *Pycnoporus* sp. และ *Russula* sp. เท่ากับ 0.222, 0.030 และ 0.016 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ทั้งค่าความเด่นและความสม่ำเสมอมีค่าที่น้อยกว่า 1.00 มาก แสดงว่าเส้นทางที่ทำการสำรวจในครั้งนี้ พบทั้งจำนวนและชนิดของเห็ดป่าในจำนวนที่น้อย

จากการสำรวจเก็บเห็ดป่าที่พบในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม ทำการสำรวจในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 ใช้วิธีแบบ Line-transect ลึกเข้าไป 5 เมตร ทั้งสองข้างทาง พบเห็ดทั้งหมด 24 ไอโซเลท สามารถพบมากที่สุดคือ Order Agaricales คิดเป็นร้อยละ 54.17 จัดจำแนกได้ 11 Family พบมากที่สุดคือ Family Russulaceae คิดเป็นร้อยละ 29.17 จัดจำแนกได้ 15 Genus โดยพบมากที่สุดคือ *Russula* sp. คิดเป็นร้อยละ 29.17 จัดจำแนกโดยเกณฑ์การใช้ประโยชน์แบ่งเป็นรับประทานได้คิดเป็นร้อยละ 58.33 รับประทานไม่ได้คิดเป็นร้อยละ 12.50 และไม่มีข้อมูลว่ารับประทานได้คิดเป็นร้อยละ 29.17 ซึ่ง จะ พบ เห็ด ป่า ชนิด ที่ รับประทาน ได้ มากกว่า ในปี 2563 ที่ ผ่าน มา ซึ่งได้ทำการสำรวจในพื้นที่ป่าเต็งรัง ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน (บุญญรัตน์ เนตรกระจ่าง, 2563) ช่วงเวลาที่ทำการสำรวจเห็ดป่าเป็นช่วงฤดูฝน จึงทำให้สามารถพบเห็ดป่าชนิดที่สามารถรับประทานได้เป็นส่วนใหญ่ และสภาพป่าเป็นป่าเต็งรังที่ส่วนใหญ่ จะพบพืชในกลุ่มเต็ง รัง และพลวง เป็นต้น ซึ่งพืชกลุ่มนี้จัดได้ว่าเป็นพืชอาศัยของเห็ดป่าที่ต้องอาศัยต้นไม้มในการเจริญเติบโต หรือเราจะเรียกว่า เอกโตมัยคอร์ไรซา ได้แก่ เห็ดไข่ห่าน เห็ดหล่ม เห็ดแดง

และเห็ดเหาะ เป็นต้น ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกัน เนื่องจากสามารถพบอันดับ Agaricales และสกุล *Russula* sp. มากที่สุดเช่นกัน ซึ่งได้แก่ เห็ดตะไคล หรือเห็ดหล่มหลังเขียว (*Russula virescens*) และมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 55-62% ซึ่งสอดคล้องกัน (ชฎากัลป์ ชื่นชอบ และคณะ, 2560) จากการสำรวจในครั้งนี้ได้ค่าดัชนีที่แตกต่างกัน เนื่องจากการสำรวจในช่วงเดือนที่แตกต่างกัน จึงส่งผลทำให้สามารถพบชนิดของเห็ดป่าที่แตกต่างกันได้ ขึ้นอยู่กับสภาวะปัจจัยแวดล้อม และนิเวศวิทยาของป่าแต่ละประเภทที่จะส่งผล ทำให้การเกิดดอกเห็ดแต่ละชนิดได้ด้วยเช่นกัน (พัชราภา คำใจยา, 2560) จึงชี้ให้เห็นว่า ลักษณะสภาพอากาศ ส่งผลทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และอุณหภูมิในดินเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งเห็ดมักจะสร้างดอกเห็ดในช่วงฤดูฝนซึ่งมีความชื้นสูง และความชื้นกับลักษณะของดินยังส่งผลถึงค่า pH ของดินได้ด้วย ซึ่งในพื้นที่ป่าเต็งรังจะมีดินเป็นดินร่วนปนทราย จึงทำให้ไม่สามารถอุ้มน้ำเอาไว้ได้นาน จึงทำให้มีความชื้นในดินค่อนข้างต่ำ และพืชพรรณที่สามารถพบได้ในป่าเต็งรังมักจะไม่มียืนต้นที่มีขนาดใหญ่ จะพบแต่ในกลุ่ม เต็ง รัง และพลวง และจะต้องทนทานต่อไฟป่าที่อาจจะมีทุกปี จึงทำให้สภาพของป่าเป็นป่าโปร่ง ไม่ทึบ จึงอาจจะทำให้พบชนิดของเห็ดแตกต่างไปจากป่าประเภทอื่นๆ และส่งผลทำให้พบความหลากหลายของชนิดเห็ดที่ต่างกันได้อีกด้วย

5. สรุปผล

จากการศึกษาความหลากหลายชนิดของเห็ดป่าในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2565 นิเวศวิทยาของเห็ดป่าในป่าเต็งรัง สามารถพบเห็ดทั้งหมด 24 ไอโซเลท พบเห็ดที่ขึ้นบนดินมากที่สุด และสามารถจัดจำแนกได้ 5 อันดับ 11 วงศ์ 15 สกุล โดยอันดับที่พบมากที่สุดคือ Agaricales คิดเป็นร้อยละ 54.17 วงศ์ที่พบมากที่สุดคือ Russulaceae คิดเป็นร้อยละ 29.18 และสกุลที่พบมากที่สุดคือ *Russula* sp. คิดเป็นร้อยละ 29.17 จากการจัดจำแนกโดยเกณฑ์การใช้ประโยชน์ พบเห็ดที่รับประทานได้มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 58.33 ได้ค่าดัชนีความเด่นชนิดของเห็ด เท่ากับ 0.274 ช่วงเวลาที่ทำการสำรวจเป็นช่วงเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนอาจจะไม่มากพอ จึงส่งผลทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศไม่มากพอที่จะทำให้พบชนิดและปริมาณของเห็ดป่าที่หลากหลายได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ โดยโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ (อพ.สธ.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2565

เอกสารอ้างอิง

- กึ่งจันทน์ มะลิ ช้อน, ลักษิกา จิตมาตย์ และสุภารัตน์ สี ภูธร. (2559). *ความหลากหลายของเห็ดราในศูนย์การศึกษาสามพร้าว*. อนุสรณานี้: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรธานี.
- เกษม สร้อยทอง. (2537). *เห็ดและราขนาดใหญ่ในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ : ศิริธรรมออฟเซ็ท.
- ชฎากัลป์ ชื่นชอบ, ศรีนวล ต้นสุวรรณ และชัมย์พร เจริญพร. (2560). *ความหลากหลายของเห็ดป่าและราขนาดใหญ่ บริเวณวัดป่านันท์วัน บ้านมะค่า ตำบลโพหนอง อำเภอสีดา จังหวัดนครราชสีมา*. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*. 35 (1): 25-34
- บารมี สกลรักษ์, กิตติมา ต่วงแค, วินันท์ดา หิมะมาน, จันจิรา อายะวงศ์ และ กฤษณา พงษ์พานิช . (2560). *คู่มือการศึกษาความหลากหลายเห็ด*. สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพืช, กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ. :153 หน้า
- บุญญรัตน์ เนตรกระจ่าง. (2563) *ระบบนิเวศวิทยาและความหลากหลายทางชีวภาพของเห็ดในพื้นที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ศูนย์แม่ริม*. (ปริญญาณิพนธ์). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- พัชรภา คำใจยา. (2560). *ความหลากหลายทางชีวภาพของเห็ดในพื้นที่ป่าชุมชน ตำบลแม่แรม อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่*. (ปริญญาณิพนธ์). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- สุรางค์ เจริญทรัพย์, สุกัญญาณี แซประเสริฐ, วีรณา สมพีรวงศ์ และนิรดา แป้นนางรอง. (2554). *หนังสือความหลากหลายของเห็ดราในพื้นที่ป่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เล่มที่ 1*. กรุงเทพฯ : สำนักงานความหลากหลายทางชีวภาพด้านป่าไม้, กรมป่าไม้
- สุรางค์ เจริญทรัพย์, สุกัญญาณี แซประเสริฐ, วีรณา สมพีรวงศ์ และนิรดา แป้นนางรอง. (2554). *หนังสือความหลากหลายของเห็ดราในพื้นที่ป่าภาคเหนือ เล่มที่ 1*. กรุงเทพฯ : สำนักงานความหลากหลายทางชีวภาพด้านป่าไม้, กรมป่าไม้

- สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2560). *เห็ดหิ่งห้อย*
: กลุ่มป่าแก่งกระจาน เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาวและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียว.
กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.
- อนงค์ จันทร์ศรีกุล, ธาณี พานิชผล, อธิวัฒน์ บุญทวีคุณ และอนิวรรณ เฉลิมพงษ์. (2550).
หนังสือเห็ดในประเทศไทย. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ราชบัณฑิตยสถาน.
- อนงค์ จันทร์ศรีกุล, พูนพิไล สุวรรณฤทธิ์ และอุทัยวรรณ แสงวณิช. (2551).
ความหลากหลายของเห็ดและราขนาดใหญ่ในประเทศไทย.
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ประสิทธิภาพของโคโตซานที่เคลือบบนแผงไข่ ต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

อรรถพล ตันใสว^{1*} นันทยา เก่งเขตรกิจ¹ จุฑารัตน์ จีนดวง¹ และณัฐริกา ก้าวินจันทร์¹

¹ สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก
52 หมู่ 7 ตำบลบ้านกร่าง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

*E-mail: uttapoln_tan@rmutl.ac.th, 0629526695

บทคัดย่อ

การเกิดโรคของจังหวัดสามารถเกิดขึ้นได้จากการได้รับจุลินทรีย์ผ่านการกักตุนแผงไข่ที่ใช้เลี้ยง ซึ่งปกติมักมีจุลินทรีย์สะสมตลอดระยะเวลาการเลี้ยง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาประสิทธิภาพของโคโตซานที่นำมาเคลือบบนผิวแผงไข่ต่อการลดปริมาณจุลินทรีย์เนื่องจากโคโตซานเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางด้วยคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทำการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ จากการทดสอบโคโตซานที่ความเข้มข้น 0.2, 0.5 และ 1.0% (v/v) ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *Escherichia coli* DH5 α และเชื้อรา *Rhizopus* sp. ผลการทดสอบพบว่า ทั้ง 3 ความเข้มข้นสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ จากนั้นนำมาทดสอบบนแผงไข่ขนาด 50 ตารางเซนติเมตร โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ แผงไข่ที่ไม่เคลือบและเคลือบโคโตซาน 0.5% ทำการหดยดสารละลายเชื้อ *E. coli* DH5 α ที่มีปริมาณเชื้อ 8.0 log CFU/ml ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ให้ทั่วแผงไข่ บ่มที่อุณหภูมิห้อง นำมาตรวจปริมาณเชื้อบริเวณผิวแผงไข่ด้วยเทคนิค swab test ในวันที่ 1, สัปดาห์ที่ 2, 4 และ 6 ผลการตรวจพบว่าปริมาณจุลินทรีย์รวมบนผิวแผงไข่ที่ไม่เคลือบโคโตซานมีปริมาณเชื้อระหว่าง 4.23 \pm 0.43 – 5.39 \pm 0.36 log CFU/cm² ในขณะที่แผงไข่ที่เคลือบโคโตซานมีปริมาณเชื้อระหว่าง 1.40 \pm 0.17 – 3.35 \pm 0.28 log CFU/cm² ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าตลอดระยะเวลาของการทดสอบ ปริมาณเชื้อบนแผงไข่ที่ไม่เคลือบโคโตซานสูงกว่าแผงไข่ที่เคลือบโคโตซาน (> 2 log CFU/cm²) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p \leq 0.05) จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการนำโคโตซานไปใช้เคลือบแผงไข่สามารถช่วยควบคุมการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการเลี้ยงจังหวัดได้

คำสำคัญ: โคโตซาน, จังหวัด, แผงไข่

The Efficacy of Chitosan Coatings on the Inhibition of Microorganism Growth on Paper Egg Trays

Uttapoln Tansawai^{1*}, Nanthaya Kengkhetkit¹, Jutharut Jeendaung¹
and Nuttira Kavinchan¹

¹ Department of Science, Faculty of Science and Agricultural Technology,
Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok,
52 Moo 7, Ban Krang, Mueang Phitsanulok District, Phitsanulok Province 65000

*Email: uttapoln_tan@rmutl.ac.th, 0629526695

Abstract

Microorganisms on the surface of paper egg trays could cause cricket infestation through oral uptake. The aim of this research was to determine the efficacy of chitosan coating on inhibition of microorganism growths as chitosan is a biopolymer and widely-used as an antimicrobial agent. To evaluate the inhibition of the growths of *Escherichia coli* DH5 α and *Rhizopus* sp., the concentrations of chitosan used in this study were varied among 0.2, 0.5 and 1.0% (v/v). The results revealed that all concentrations showed the ability to inhibit the growth of both strains. The further study was carried out onto 50 cm² of paper egg trays coated with and without 0.5% chitosan. One milliliter of 8.0 log CFU/ml *E. coli* DH5 α suspension were spot inoculated on trays. Then, the trays were incubated at room temperature for 6 weeks. Total aerobic plate counts of samples on day 1, week 2, 4 and 6 were determined by swab test. The results exhibited that the numbers of aerobic plate count of the trays without and with chitosan coating were ranging from 4.23 \pm 0.43 to 5.39 \pm 0.36 and 1.40 \pm 0.17 to 3.35 \pm 0.28 log CFU/cm², respectively. Without chitosan coating, the numbers of aerobic plate counts were significantly higher (>2 log CFU/cm²) compared to those observed in the samples with a presence of chitosan throughout the period of assessment ($p \leq 0.05$). Thus, the chitosan coating on paper egg trays could be beneficial in order to control the increase of microorganism throughout the cricket production.

Keywords: Chitosan, Cricket, Paper egg tray

1. บทนำ

จังหวัดเป็นแมลงเศรษฐกิจที่ได้รับความสนใจในการเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกใหม่ พบการบริโภคในหลายประเทศทั่วโลก (Magara *et al.*, 2021) มีการขยายตัวของตลาดสินค้าเพิ่มสูงทั้งในและต่างประเทศ สำหรับประเทศไทยมีฟาร์มเลี้ยงจิ้งหรีดกระจายอยู่ทุกภาค ภาครัฐได้มีการกระตุ้นให้เกษตรกรผู้เลี้ยงจิ้งหรีดมีการยกระดับฟาร์มให้มีมาตรฐานมากขึ้น เพื่อการส่งออกสินค้าจากจังหวัดที่มีคุณภาพ โดยควบคุมมาตรฐานการเลี้ยงตั้งแต่โรงเรือน วัสดุหลบซ่อน อาหาร การเก็บผลผลิต รวมไปถึงการแปรรูป สำหรับวัสดุหลบซ่อนที่นิยมใช้เลี้ยงจิ้งหรีด คือ แฝงไข่ เนื่องจากราคาไม่แพง หาง่าย และมีรูปทรงที่เอื้อต่อการดำรงชีวิตของจิ้งหรีด อีกทั้งวิธีการฆ่าเชื้อมีความสะดวก ส่วนใหญ่แล้วเกษตรกรฆ่าเชื้อบนแฝงไข่ ด้วยการอบความร้อนจากการตากแดดหรือใช้เตาอบ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะมีการฆ่าเชื้อแฝงไข่ก่อนนำมาเลี้ยง แต่ระหว่างการเลี้ยงจิ้งหรีด การสะสมปริมาณของจุลินทรีย์ ที่บริเวณผิวของแฝงไข่สามารถเพิ่มสูงขึ้นได้เนื่องจากมีปัจจัยที่เอื้อ เช่น การสะสมของเศษอาหารและน้ำบนแฝงไข่ ปริมาณความชื้นที่สะสมภายในบ่อ การถ่ายเทของอากาศภายในบ่อเลี้ยง รวมไปถึงการปนเปื้อนจุลินทรีย์โดยตรงที่มาจากตัวจิ้งหรีดขณะเกาะบนแฝงไข่ ปัจจัยดังกล่าวอาจทำให้ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้นจนเกิดการติดเชื้อในจิ้งหรีด ทำให้เกิดการระบาดของโรคและส่งผลกระทบต่อจิ้งหรีดตายทั้งบ่อเลี้ยงได้ เกษตรกรจำเป็นต้องมีการพักบ่อ ทำความสะอาดและทิ้งช่วงเพื่อไม่ให้เกิดการระบาดซ้ำอีก ส่งผลให้เกษตรกรเกิดการเสียหายได้และเวลาการลดการสะสมของจุลินทรีย์บริเวณผิวแฝงไข่ จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยป้องกันการติดเชื้อในจิ้งหรีดได้ โดยไคโตซานซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่ได้รับความสนใจเนื่องจากมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์หลายกลุ่ม จึงถูกนำมาใช้เป็นสารกันเสียในอาหาร อีกทั้งมีการใช้ประโยชน์ในรูปสารเคลือบผลผลิตทางการเกษตร เช่น ผักผลไม้ เป็นต้น (Devlieghere *et al.*, 2004)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไคโตซานในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยมาเคลือบผิวแฝงไข่ และตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์สะสมบนผิวแฝงไข่ตลอดระยะเวลาทดสอบ 6 สัปดาห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากไคโตซานในการเคลือบแฝงไข่สำหรับการทดลองเลี้ยงจิ้งหรีดในบ่อจริงต่อไป

2. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคในจิ้งหรีดมีหลายกลุ่ม เช่น ไวรัส แบคทีเรีย เชื้อรา และโปรโตซัว เป็นต้น สาเหตุของการเกิดโรคในจิ้งหรีดส่วนหนึ่งมาจากการสะสมของจุลินทรีย์

ที่เพิ่มสูงขึ้นภายในบ่อจิ้งหรีดระหว่างการเลี้ยง โดยมีปัจจัยเสริมให้จุลินทรีย์มีจำนวนเพิ่มขึ้น เช่น อาหารและน้ำที่ตกค้างภายในบ่อ การสะสมของเชื้อในวัสดุรองพื้นบ่อหรือผิววัสดุหลบซ่อน เป็นต้น ช่องทางหลักที่เชื้อจะเข้าสู่ตัวจิ้งหรีดได้ คือ ช่องปาก (Eilenberg *et al.*, 2015) ผ่านการกินอาหารหรือกัดแทะวัสดุต่างๆที่ใช้เลี้ยง หากวัสดุที่ใช้เลี้ยงจิ้งหรีดมีการสะสมของจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก ก็ยังมีโอกาสเกิดการติดเชื้อในจิ้งหรีดได้ มีงานวิจัยหลายฉบับที่รายงานตรวจพบกลุ่มแบคทีเรียและราในวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการเลี้ยงจิ้งหรีด เช่น ตรวจพบเชื้อ *Pseudomonas* spp., *Staphylococcus* spp., Enterobacteriaceae เป็นต้น ในกล่องเลี้ยงจิ้งหรีด (Lulietto, 2018) หรือแม้กระทั่งแผงไข่ ซึ่งอาจมีเชื้อ *Salmonella* ปนเปื้อนมาจากเปลือกไข่ อยู่บริเวณผิวแผงไข่ได้ (Regmi *et al.*, 2021) และการปนเปื้อนจุลินทรีย์ต่างๆ ภายในบ่อ สามารถส่งผลให้จิ้งหรีดก่อนนำไปขาย มีปริมาณเชื้อสูงได้เช่นกัน โดยมีรายงานพบจุลินทรีย์สูงถึง 10^8 CFU/g (Fernandez-Cassi *et al.*, 2019) การลดการสะสมของจุลินทรีย์จึงเป็นวิธีการหนึ่งจะช่วยลดการติดเชื้อของจิ้งหรีดให้น้อยลงได้ เช่น การรักษาความสะอาดหรือควบคุมคุณภาพของวัสดุที่ใช้เลี้ยงให้ได้มาตรฐาน อย่างไรก็ตามสารเคมีหรือยาปฏิชีวนะที่ใช้ในการควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ระหว่างการเลี้ยงจิ้งหรีดไม่นิยมใช้ เนื่องจากไม่มีรายงานถึงผลกระทบต่อการผลิตจิ้งหรีด และไม่มีการศึกษาที่ชัดเจน ประกอบกับอาจมีการตกค้างในจิ้งหรีดซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคได้ ด้วยข้อจำกัดดังกล่าว ไคโตซานจึงได้รับความสนใจเนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่ได้จากไคติน มีการนำมาใช้เป็นสารกันเสียในอาหารและดัดแปลงเป็นสารเคลือบผักและผลไม้ เพื่อลดการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ มีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้หลายกลุ่ม เช่น แบคทีเรีย รา ยีสต์ และไวรัส เป็นต้น และมีกลไกการออกฤทธิ์กับเซลล์ของจุลินทรีย์ได้หลายตำแหน่ง เช่น รบกวนการสังเคราะห์ผนังเซลล์ การสังเคราะห์สารต่างๆ ภายในเซลล์ และรบกวนการเข้าออกของสารที่จำเป็นต่อเซลล์จุลินทรีย์ เป็นต้น (บุญภาพและคณะ, 2560) ดังนั้นการนำไคโตซานมาเคลือบบนผิวแผงไข่ จึงอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้เพื่อควบคุมปริมาณจุลินทรีย์บนวัสดุเลี้ยงจิ้งหรีด

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาความเข้มข้นของไคโตซานในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและเชื้อรา

แบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบ คือ *Escherichia coli* DH5 α และเชื้อราที่ใช้ คือ *Rhizopus* sp. สารยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและรา คือ สารละลายไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้ง (เกรดทางการค้า) มาเตรียมเป็นสารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้น 0.2, 0.5 และ 1% (v/v) การทดสอบการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและเชื้อราใช้เทคนิค Broth dilution

method และ Agar dilution method ตามลำดับ โดยวิธีการเตรียมความเข้มข้นของโคโตซาน ที่ผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อและปริมาณเชื้อทดสอบ ทำตามวิธีการของ Clinical and Laboratory Standard Institute (2014) ทำการทดสอบ 3 ซ้ำต่อ 1 ความเข้มข้น มีชุดควบคุมคือ อาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่ผสมโคโตซาน

การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย ทำโดยการฉีดเชื้อ *E. coli* DH5 α บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar (NA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง เชื้อเชื้อ 1 – 2 โคลนี มาถ่ายลงอาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller-Hinton broth (MHB) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ประมาณ 6 – 8 ชั่วโมง บนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที นำมาวัดความขุ่นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร ให้ได้ค่าความขุ่นประมาณ 0.08 – 0.1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5 McFarland standard (ประมาณ 8.0 log CFU/ml) (Ambrosio *et al.*, 2019) นำอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการปรับปริมาณเชื้อแล้ว ปริมาตร 2 มิลลิลิตร มาใส่ลงอาหารเลี้ยงเชื้อ MHB ใหม่ 2 มิลลิลิตร ที่มีการผสมความเข้มข้นของโคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจสอบผลการเจริญของเชื้อจากการสังเกตความขุ่นของอาหาร และยืนยันผลโดยการนำห้วงเชื้อ จุ่มลงอาหารเลี้ยงเชื้อแล้วนำมาฉีดบนอาหาร NA นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจสอบผลการเจริญของเชื้อ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม คือ เชื้อที่เจริญในอาหาร ไม่ผสมโคโตซาน

การทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา ทำโดยการเตรียมเชื้อราทดสอบด้วยการจุด เชื้อราลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar (PDA) บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ทำการเตรียมอาหาร PDA ที่ผสมโคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ ใช้ cork borer จุ่มแอลกอฮอล์ผ่านไฟเพื่อฆ่าเชื้อ นำไปเจาะลงอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ได้เลี้ยงเชื้อราไว้ก่อนหน้านี้ นำอาหารเลี้ยงเชื้อที่เจาะได้ไปวางลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อใหม่ที่มีการผสมสารโคโตซาน นำไปบ่มที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน นำมาตรวจสอบผลการเจริญของเส้นใย เปรียบเทียบกับชุดควบคุม คือ เชื้อราที่เจริญบนอาหารที่ไม่ผสมโคโตซาน

3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของโคโตซานที่เคลือบบนแผงไข่ต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

ทดสอบประสิทธิภาพของโคโตซานที่เคลือบบนแผงไข่ต่อการยับยั้งการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ตลอดระยะเวลา 6 สัปดาห์ ภายในห้องปฏิบัติการ แบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แผงไข่ที่ไม่ได้เคลือบและมีการเคลือบโคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5% (v/v) โดยเตรียมตัวอย่างแผงไข่ขนาด 50 ตารางเซนติเมตร ดังภาพที่ 1 นำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ จากนั้นไปเคลือบสารละลายโคโตซาน ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง นำแผงไข่ทั้ง 2 กลุ่มมาหดยดสารละลายเชื้อ

E. coli DH5 α ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ที่มีปริมาณเชื้อเท่ากับ 8.0 log CFU/ml (ตามวิธีการเตรียมในข้อ 3.1) หยดเป็นจุดเล็กๆให้ทั่วพื้นที่ 50 ตารางเซนติเมตร ทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นใส่ลงในกล่องพลาสติกปราศจากเชื้อ 1 แผ่นต่อ 1 กล่อง ปิดฝากล่องด้วยผ้าขาวบาง ปราศจากเชื้อ ตั้งทิ้งไว้อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างมาตรวจในวันที่ 1, สัปดาห์ที่ 2, 4 และ 6 โดยไม่ใช้ตัวอย่างเดิม ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำมาแขวนไขมาตรวจหาเชื้อบริเวณผิวแผงไข่ด้วยเทคนิค Swab test ตามวิธีการของ Da Silva *et al.* (2013) โดยตรวจปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และเชื้อราด้วยเทคนิค Spread plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (PCA) และ Dichloran rose bengal chloramphenicol agar (DRBC) ตามวิธีการของ BAM chapter 3 และ 18 (U.S. Food and Drug Administration, 2001) ตามลำดับ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 1 แผงไข่ขนาด 50 ตารางเซนติเมตรที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของไคโตซาน

4. ผลการวิจัย

4.1 ความเข้มข้นของไคโตซานในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและเชื้อรา

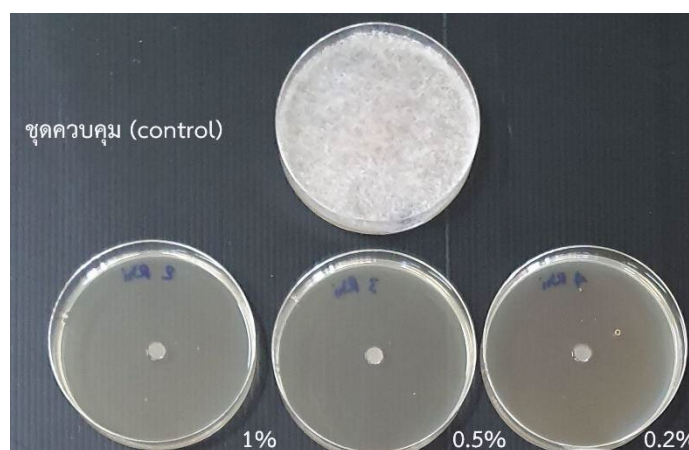
ผลการทดสอบพบว่า ไคโตซานทุกระดับความเข้มข้นสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E. coli* DH5 α และ *Rhizopus* sp. ได้ เชื้อทั้งสองชนิดสามารถเจริญได้ในชุดควบคุมที่ไม่มีการผสมไคโตซานลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ อย่างไรก็ตามไคโตซานที่สกัดได้จากเปลือกกุ้งมีตัวทำลายคือ กรดอะซิติค ดังนั้นจึงต้องใช้สารละลายกรดอะซิติคเป็นชุดควบคุมเพื่อยืนยันประสิทธิภาพของการยับยั้งการเจริญของเชื้อที่มาจากไคโตซาน โดยความเข้มข้นของไคโตซาน 0.2, 0.5 และ 1.0% มีเปอร์เซ็นต์ของกรดอะซิติครวมอยู่ในสารละลายเท่ากับ 0.5, 1.25 และ 2.5% ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า การใช้กรดอะซิติคที่ 0.5 และ 1.25% ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E. coli* DH5 α ได้ แสดงว่าประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* DH5 α ที่ระดับความเข้มข้นของไคโตซาน 0.2 และ 0.5% มาจากคุณสมบัติของไคโตซาน

ทั้งนี้ เมื่อทดสอบกรดอะซิติกที่ 2.5% พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ แสดงให้เห็นว่าการใช้ไคโตซาน 1% ความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ ส่วนหนึ่งมาจากกรดอะซิติกร่วมด้วย ดังตารางที่ 1 และภาพที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของไคโตซานต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้น ของสาร (v/v)	ความเข้มข้น ของสาร (%)	การเจริญของจุลินทรีย์ทดสอบ	
		<i>E. coli</i> DH5 α	<i>Rhizopus</i> sp.
ไคโตซาน	0.2	-	-
	0.5	-	-
	1.0	-	-
กรดอะซิติก	0.5	+	-
	1.25	+	-
	2.5	-	-
ชุดควบคุม (Control)		+	+

หมายเหตุ + คือ พบการเจริญของเชื้อ และ - คือ ไม่พบการเจริญของเชื้อ



ภาพที่ 2 ผลการทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Rhizopus* sp. ด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.2 ประสิทธิภาพของไคโตซานที่เคลือบบนแผงไข่ต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

จากการผลการทดสอบข้อ 4.1 ถึงแม้ทุกความเข้มข้นของไคโตซานจะสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ แต่การใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 1.0% (v/v) เคลือบบนแผงไข่อาจไม่สะดวกต่อการเตรียมเนื่องจากสารมีความหนืดมาก ดังนั้น ในการทดสอบนี้จึงเลือกใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5% เนื่องจากมีความสะดวกในการเตรียมสารและการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเกษตรกร ผลทดสอบประสิทธิภาพของไคโตซานที่เคลือบบนแผงไข่ขนาด 50 ตารางเซนติเมตร และทำการหยดสารละลาย *E. coli* DH5 α (8.0 log CFU/ml) ปริมาตร 1 มิลลิลิตรทั่วแผงไข่ บ่มแผงไข่ในกล่องพลาสติกที่มีผ้าขาวบางปิดไว้เพื่อให้แผงไข่มีโอกาสได้รับเชื้อจากสภาพแวดล้อมภายนอกเหนือจากเชื้อที่หยดไว้ตั้งแต่ต้น และทำการตรวจติดตามปริมาณเชื้อตลอดระยะเวลา 6 สัปดาห์ ผลการตรวจพบว่า จุลินทรีย์บนผิวแผงไข่ที่ไม่เคลือบไคโตซานมีปริมาณเชื้อระหว่าง $4.23 \pm 0.43 - 5.39 \pm 0.36$ log CFU/cm² ในขณะที่จุลินทรีย์บนผิวแผงไข่ที่มีการเคลือบไคโตซานมีปริมาณเชื้อระหว่าง $1.40 \pm 0.17 - 3.35 \pm 0.28$ log CFU/cm² ทุกช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจ จุลินทรีย์บนผิวแผงไข่ที่ไม่เคลือบไคโตซานจะมีปริมาณเชื้อสูงกว่าแผงที่มีการเคลือบไคโตซาน โดยมากกว่า 2 log CFU/cm² และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 2 นอกจากนี้ปริมาณเชื้อที่ตรวจพบในแผงไข่ที่ไม่มีการเคลือบไคโตซานตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 - 6 มีปริมาณเชื้อใกล้เคียงกัน ในขณะที่เดียวกันแผงไข่ที่มีการเคลือบไคโตซาน ปริมาณเชื้อมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง สำหรับการตรวจหาปริมาณเชื้อราและยีสต์บริเวณผิวแผงไข่ทั้งสองกลุ่มให้ผลในทิศทางเดียวกัน คือ ตรวจไม่พบเชื้อทุกระยะของการทดสอบ

ตารางที่ 2 ปริมาณจุลินทรีย์รวมบนแผงไข่ตลอดระยะเวลาการทดสอบ 6 สัปดาห์

ระยะเวลา	ปริมาณจุลินทรีย์ (log CFU/cm ²)	
	ชุดควบคุม	ไคโตซาน 0.5%
วันที่ 1	5.39 ± 0.36^a	3.35 ± 0.28^b
สัปดาห์ที่ 2	4.85 ± 0.57^a	2.62 ± 0.90^b
สัปดาห์ที่ 4	4.48 ± 0.41^a	1.63 ± 0.06^b
สัปดาห์ที่ 6	4.23 ± 0.43^a	1.40 ± 0.17^b

หมายเหตุ - ปริมาณจุลินทรีย์แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5. สรุปและอภิปรายผล

การประยุกต์ใช้โคโตซานเพื่อควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ในสินค้าทางเกษตรกรรมได้มีการวิจัยแนวทางการใช้หลายรูปแบบ เช่น การเคลือบบนกระดาษห่อผลไม้เพื่อควบคุมการเจริญของเชื้อราก่อโรคแอนแทรกคโนสในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยว (รัชฎาพร และคณะ, 2558) แผ่นฟิล์มถนอมอาหารจากโคโตซานผสมกับน้ำมันหอมระเหย (วัชรวิดี และคณะ, 2563) หรือการเคลือบโคโตซานร่วมกับกรดซิตริกบนผิวมะนาว (ดวงใจ และคณะ, 2562) เป็นต้น ผลการวิจัยครั้งนี้ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยก่อนหน้านี้นั้นเช่นกัน คือโคโตซานสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ โดยช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์บนแผงไข่ได้ตลอดระยะเวลาการทดสอบในห้องปฏิบัติการ 6 สัปดาห์ ผลการวิจัยนี้อาจใช้เป็นแนวทางของการนำโคโตซานไปเคลือบแผงไข่ในบ่อเลี้ยงจิ้งหรีดสภาพจริง เพื่อช่วยป้องกันการสะสมของจุลินทรีย์ระหว่างการเลี้ยงไม่ให้สูงจนเกิดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อของจิ้งหรีดได้

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยประจำปี พ.ศ. 2565 ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือในการวิจัย และขอขอบคุณรศ.ดร. พรรณนิกา ฤตวิรุฬห์ ภาควิชาจุลชีววิทยา และปรสิทวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื่อในการทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

ดวงใจ ทองคำ, ปรีดียาทร แก้วมณี, ธวิช อินทรพันธุ์, และมยุรี กระจายกลาง. (2562).

ผลการเคลือบผิวด้วยโคโตซานร่วมกับกรดซิตริกต่ออายุการเก็บรักษาผลมะนาวพันธุ์แป้น. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 50:1(พิเศษ), 38-44.

บุญภาพ ไชยศรีขวัญ, ณัฐธิดา รักกะเปา, อติพล พัตนิยะ, จรัสลักษณ์ เพชรวัง, และอุไรวรรณ วีระพันธ์. (2560). ฤทธิ์และกลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ของโคโตซานตลอดจนอนุพันธ์และคอมพอสิตของโคโตซาน. *วารสารวิทยาศาสตร์ มศว*, 33(1), 297-319.

- รัชฎาพร ใจมั่น, เจริญขวัญ สังข์สุวรรณ, และปริญญา จันทศรี. (2558). ประสิทธิภาพของกระดาษเคลือบไคโตซานผสมวานิลลินที่มีต่อการควบคุมโรคแอนแทรกซ์ในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 46:3/1(พิเศษ), 363-366.
- วัชรวิดี ลิ้มสกุล, ชงชัย สุธีร์ศักดิ์, เสาวลักษณ์ รอดเจริญ, และปวีร์รต วรรณงาม. (2563). สมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มไคโตซานผสมน้ำมันหอมระเหยจากเทพทาร์. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 48(4), 502-510.
- Ambrosio, C. M. S., Ikeda, N. Y., Miano, A. C., Saldaña, E., Moreno, A. M., Stashenko, E., ..., and Da Gloria, E. M. (2019). Unraveling the Selective Antibacterial Activity and Chemical Composition of Citrus Essential Oils. *Scientific Reports*, 9: 17719. doi: 10.1038/s41598-019-54084-3
- Da Silva, N., Taniwaki, M. H., Junqueira, V. C., Silveira, N., do Nascimento, M. da S., and Gomes, R. A. R., (2013). Microbiological Examination Methods of Food and Water: a Laboratory Manual. CRC Press.
- Devlieghere, F., Vermeulen, A. and Debevere, J. (2004). Chitosan: Antimicrobial Activity, Interactions with Food cComponents and Applicability as a Coating on Fruit and Vegetable. *Food Microbiology*, 21(6): 703-714. doi.org/10.1016/j.fm.2004.02.008
- Eilenberg, J., Vlak, J. M., Nielsen-LeRoux, C., Cappelozza, S., and Jensen, A.B. (2015). Diseases in Insects Produced for Food and Feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(2): 87-102. doi: 10.3920/JIFF2014.0022
- Fernandez-Cassi, X., Supeanu, A., Vaga, M., Jansson, A., Boqvist, S., and Vagsholm, I. (2019). The House Cricket (*Acheta domesticus*) as a Novel Food: a Risk Profile. *Journal of Insects as Food and Feed*. 5(2), 137-157. doi:10.3920/JIFF2018.0021
- Lulietto, M. F. (2018). House Cricket Small-Scale Farming: On Site Monitoring of Microbial Levels. Proceeding of Annual Scientific Conference and Annual General Meeting of the European College of Veterinary Public Health “Fading of the HACCP after fourdecades: new trends in VPH for food safety”. Perugia, Italy. 17th – 19th October 2018.
- Magara, H. J. O., Niassy, S., Ayieko, M. A., Mukundamago, M., Egonyu, J. P., Tanga, C. M., ..., Ekési, S. (2021). Edible Crickets (Orthoptera) Around the World:

Distribution, Nutritional Value, and Other Benefits – A review. *Frontiers in Nutrition*, 7, 537915. doi: 10.3389/fnut.2020.537915

Regmi, P., Jones, D. R., Gast, R. K., Guard, J. Y., and Karcher, D. M. (2021). Egg Carton and Eggshell: Is There a Possibility of *Salmonella* Cross-Contamination?. *Journal of Applied Poultry Research*. 30(3), 100185. doi:10.1016/j.japr.2021.100185

U.S. Food and Drug Administration. (2001). BAM Chapter 3: Aerobic Plate Count. Retrieved 1 may 2021 from <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-3-aerobic-plate-count>.

U.S. Food and Drug Administration. (2001). BAM chapter 18: Yeasts, Mold and Mycotoxins. Retrieved 1 may 2021 from <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-18-yeasts-molds-and-mycotoxins>

**ผลของ IAA NAA และสารสกัดจากแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วง
กลุ่มไม่สะสมเม็ดกำมะถันในลูกบอลปักชำต่อการชักนำให้เกิดราก
ของปลายยอดมันม่วงญี่ปุ่น และหน้าวัวที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ**

**นพพร ทับทอง¹ วาสนา สร้อยสน¹ เพียงพิมพ์ ชิดบุรี¹ ศิริพรรณ สารินทร์²
ธनुฉวี พรหมบัญญัติ³ พิทักษ์ พุทธรชัช⁴ และอภิชาติ ชิดบุรี^{4*}**

¹สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง จังหวัดลำปาง 52000

²ภาควิชาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

³ภาควิชาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

⁴สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง 52000

*E-mail: chidburee@rmutl.ac.th, 093-256-4868

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ IAA (Indole-3-Acetic Acid) NAA (Naphthyl Acetic Acid) และสารสกัดจากแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมเม็ดกำมะถัน (Purple Non-Sulfur Photosynthetic Bacteria; PNSB) ที่เติมในลูกบอลปักชำ (Cutting-ball) ต่อการชักนำให้เกิดรากของปลายยอดมันม่วงญี่ปุ่นและหน้าวัวที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มี 5 กรรมวิธี ๆ ละ 12 ช้ำ โดยอาหารสูตร MS (Murashige and Skoog medium) +0.5 มก./ล. IAA (Treatment 1; T1), อาหาร สูตร MS+0.5 มก./ล. NAA (T2) และ อาหารสูตร MS+10 มล./ล. PNSB (T3) เปรียบเทียบกับที่เติมอาหารสูตร MS (ชุดตรวจสอบ; T4) และ น้ำกลั่น (ชุดควบคุม; T5) ผลการทดลองพบว่า ร้อยละการเกิดรากของมันม่วงญี่ปุ่น และหน้าวัว น้ำหนักสดและแห้ง ในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับความยาวรากของพืชทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมันม่วงญี่ปุ่นในลูกบอลปักชำที่เติมน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) อาหารสูตร MS (ชุดตรวจสอบ) และอาหารสูตร MS+0.5 มก./ล. IAA มีความยาวรากมากที่สุดคือ 6.85 ± 1.31 , 5.77 ± 0.84 และ 5.48 ± 0.86 ซม. ตามลำดับ ส่วนหน้าวัวมีความยาวรากที่สุดในลูกบอลปักชำที่เติมน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) เท่ากับ 9.30 ± 1.83 ซม.และอาหารสูตร MS+10 มล./ล. PNSB เท่ากับ 6.32 ± 1.08 ซม. แต่อย่างไรก็ตามพบว่า คุณภาพและลักษณะของรากที่เจริญและพัฒนาในลูกบอลปักชำที่เติม IAA NAA และสารสกัด PNSB มีรากแขนงที่แข็งแรงและไม่อวบน้ำ

คำสำคัญ: ไอเอเอ, เอ็นเอเอ, สารสกัดแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมเม็ดกำมะถัน, ลูกบอลปักชำ

**Effects of IAA, NAA and purple non-sulfur photosynthetic
bacterial extract in cutting-ball on root induction of
Japanese-purple sweet potato and anthurium shoot-tips
from tissue culture**

Nopphon Thabthong¹ Wasana Sroion¹ Piengpim Chidburee¹ Siripun Sarin²
Thanawut Prombunchachai³ Pitak Phuttawanchai⁴ and Aphichat Chidburee^{4*}

¹Department of Science, Faculty of Science and Agricultural Technology,
Rajamangala University of Technology Lanna Lampang Lampang province 52000

²Department of Microbiology and Parasitology, Faculty of Medical Science,
Nuresuan University, Phitsanulok province 65000

³ Department of Microbiology and Parasitology, Faculty of Medical Science,
University of Phayao, Phayao Province 56000

⁴Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna.
Lampang province, 52000

*E-mail: chidburee@rmutl.ac.th, 093-2564868

Abstract

The purpose of this study was to determine the effect of IAA (Indole-3-Acetic Acid), NAA (Naphthyl Acetic Acid), and purple non-sulfur photosynthetic bacteria (PNSB) added to cutting-balls on root induction of shoot tips of Japanese sweet potato and Anthurium obtained from tissue culture. Completely Randomized Design (CRD) was planned for 5 treatments with 12 replications each including the MS medium (Murashige and Skoog medium) 0.5 mg/l IAA (Treatment 1: T1), the MS medium+ 0.5 mg/l NAA (T2) and MS medium+ 10 ml/l PNSB (T3) which were compared with the MS medium (T4) and distilled water as a control (T5). The result showed that the percentage of root formation, fresh and dry weight of both Japanese purple sweet potato and anthurium were no statistical differences in all treatments. The root length of those two plants was statistically significant difference ($P < 0.05$) for Japanese purple yam in ball cuttings filled with distilled water (T5), MS medium (T4) and MS medium+ 0.5 mg/l IAA (T1) gave the largest root lengths of

6.85±1.31, 5.77±0.84 and 5.48±0.86 cm, respectively. While the root lengths of Anthurium cultured in distilled water (T5) and MS medium 10 ml/l PNSB (T3) were 9.30±1.83 and 6.32±1.08 cm. However, the quality and characteristics of root growth and development in IAA. NAA and PNSB extract had branch roots that were strong and not succulent.

Keywords: IAA, NAA purple non-sulfur photosynthetic bacteria extract, cutting-ball

1. บทนำ

ปัจจุบันมันม่วงญี่ปุ่น (Japanese sweet potato) และหน้าวัว (Anthurium) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและมีมูลค่าหลายล้านบาท โดยมันม่วงญี่ปุ่น ราคาขาย 50-55 บาท/กก. มีการส่งเสริมให้ปลูกช่วงฤดูแล้งทดแทนการทำนาปรัง (ศิริลักษณ์ กมล และคณะ, 2563) ส่วนหน้าวัวมีแหล่งปลูกในประเทศไทยที่สำคัญอยู่ทางภาคใต้ และภาคเหนือ ปลูกเป็นการค้าประมาณ 120 ไร่ ให้ผลผลิตแล้ว 90 ไร่ หรือ 720,000 ต้น ทำรายได้ต่อไร่ถึง 140,000.- บาท/ไร่/ปี (สุเมธ อ่องภา, 2558) ทำให้มีความต้องการต้นกล้าในการเพาะปลูกเป็นจำนวนมาก ซึ่งการขยายพันธุ์พืชโดยวิธีปักชำของทั้งสองชนิดสามารถทำการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การตัดชำยอด การแยกหน่อ และการปักชำทำให้ได้ปริมาณต้นกล้าที่จำนวนน้อย และใช้ระยะเวลาสั้น อีกทั้งต้องใช้ต้นแม่พันธุ์เป็นจำนวนมาก (มูลนิธิโครงการหลวง, 2549; รังสิมา อัมพวัน และคณะ, 2559) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการผลิตต้นกล้าของมันม่วงญี่ปุ่นและหน้าวัวใช้เทคโนโลยีชีวภาพมากขึ้นด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช (Plant tissue culture) เป็นวิธีที่ให้ต้นที่มีลักษณะตรงตามต้นแม่พันธุ์ได้จำนวนต้นกล้าปริมาณมากในระยะเวลาที่รวดเร็ว (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559) ในขั้นตอนของการขยายพันธุ์ด้วยเทคนิควิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ต้องทำการเพาะเลี้ยงบนอาหารที่ประกอบด้วยธาตุอาหาร และสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Regulators; PGRs) โดยขั้นตอนของการชักนำให้เกิดรากเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อให้ได้ต้นใหม่ที่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มของออกซิน (auxin) ได้แก่ IAA (Indole-3-Acetic Acid) NAA (Naphthyl Acetic Acid) สามารถทำให้การชักนำให้เกิดรากได้ นอกจากนี้มีการใช้สารสกัดจากจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตออกซิน เช่น แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมเม็ดกำมะถัน (Purple Non-Sulfur Photosynthetic Bacteria; PNSB) มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ที่สามารถผลิตออกซินได้ เช่น IAA อีกทั้งได้การพัฒนาเทคนิค วิธีการชักนำให้ เกิดรากของชิ้นส่วน

ปลายยอดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า ลูกบอลปักชำ (Cutting ball) มาใช้ เพื่อลดปัญหาการย้ายออกปลูกของต้นกล้าที่ให้มีการ รอดตายมากขึ้น ดังนั้นการศึกษาค้นคว้านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ IAA NAA และสารสกัดจาก PNSB ที่เติมในลูกบอลปักชำต่อการชักนำให้เกิดรากของชิ้นส่วนปลายยอดมันม่วงญี่ปุ่น และหน้วว ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ในสภาพนอกหลอดทดลอง (*ex vitro*)

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นวิธีการที่ใช้ในการขยายพันธุ์พืช โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอน การเริ่มเลี้ยงเนื้อเยื่อ ตามด้วยขั้นตอนการขยายเพิ่มจำนวนยอด แล้วต่อขั้นตอนการชักนำให้เกิด ราก และสุดท้ายขั้นตอนการย้ายออกปลูก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559) มีรายงานของ เพ็ญพิมพ์ ชิตบุรี และคณะ (2566) ได้ลดขั้นตอนของการชักนำให้เกิดรากและย้ายออกปลูก โดยรวมให้เป็นขั้นตอนเดียวโดยการใช้เทคนิควิธีการปักชำชิ้นส่วนปลายยอดในลูกบอลปักชำที่ต้อง มีการเพิ่มเติม 0.60 มก./ล. ฮิวมิคแอซิด (Humic acid) ร่วมกับ 1 มก./ล. NAA สามารถชักนำ ให้เกิดรากของสับปะรดพันธุ์ LP1 นอกจากผลการศึกษาของ Sarin et al. (2020) ใช้สารสกัด *Methylobacterium radiotolerans* Ed5-9 และ *Streptomyces TM32* เติมในลูกบอลปักชำ สามารถทำให้ ชิ้นส่วนปลายยอดผักเชียงดา (*Gymnema inodurum* (Lour.) Decne. ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อออกรากได้

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมชิ้นส่วนพืชทดลอง เตรียมชิ้นส่วนปลายยอดมันม่วงญี่ปุ่น และหน้วว ที่ได้ จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ทำการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA 2 มก./ล. ระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยตัดชิ้นส่วนปลายยอด มีขนาดความยาว 1 ซม. (ตั้งรูปที่ 1ก และ 1ข)

การเตรียมอาหาร ใช้อาหารสูตร MS (Murashige and Skoog medium) ปริมาตร 200 มล.ต่อกรรมวิธี

การเตรียมสารสกัดจากแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่สีม่วงกลุ่มไม่สะสมเม็ดกำมะถัน (PNSB) (ดัดแปลงจาก Panwichian et al., 2010; Sakpirom et al., 2017) ซึ่งตัวอย่างดินปริมาณ 5 ก. ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อเรียบร้อยแล้ว จากนั้นเติมอาหาร Glutamate-malate (GM) medium ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อเรียบร้อยแล้ว นำไปบ่มภายใต้สภาวะที่มีแสง ให้มีความเข้มข้นแสงประมาณ 4,000 – 5,000 ลักซ์ หรือวางห่างจากจุดกำเนิดแสงประมาณ 30-40 ซม. และมีอุณหภูมิประมาณ 30 °ซ หลังจากนั้นบ่มเป็นระยะเวลา 5-7 วัน สังเกตการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างดินและอาหาร โดยจะปรากฏสีแดงที่เรียกว่า “Bright Red Blooms” กระจายในตัวอย่างดินและในอาหาร

และนำห้วงเชื้อเชื้อตะแบริเวณที่มีสีแดงทั้งในตัวอย่างดินและอาหารมา Cross streak ลงบนจานอาหาร GM medium จากนั้นนำไปปมในภาวะไร้ออกซิเจนใน candle jar ภายใต้สภาวะที่มีแสงเป็นเวลา 5-7 วัน สังเกตโคโลนีที่มีสีชมพู-แดง หรือสีน้ำตาลเข้ม แล้วนำโคโลนีที่มีสีชมพู-แดง หรือสีน้ำตาลเข้มมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยการ Cross streak ลงบนจานอาหาร GM medium จากนั้นนำไปปมในภาวะไร้ออกซิเจนใน Candle jar ภายใต้สภาวะที่มีแสงเป็นเวลา 5-7 วัน ต่อมานำโคโลนีเดี่ยวที่เกิดขึ้นเก็บเป็น stock โดยใช้ห้วงเชื้อเชื้อตะแบริเวณโคโลนีเดี่ยวและทำการ stab ลงในอาหาร GM medium ที่มีลักษณะเป็น deep tube ให้มีความลึกประมาณ 3 ใน 4 จากนั้นเททับผิวหน้าด้วยพาราฟินเหลวที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว หลังจากนั้นนำหลอดอาหาร GM medium ที่ลงเชื้อเรียบร้อยแล้วไปปมภายใต้สภาวะที่มีแสงเป็นเวลา 5-7 วัน เมื่อเกิดรอยสีชมพู-แดง หรือสีน้ำตาลเกิดขึ้นตามแนว stab นำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C เป็น Stock เชื้อเพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

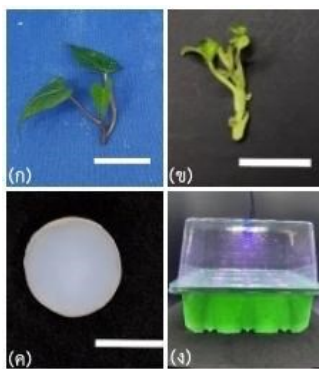
การเตรียมลูกบอลปักชำ (cutting-ball) ทำการเตรียมผงวุ้นร้อยละ 2.5 และเติมสารในแต่ละกรรมวิธีของการทดลอง แล้วนำไปปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็น 5.7 หลังจากนั้นนำไปต้มให้ผงวุ้นละลาย มีลักษณะใส แล้วเทใส่แม่พิมพ์ให้ขึ้นรูป เป็นทรงกลมคล้ายลูกบอล ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5-7 ชั่วโมง เพื่อให้ลูกบอลแข็งตัว แล้วใส่ในภาชนะที่บับแสง หลังจากนั้นให้นำไปเก็บไว้ในสภาพอุณหภูมิห้อง (รูปที่ 1ค)

วิธีการทดลอง โดยทำการศึกษาผลของ IAA NAA และ PNSB ต่อการชักนำให้เกิดรากของปลายยอดมันม่วงญี่ปุ่นและหน้าวัวที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มี 5 กรรมวิธี ๆ ละ 12 ช้ำ (ช้ำละ 1 ชิ้นส่วน) ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 อาหารสูตร MS + IAA ความเข้มข้น 0.5 มก./ล.
- กรรมวิธีที่ 2 อาหารสูตร MS + NAA ความเข้มข้น 0.5 มก./ล.
- กรรมวิธีที่ 3 อาหารสูตร MS + PNSB ความเข้มข้น 10 มล./ล.
- กรรมวิธีที่ 4 อาหารสูตร MS (ชุดตรวจสอบ ; check)
- กรรมวิธีที่ 5 น้ำกลั่น (ชุดควบคุม ; control)

นำลูกบอลปักชำใส่ในฟองน้ำสีขาวที่ใช้สำหรับการเพาะปลูกแล้วเจาะรูตรงกลาง ใช้ชิ้นส่วนปลายยอดมันม่วงญี่ปุ่นและหน้าวัวจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ระยะเวลา 4 สัปดาห์ มีขนาดความยาว 1 ซม. นำชิ้นส่วนปลายยอดหน้าวัวปักในลูกบอลปักชำที่ใส่ในฟองน้ำสีขาวที่ใช้สำหรับการเพาะปลูก หลังจากนั้นนำไปเลี้ยงในกล่องพลาสติก ขนาด 12 หลุมแบบมีฝาปิด (มีไฟ) ให้แสงที่มีความเข้มแสง 20 ไมโครโมล/ตร.ม./ว. (ดังรูปที่ 1ง) เป็นระยะเวลา

16 ชั่วโมงต่อวัน ทำการเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในห้องเลี้ยงเนื้อเยื่อที่มีอุณหภูมิประมาณ 22 - 23 °ซ ความชื้นประมาณร้อยละ 70-80 การบันทึกข้อมูล ได้แก่ ร้อยละการเกิดรากใหม่ของชิ้นส่วน จำนวนรากต่อชิ้นส่วน (รากต่อชิ้นส่วน) ความยาวของราก (ซม.) โดยวัดรากที่ยาวที่สุด วัดจากโคนรากไปยังปลายรากน้ำหนักสดของชิ้นส่วน (ก.) และน้ำหนักแห้งของชิ้นส่วน (ก.) โดยอบที่อุณหภูมิประมาณ 60 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกสิ้นสุดการทดลอง หลังจากนั้น นำข้อมูลทำการวิเคราะห์ ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Fisher' LSD (Least Significant Difference) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม MiniTab รุ่น 22



รูปที่ 1 ชิ้นส่วนปลายยอดมันม่วงญี่ปุ่น (ก) และหน้าวัว

(ข) โดยนำไปปักในลูกบอลปักชำ (cutting-ball)

(ค) หลังจากนั้นนำไปเพาะในกล่องพลาสติกมีฝาปิดพร้อมให้แสง (ง) (แถบ = 1 ซม.)

4. ผลการวิจัย

จากผลการทดลอง พบว่า ปลายยอดมันม่วงญี่ปุ่นที่ชักนำให้เกิดรากในลูกบอลปักชำที่มีการเติมสารละลายในแต่ละกรรมวิธี เมื่อทำการเพาะเลี้ยงได้ 1 สัปดาห์ โดยมีร้อยละของการเกิดรากและจำนวนรากต่อชิ้นส่วนที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อยู่ในช่วงร้อยละ 75.0 ± 13.10 - 91.67 ± 8.33 และ 2.33 ± 0.33 - 4.67 ± 0.33 รากต่อชิ้นส่วน ตามลำดับ เช่นเดียวกันชิ้นส่วนปลายยอดหน้าวัวที่เพาะเลี้ยงได้ 4 สัปดาห์ โดยมีร้อยละของการเกิดรากและจำนวนรากต่อชิ้นส่วนที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อยู่ในช่วงร้อยละ 66.7 ± 14.20 - 91.67 ± 8.33 และ 1.12 ± 0.12 - 1.70 ± 0.30 รากต่อชิ้นส่วน (ตารางที่ 1)

สำหรับความยาวรากของชิ้นส่วนปลายยอดมันม่วงญี่ปุ่นในแต่ละกรรมวิธีมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยในลูกบอลปักชำที่เติมน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) อาหารสูตร

MS+IAA 0.5 มก./ล. และ อาหารสูตร MS (ชุดตรวจสอบ) มีความยาวรากมากที่สุด คือ 6.85 ± 1.31 , 5.77 ± 0.84 และ 5.48 ± 0.86 ซม. ตามลำดับ ส่วนในกรรมวิธีอื่น มีความยาวราก ร่องลงมาคือ 3.40 ± 0.87 และ 1.17 ± 0.15 ซม. (รูปที่ 2ก) เช่นเดียวกันความยาวรากของชิ้นส่วน ปลายยอดหน้าวัวมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยในลูกบอลปักชำ ที่เติมน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) และอาหารสูตร MS+PNSB 10 มล./ล. มีความยาวรากมากที่สุด คือ 9.30 ± 1.83 และ 6.32 ± 1.08 ซม. ตามลำดับ ส่วนที่มีความยาวรากร่องลงมา คือ อาหารสูตร MS+IAA 0.5 มก./ล. และอาหารสูตร MS+NAA 0.5 มก./ล. (5.70 ± 1.13 และ 3.73 ± 0.72 ซม. ตามลำดับ) ยกเว้นในลูกบอลปักชำที่เติมอาหารสูตร MS (ชุดตรวจสอบ) มีความยาวรากน้อยที่สุด คือ 2.73 ± 0.93 ซม. (รูปที่ 2ข)

นอกจากนี้ น้ำหนักสดและแห้งของชิ้นส่วนปลายยอดมันม่วงญี่ปุ่นในทุกกรรมวิธี ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีน้ำหนักสดอยู่ในช่วง 9.30 ± 2.09 - 15.18 ± 5.62 ก. และน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วง 0.32 ± 0.24 - 0.87 ± 0.17 ก. เช่นเดียวกับน้ำหนักสดของชิ้นส่วนปลายยอด หน้าวัวในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติอยู่ในช่วง 3.67 ± 0.56 - 4.75 ± 0.81 ก. แต่น้ำหนักแห้งของชิ้นส่วนแต่ละกรรมวิธีมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยทุกกรรมวิธีมีน้ำหนักแห้งมากที่สุด อยู่ในช่วง 0.48 ± 0.05 - 0.64 ± 0.06 ก. ยกเว้นในกรรมวิธีที่ลูกบอลปักชำเติมน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) มีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด คือ 0.22 ± 0.02 ก. (ตารางที่ 2)

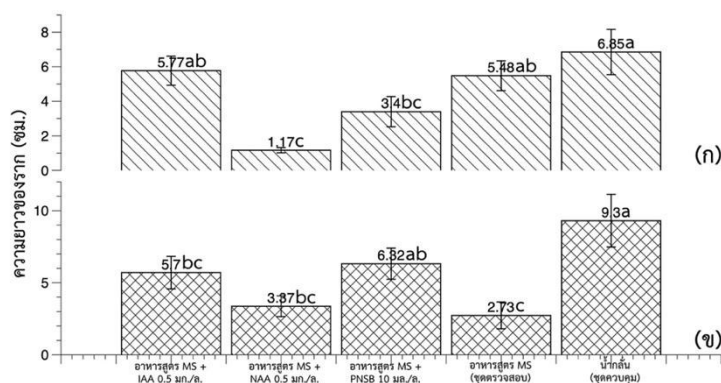
ลักษณะของรากที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนปลายยอดมันม่วงญี่ปุ่น และหน้าวัว ในแต่ละกรรมวิธี (รูปที่ 3) หลังจากนั้นทำการย้ายปลูกในพีทมอส สามารถเจริญเติบโตได้และเป็นต้นกล้าที่สมบูรณ์ (รูปที่ 4)

ตารางที่ 1 ร้อยละของการเกิดรากและจำนวนรากต่อชิ้นส่วนของชิ้นส่วนปลายยอดมันม่วงญี่ปุ่น เมื่อทำการเพาะได้ 1 สัปดาห์และหน้าวัว เมื่อทำการเพาะได้ 4 สัปดาห์ หลังจากปักชำในลูกบอลปักชำที่เติมสารละลายในแต่ละกรรมวิธี

กรรมวิธี	มันม่วงญี่ปุ่น		หน้าวัว	
	ร้อยละการเกิดราก ^{ns}	จำนวนรากต่อชิ้นส่วน ^{ns}	ร้อยละการเกิดราก ^{ns}	จำนวนรากต่อชิ้นส่วน ^{ns}
อาหารสูตร MS + IAA 0.5 มก./ล.	83.3±11.20	3.67±0.88	83.3±11.2	1.70±0.30
อาหารสูตร MS + NAA 0.5 มก./ล.	83.3±11.20	4.67±0.33	83.3±11.2	1.50±0.16
อาหารสูตร MS + PNSB 10 มล./ล.	75.0±13.10	2.33±0.33	91.67±8.33	1.45±0.20
อาหารสูตร MS (ชุดตรวจสอบ)	91.67±8.33	3.33±0.33	66.7±14.20	1.12±0.12
น้ำกลั่น (ชุดควบคุม)	83.3±11.20	3.33±0.33	83.3±11.20	1.40±0.22

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (not significant),

ค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (mean ± standard error; SE), (n = 12)



รูปที่ 2 ความยาวราก (ซม.) ของชิ้นส่วนมันม่วงญี่ปุ่น (ก) และหน้าวัว (ข) ที่ปักในลูกบอลปักชำ (cutting-ball) ที่เติมสารละลายในแต่ละกรรมวิธี

ตารางที่ 2 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของชิ้นส่วนมันม่วงญี่ปุ่น และหน่อที่ปักชำในลูกบอลชักนำ

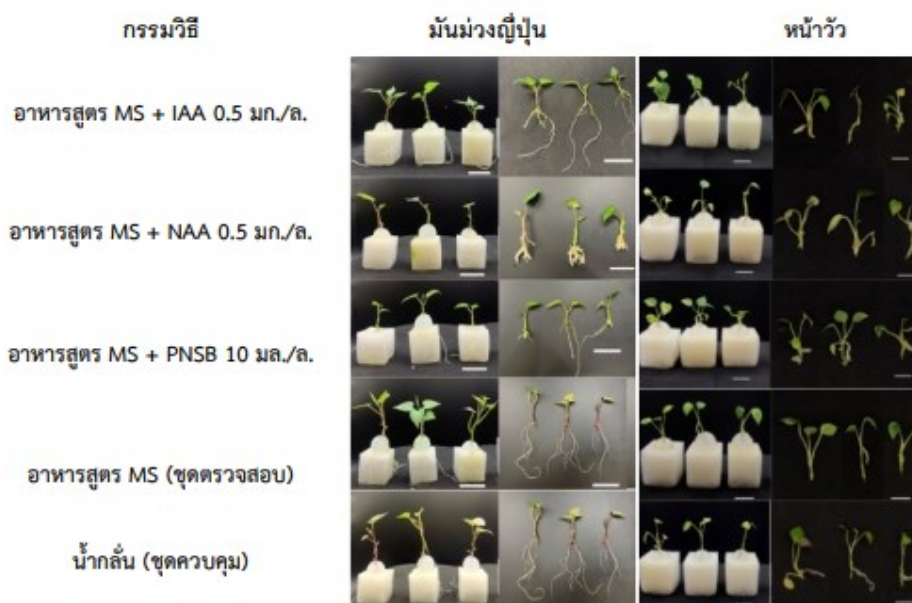
กรรมวิธี	มันม่วงญี่ปุ่น		หน่อ	
	น้ำหนักสด (ก.)	น้ำหนักแห้ง (ก.)	น้ำหนักสด (ก.)	น้ำหนักแห้ง (ก.)
อาหารสูตร MS + IAA 0.5 มก./ล.	15.18±5.62 ^{ns}	0.68±0.09 ^{ns}	4.75±0.81 ^{ns}	0.50±0.05a ^{1/}
อาหารสูตร MS + NAA 0.5 มก./ล.	12.50±1.59	0.32±0.24	4.08±0.51	0.64±0.06a
อาหารสูตร MS + PNSB 10 มล./ล.	9.30±2.09	0.49±0.11	3.91±0.68	0.63±0.07a
อาหารสูตร MS (ชุดตรวจสอบ)	15.18±2.06	0.87±0.17	3.67±0.56	0.48±0.05a
น้ำกลั่น(ชุดควบคุม)	12.30±1.40	0.79±0.09	4.08±0.47	0.22±0.02b

หมายเหตุ

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (not significant),

^{1/} = ค่าเฉลี่ยมีอักษรเหมือนกันในคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกัน

ทางสถิติ($P \leq 0.05$); ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (mean \pm standard error; SE), (n = 12)



รูปที่ 3 ลักษณะของชิ้นส่วนปลายยอดที่ชักนำให้เกิดรากในลูกบอลปักชำของมันม่วงญี่ปุ่นเพาะเลี้ยงได้ 1 สัปดาห์ และหน่อเพาะเลี้ยงได้ 4 สัปดาห์ (แถบ = 1 ซม.)

5. สรุปและอภิปรายผล

จากการทดลองสรุปได้ว่า ชิ้นส่วนปลายยอดของมันม่วงญี่ปุ่น และหน่่าวัวที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเมื่อนำไปปักเลี้ยงในลูกบอลปักชำ (Cutting-ball) สามารถชักนำให้เกิดรากได้ภายนอกขวด (*ex vitro*) โดยมีส่วนประกอบด้วยอาหารสูตร MS ที่เติม IAA NAA และ PNSB ให้ผลที่ไม่แตกต่างกับที่เติมอาหารสูตร MS (ชุดตรวจสอบ) และน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) ในส่วนของร้อยละของการเกิดราก และจำนวนรากต่อชิ้นส่วน เนื่องด้วยบริเวณที่ปลายยอดของชิ้นส่วนมีการสร้างออกซินเหมือนเช่นเดียวกับปลายยอดของต้นใหญ่ ซึ่งออกซินเป็นฮอร์โมนพืช (Plant Hormones) ในการเจริญเติบโตของพืชที่มีผลส่งเสริมให้เกิดการแบ่งเซลล์ (Cell Division) ของการพัฒนายอดและราก (Vargas et al., 2004) และสามารถออกรากได้ง่ายถึงแม้ไม่ได้รับสารช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Promoting Substance) (Somaya et al., 1998) มีรายงานของ Kirakosyan et al. (2023) ชิ้นส่วนปลายยอดมันเทศ (Jewel Sweet Potato) ชักนำให้เกิดรากในอาหารสูตร MS ที่ได้ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (PGRs-free) มีจำนวนรากต่อชิ้นส่วนและความยาวรากที่มากกว่าในอาหารที่มีน้ำกลั่น (Distilled water) ที่เติมผงวุ้น (ร้อยละ 8) ถึงอย่างไรการเติมธาตุอาหาร (อาหารสูตร MS) และสารควบคุมการเจริญเติบโต (IAA และ NAA) ในลูกบอลปักชำสามารถช่วยให้เพิ่มคุณภาพได้ โดย Vollmer et al. (2022) ได้กล่าวว่า การกระตุ้นการสร้างรากอาจจะเป็นกลไกชดเชยสำหรับพืชต่อต้านข้อจำกัดการเจริญเติบโตของรากและการดูดน้ำ ทำนองเดียวกับความยาวรากของชิ้นส่วนมันม่วงญี่ปุ่น และหน่่าวัว ที่ปักเลี้ยงในลูกบอลปักชำที่เติมน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) และเติมอาหารสูตร MS (ชุดตรวจสอบ) ไม่แตกต่างกับที่มีอาหารสูตร MS เติม IAA (มันม่วงญี่ปุ่น) และอาหารสูตร MS เติม PNSB (หน่่าวัว) มีความยาวรากที่มากที่สุด มี Dugassa and Feyissa (2011) รายงานว่า ความยาวรากในอาหารสูตร MS มีมากกว่าที่เลี้ยงในอาหารสูตร MS ที่เติม IBA 0.01 และ 0.10 มก./ล. ในมันเทศสายพันธุ์ Awassa local และ Guntute เช่นเดียวกับมันเทศสายพันธุ์ Beletech เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่มีจำนวนรากและความยาวรากไม่แตกต่างกับที่เลี้ยงในอาหารสูตร MS ที่เติม IBA และ NAA (Alula et al., 2018) เช่นเดียวกับน้ำหนักสดและแห้งของชิ้นส่วนทั้งมันม่วงญี่ปุ่น และหน่่าวัว

ด้วยเทคนิควิธีการชักนำให้เกิดรากด้วยลูกบอลปักชำเป็นวิธีการกระตุ้นให้เกิดรากและย้ายออกปลูกให้อยู่ในขั้นตอนเดียวที่สามารถช่วยลดขั้นตอนการขยายพันธุ์พืชด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Beyene et al. (2018) กล่าวว่า การชักนำให้เกิดรากภายนอกขวดเป็นวิธีที่คุ้มค่า ประหยัดเวลา และเหมาะในย้ายออกสำหรับการสู่สภาพธรรมชาติ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (มทร.ล้านนา) และสถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มทร.ล้านนา ที่ได้สนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในการดำเนินการทดลองครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2559). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. กรุงเทพฯ: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- เพ็ญพิมพ์ ชิตบุรี, ศิริพรรณ สารินทร์, พิทักษ์ พุทธวรชัย และอภิชาติ ชิตบุรี. (2566). ผลของความเข้มข้นอิทธิพลของเอเอในลูกบอลปักชำต่อการชักนำให้เกิดรากและย้ายออกปลูกของยอดสับปะรดพันธุ์ LP1 ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. *วารสารเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร*, 1(1): 1-8.
- มูลนิธิโครงการหลวง. (2549). คู่มือการผลิตไม้ตัดดอกและไม้ตัดใบ. เชียงใหม่: มูลนิธิโครงการหลวง.
- รังสิมา อัมพวัน, ทิพย์สุดา ปุกมณี, พินธรา สำราญสกุล, เตือนสว่าง ดวงบาล, สายบัว เต็มใจ และ กิตติศักดิ์ วงศ์ชัย. (2559). คู่มือการขยายพันธุ์หน่วว้าวโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ศิริลักษณ์ กมล, พงศ์ชัย ไชยพิเศษ, สีนินาฏ กาญจนเกียรติกุล, ทชาอร ลิ้มกูร, ธีระศักดิ์ ศรีวิชัย, ศราวุธ พานทอง, ณัฐนิชา นันเต, สุธัญญา เจริญทรัพย์, ผดุงศักดิ์ อินอภัยพงษ์, สิทธานนท์ ศรีวิหะ และ ธนักร คาชัน. (2563). ศึกษาการปลูกมันเทศญี่ปุ่น 5 พันธุ์. (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมการเกษตร.
- สุเมธ อ่องภา. (2558). พัฒนาพันธุ์และเทคโนโลยีการผลิตหน่วว้าว. (รายงานโครงการวิจัย). กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.
- Alula, K., H. Zeleke and M. Manikandan. (2018). *In vitro* propagation of sweet potato (*Ipomea batatas* (L.) Lam.) through apical meristem culture. *J. of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1): 2386-2392.
- Beyene, B., T. Menamo and G. Haile. (2020). Protocol optimization for *in vitro* propagation of Kulfo, orange flesh sweet potato (*Ipomea batatas*) variety using shoot tip culture. *African J. of Plant Science*, 14(10): 395-401.
- Dugassa, G. & T. Feyissa. (2011). *In vitro* production of virus-free sweet potato [*Ipomea batatas* (L.) Lam] by meristem culture and thermotherapy. *Ethiop. J. Sci*, 34(1): 17-28.

- Keatmetha, W. and P. Suksa-ard. (2004). Effects of rooting substrates on *in vitro* rooting of *Anthurium andraeanum* L. cv. Avanti. *Walailak J. Sci&Tech*, 1(2): 49-55.
- Kirakosyan, R. N., E. A. Kalashnikova, H. G. Abubakarov, N. N. Sleptsov, Y. A. Dudina, S. K. Temirbekova, Q. V. Khuat, V. I. Trukhachev and A. V. Sumin. (2023). Influence of Mineral Treatment, Plant Growth Regulators and Artificial Light on the Growth of Jewel Sweet Potato (*Ipomoea batatas* Lam. cv. Jewel) *In Vitro. Life*, doi:10.3390/life13010052). 13,5: 2-11.
- Panwichian, S., Kantachote, D., Wittayaweerarak, B. and Mallavarapu, M. (2010). Isolation of purple nonsulfur bacteria for the removal of heavy metals and sodium from contaminated shrimp ponds. *Electronic Journal of Biotechnology*, 13(4), doi: 10.2225/vol13-issue4-fulltext-8.
- Sakpirom, J., Kantachote, D., Nunkaew, T. and Khan, E. (2017). Characterizations of purple non-sulfur bacteria isolated from paddy fields, and identification of strains with potential for plant growth-promotion, greenhouse gas mitigation and heavy metal bioremediation. *Research in Microbiology*, 168(3), 266-275.
- Somaya, KU., P. Narayanaswamy and KV. Jayaprasad. (1998). Micropropagation studies in *Anthurium andraeanum* Lind. *Karnataka Journal of Agricultural Science*, 11: 466-470.
- Sarin. S., N. Nakaew and A. Chidburee. (2020). Effects of gel rooting medium containing *Methylobacterium radiotolerans* Ed5-9 and *Streptomyces* TM32 fermentation broth on cutting propagation of *Gymnema inodorum* (Lour.) Decne. *Current Applied Science and Technology*, 20(3): 343-353.
- Vargas, TE., A. Mejias, M. Oropeza and E. Garcia. (2004). Plant regeneration of *Anthurium andraeanum* cv. Rubrun. *Electronic J. Biotech*, 7(3): 282-86.
- Vollmer, R., J. Espirilla, J. C. Sánchez, L. Arroyo, M. Acosta, G. Flores, A. Rojas, D. Ellis and V. Azevedo. (2022). Thiamine improves *in vitro* propagation of sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] – confirmed with a wide range of genotypes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 152: 253-266.

ฟิล์มเคลือบป้องกันเชื้อราจากน้ำยางวัลคาไนซ์ ร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิลเวอร์

รัฐพล พรประสิทธิ์¹ จิตรลดา หล้าเตจ² ธีรต์ม วงเวียนไชย² และพิไลวรรณ พรประสิทธิ์^{2*}

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

² สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

*E-mail philaiwan@mju.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 0819879843

บทคัดย่อ

การศึกษาการใช้น้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์เพื่อทำเป็นฟิล์มเคลือบป้องกันการเกิดเชื้อราจากการเตรียมน้ำยางธรรมชาติผสมกับอนุภาคนาโน ได้แก่ นาโนซิงค์ออกไซด์ และนาโนซิลเวอร์ เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติการป้องกันการเกิดเชื้อรา โดยมีการแปรปริมาณอนุภาคนาโนเป็น 0.5, 1.0 และ 1.5 ส่วนในร้อยส่วนของยาง (p/hr) จากฐานฐานวิทยาพบว่านาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนซิลเวอร์ มีขนาดประมาณ 40-80 และ 50-100 นาโนเมตร ตามลำดับ ในส่วนผลการศึกษาลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มสารเคลือบ พบว่า สูตรที่เติมนาโนซิงค์ออกไซด์และสูตรที่เติมนาโนซิลเวอร์ มีพื้นที่ผิวที่มีความขรุขระมากกว่าสูตรที่ไม่เติมนอนุภาคนาโนบอกลึงมีความแข็งแรงสูงกว่าการไม่ได้ใส่อนอนุภาคนาโน จากผลการทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง เปอร์เซ็นต์การบวมพอง และมุมสัมผัสของของเหลวบนผิววัสดุ แสดงให้เห็นว่า สารเคลือบที่เติมนาโนซิลเวอร์ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและมีเปอร์เซ็นต์การบวมพองน้อยที่สุด และฟิล์มเคลือบที่ผสมอนุภาคนาโนสามารถกันการซึมผ่านของน้ำได้ดี ในขณะที่การทดสอบการป้องกันการเจริญของเชื้อราบนอาหารเลี้ยงเชื้อ สูตรที่เติมนาโนซิงค์ออกไซด์และสูตรที่เติมนาโนซิลเวอร์สามารถป้องกันเจริญของเชื้อรา *Aspergillus* sp.1 และ *Penicillium* sp.1 ภายใน 24 ชั่วโมง

คำสำคัญ น้ำยางธรรมชาติ นาโนซิงค์ออกไซด์ นาโนซิลเวอร์

Anti- fungal coating film from vulcanized latex with nano-zinc oxide and nano silver

Rattapol Pornprasit¹, Jitlada Lateja², Teerat Wongwianchai²
and Philaiwan Pornprasit^{2*}

¹ Faculty of Engineering, Chiang Mai University,
239, Huay Kaew Road, Muang District, Chiang Mai 50200, Thailand

² Program in Rubber and Polymer Technology, Faculty of Engineering and Agro-Industry,
Maejo University, 63 Moo 4, Nongharn, San Sai District, Chiang Mai 50290, Thailand

* E-mail Philaiwan@mju.ac.th, Tel 0819879843

Abstract

This research was aimed to study the use of vulcanized natural latex as an anti-fungal coating film, which is prepared from natural latex mixed with nanoparticles, such as nano-zinc oxide (n-ZnO) and nano-silver (n-Ag). These nanoparticles were expected to enhance their anti-fungal properties. The nanoparticle content varied at 0.5, 1.0 and 1.5 parts per hundred of rubber (phr). It was found that the size of nano-zinc oxide and nano-silver are approximately 40-80 nm and 50-100 nm, respectively. From the cross-sectional area of the coating film, it was found that film mixed with nano-zinc oxide and film mixed with nano-silver showed a more irregular surface area than that of film without nanoparticles, which means films with nanoparticles have more strength. From the results, it showed that the coating nano-silver formula has the highest tensile strength and the lowest percentage of swelling. The contact angle of liquid on the surface of the coated film on plywood implied that the coated film exhibited good water resistance. From the antifungal test, the results showed that the Nano-zinc oxide formulation and the Nano-silver formulation could inhibit the germination of fungal spores *Aspergillus* sp. 1 and *Penicillium* sp. 1 when inoculated for 24 hours.

Keywords: Natural rubber latex, nano-zinc oxide (n-ZnO), nano-silver (n-Ag)

1. บทนำ

หนึ่งในปัญหาหลักที่พบโดยทั่วไปสำหรับไม้คือเชื้อรา ซึ่งเกิดขึ้นกับไม้ได้ง่ายมากไม่ว่าจะเป็นไม้เก่าหรือใหม่ เชื้อราที่เจริญบนไม้ส่งผลให้เกิดผลกระทบหลายอย่างต่อไม้ เช่น ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของไม้เปลี่ยนไป มีกลิ่น สีเปลี่ยน ความหนาแน่นและความเหนียวของไม้ลดลง ติดไฟง่าย การนำไม้ไปอบไล่ความชื้นจะทำให้บิดงอได้ง่าย การเข้าทำลายไม้ของเชื้อราที่สำคัญมีอยู่ 3 ชนิด คือราที่มีผลให้สีไม้เปลี่ยน ราบริเวณผิวไม้ และราทำลายไม้ เพื่อป้องกันการเกิดราจึงมีการใช้วิธีการเคลือบผิวไม้ เพื่อไม่ให้ไม้สัมผัสกับน้ำ ความชื้น ออกซิเจน

นอกจากนี้อนุภาคนาโนบางชนิดมีความสามารถป้องกันและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ เช่น นาโนซิลเวอร์ นาโนซิงค์ออกไซด์ ฯ โดยนาโนซิงค์ออกไซด์ (n-ZnO) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับอนุภาคนาโนเมตร มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กระดับนาโนเมตร (10^{-9} เมตร) มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวและไม้เปลี่ยนสี สามารถป้องกันรังสี UV-A และ UV-B ต้านทานแบคทีเรีย (Anti-Bacteria) ระวังกลิ่นอันไม่พึงประสงค์นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ (กุลนันท์, 2561) และนาโนซิลเวอร์ (n-Ag) คือ ซิลเวอร์ (Silver) มีขนาดอนุภาคไม่เกิน 100 นาโนเมตร ทำให้มีปริมาณพื้นที่ผิวสูง ซึ่งสามารถสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียได้มากขึ้น โดยอนุภาค N-Ag ทำปฏิกิริยากับโปรตีนที่ผนังเซลล์ของเชื้อโรค จะทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลาย จากนั้น DNA จะหยุดทำงาน และเชื้อโรคจะตายในที่สุด ซึ่ง N-Ag สามารถออกฤทธิ์ได้นานถึง 7 – 14 วัน (ฉัตรแก้ว, 2553)

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจนำน้ำยาธรรมชาติมาใช้เป็นสารเคลือบป้องกันเชื้อราบนไม้อัด โดยมีการผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์และนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยมีการแปรปริมาณอนุภาคนาโน และมีการทดสอบสมบัติของอนุภาคนาโน และสารเคลือบจากน้ำยาธรรมชาติที่เตรียมได้

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กุลนันท์ (2561) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus* sp. โดยใช้ n-ZnO เป็นสารผสมในผลิตภัณฑ์จกสานในการป้องกันการเกิดเชื้อรา พบว่าสามารถป้องกันเชื้อราได้นานกว่า 20 วัน

ชูชาติ และคณะ (2556) ได้ทดสอบสารเคลือบผสม n-Ag ผลการศึกษาพบว่าการผสมอนุภาคในระดับนาโนเมตรของโลหะเงินในสีแล้วนำไปเคลือบพื้นผิวเพื่อศึกษาการเพิ่มคุณสมบัติในการต่อต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงงาน พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ร้อยละ 100

วรรณวิมล (2561) ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินในสารละลายโคโตซาน โดยการฉายรังสีด้วยลำอิเล็กตรอนจากเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน การเหนี่ยวนำ

ด้วยลำอเล็กทรอนิกส์ผ่านปฏิกิริยาราดิโอไอโซซิส ศึกษาความสามารถในการยับยั้งเชื้อราที่มักตรวจพบบนพื้นผิวที่มีความชื้น ซึ่งผลจากการทดลอง พบว่า อเล็กทรอนิกส์สามารถใช้ผลิตอนุภาคนาโนเงินได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้การสังเคราะห์ร่วมกับการใช้โคโตะซานเพื่อเป็นสารคงสภาพให้กับอนุภาคนาโนเงิน เพื่อให้สามารถนำไปสู่การประยุกต์ใช้เป็นสารตัวเติมในผลิตภัณฑ์เคลือบผิววัสดุต่าง ๆ เช่น บรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ รวมถึงการผสมในสีสำหรับทาซีเมนต์ในงานก่อสร้างเพื่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ

พิไลวรรณ และคณะ (2565) ได้ศึกษาการใช้น้ำยาธรรมชาติ อีพอกไซด์ ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ และหมู่ฟอสเฟตเป็นสารเคลือบป้องกันการกัดกร่อนของเหล็ก พบว่านาโนซิงค์ออกไซด์ และฟอสเฟตมีการกระจายตัวอยู่ในน้ำยาอีพอกไซด์อย่างสม่ำเสมอ และการใส่นาโนซิงค์ออกไซด์ และหมู่ฟอสเฟตที่ปริมาณ 0.5 และ 1.0 phr ตามลำดับ จะเหมาะสมสำหรับการทนกรด-เบส และหมู่ฟอสเฟตทำให้น้ำยายึดติดกับเหล็กได้ดีขึ้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, n-ZnO)

ละลาย Zinc Acetate (99.5%, KEMAUS) 5.0 กรัม ใน ethanol (99.9%, J.T. Baker) 150 มิลลิลิตร คนที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (ได้สารละลาย 1) เตรียมสารละลาย Potassium Hydroxide (86%, J.T. Baker) 5.0 กรัม ใน ethanol 30 มิลลิลิตร เติมลงในสารละลาย 1 คนที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70°C หยุดให้ความร้อน เติม Oleic Acid (extra pure, LOBA CHEMIE PVT) 10 มิลลิลิตร คนเป็นเวลา 1 วัน ล้างตะกอนด้วย 99% ethanol ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้ง แล้วนำไปอบให้แห้ง 1 วัน ที่อุณหภูมิ 70°C ได้ OA-n-ZnO จำนวนร้อยละผลผลิต

2. การสังเคราะห์นาโนซิลเวอร์ (Nano Silver, n-Ag)

ละลาย Sodium hydroxide (99%, QRëC®) 0.012 กรัม ในน้ำ DI 100 มิลลิลิตร คนจนกว่าสารละลายจะละลายหมด เติม Silver Nitrate (100%, POCH) 0.0169 กรัม ลงในสารละลาย NaOH ค่อย ๆ เติมทีละน้อย ในการเติม AgNO₃ สารผสมจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้น คนให้แรงระหว่างการเติม AgNO₃ คนที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที n-Ag ที่ได้เป็นสารแขวนลอยขุ่นประกายชมพู

3. การเตรียมตัวอย่างชิ้นงานไม้อัด

งานวิจัยนี้ใช้น้ำยางคอมพาวนด์สูตรการคงรูปแบบดั้งเดิมดั้งที่ระบุไว้ใน Pornprasit and Rattanaplome (2015) นั่นคือประกอบด้วย (1) น้ำยางชั้น 60% ชนิดปริมาณแอมโมเนีย สูง 100 phr (2) ดิสเพิสชั้นกำมะถัน 50% 1.5 phr (3) ดิสเพิสชั้น แซดอีซีดี 50% (zinc diethyl dithiocarbamate, ZDEC) 1.0 phr (4) ดิสเพิสชั้นซิงค์ออกไซด์ 50% (zinc oxide, ZnO) 1.8 phr (5) DI-Water 104.3 phr โดยสารเคมีทุกชนิดซื้อจาก บริษัทหลักทรัพย์จำกัด จ.นนทบุรี ประเทศไทย บ่มน้ำยางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 96 ชั่วโมง เตรียมซีลี้อยจากไม้ยางพารา โดยอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนใช้งาน ผสมน้ำยางคอมพาวนด์กับซีลี้อย ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก นำของผสมเข้าแม่พิมพ์ แล้วทำการเข้าเครื่องอัดเบ้า (HPC-100, QINGDAO EVERFINE MACHINERY) ความดัน 120 MPa อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไม้อัดที่เตรียมได้ผึ่งให้หายร้อน เก็บไว้ในโถดูดความชื้นก่อนนำไปเคลือบด้วยสารเคลือบ

4. การเตรียมสารเคลือบป้องกันเชื้อรา

ชั่ง 60% น้ำยางชั้นลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 ml เทน้ำกลั่นลงในน้ำยางชั้น ใส่สารเคมีต่าง ๆ ดังสูตรตามตารางที่ 1 (มลวิภาและคณะ, 2565) โดยแปรปริมาณอนุภาคนาโนเป็น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr แล้วคนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำใส่ขวดบ่มน้ำยางขนาด 1,000 มิลลิลิตร บ่มไว้เป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำมาใช้งาน

ตารางที่ 1 สูตรน้ำยางคอมพาวนด์

ยางและสารเคมี	Control (phr)	n-ZnO (phr)			n-Ag (phr)		
		ZnO- 1	ZnO- 2	ZnO- 3	Ag-1	Ag-2	Ag-3
60% น้ำยางชั้น	100	100	100	100	100	100	100
60% Sulphur	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20% Potassium laurate	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
10% KOH	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
50% ZDEC	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
50% Antioxidant CPL	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
50% ZnO	1.5	-	-	-	-	-	-
13% n-ZnO	-	0.5	1.0	1.5	-	-	-
13% n-Ag	-	-	-	-	0.5	1.0	1.5
H ₂ O	167	167	167	167	167	167	167

5. การเคลือบไม้อัดด้วยน้ำยางคอมพาวนด์

นำไม้อัดจุ่มกับน้ำยางคอมพาวนด์ที่ได้จากข้อ 4 แล้วผึ่งให้แห้ง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วจุ่มซ้ำอีก 2 ครั้ง นำไม้อัดที่เคลือบยางครบ 3 ครั้ง อบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เก็บไว้ในโถดูความชื้นก่อนทำการทดสอบ

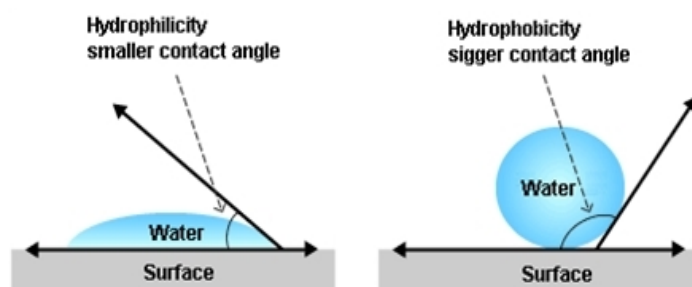
6. การทดสอบ

การศึกษาสัณฐานวิทยาของ n-ZnO และ n-Ag ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ในสภาวะค่าแรงดันเร่ง (Acceleration Voltage) 10kV กำลังขยาย 30,000 เท่า เพื่อยืนยันความเป็น Ag⁰ ของอนุภาค n-Ag ด้วย UV-Vis Spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของสารเคลือบด้วยเทคนิควิเคราะห์สารด้วยคลื่นอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) ในช่วงความยาวคลื่น 4,000-400 cm⁻¹

เพื่อหาค่าการบวมพองของสารเคลือบ (Swelling) โดยเตรียมชิ้นทดสอบจากฟิล์มเคลือบทั้งหมด 7 สูตร แช่ในโหลอินในสภาวะระบบปิดและมีด เป็นเวลา 4 วัน ชั่งน้ำหนักทุกวัน เพื่อหาร้อยละการบวมพอง ตามสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละการบวมพอง} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่} - \text{น้ำหนักก่อนแช่}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่}} \times 100 \quad (1)$$

ศึกษาคุณสมบัติเชิงกล ทดสอบความต้านทานแรงดึงของฟิล์มยางโดยใช้เครื่อง Tensile Testing Machine ดึงขึ้นทดสอบ ใช้ความเร็วในการดึง 10 mm/min Load cell 10 kN รายงานผลเป็นค่าความต้านทานแรงดึง ทดสอบมุมสัมผัสของของเหลวบนผิววัสดุ โดยทดสอบด้วยเครื่อง Contact angle โดยวัดมุมภายในหยดน้ำดังรูปที่ 1



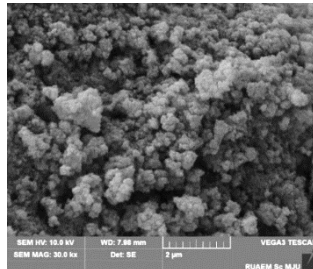
รูปที่ 1 มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้น (พรพจน์, 2559)

ศึกษาการป้องกันการเจริญของเชื้อรา นำไม้อัดที่เคลือบสารเคลือบจากน้ำยางสูตรต่างๆ มาพ่นสปอร์ของราลงบนไม้อัด ด้วยสปอร์ของเชื้อรา *Aspergillus* sp.1, *Aspergillus* sp.2, *Penicillium* sp.1, และ *Penicillium* sp.2 ตรวจสอบการงอกของสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope)

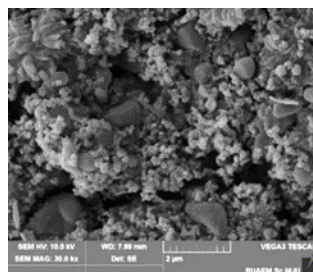
4. ผลการวิจัย และอภิปรายผล

n-ZnO มีลักษณะเป็นผงสีขาว ละเอียด มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ 53.28% จากการใช้ SEM แสดงในรูปที่ 2 โดยอนุภาค n-ZnO มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก มีการเกาะกลุ่มกัน และมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 40 – 80 นาโนเมตร n-Ag มีลักษณะเป็นของเหลว สีขุ่น ปรากฏชมพู จากรูปที่ 3 n-Ag มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก และเกาะกลุ่มกัน มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 50-100 นาโนเมตร

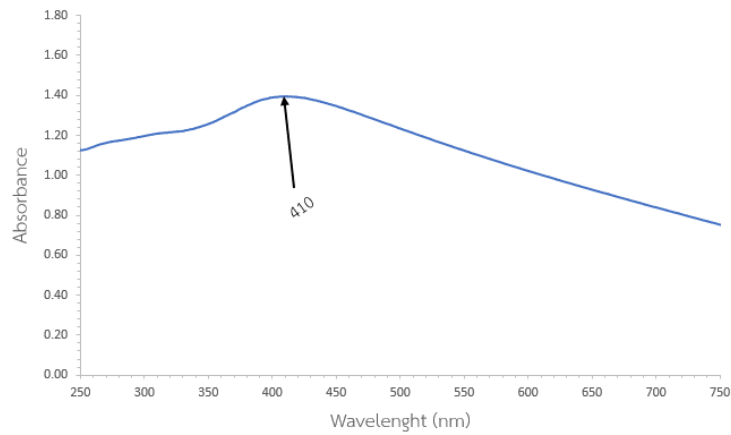
เพื่อยืนยันความเป็น Ag^0 ของอนุภาค n-Ag ด้วย UV-Vis Spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร พบว่าสารที่สังเคราะห์ขึ้นมามีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ซึ่งตรงกับค่าการดูดกลืนแสงของการมีอยู่ของอนุภาคซิลเวอร์ (สูดาร์ตัน, 2559) อนุภาค n-Ag ที่ได้ไม่มีประจุ (Ag^0) แสดงในรูปที่ 4



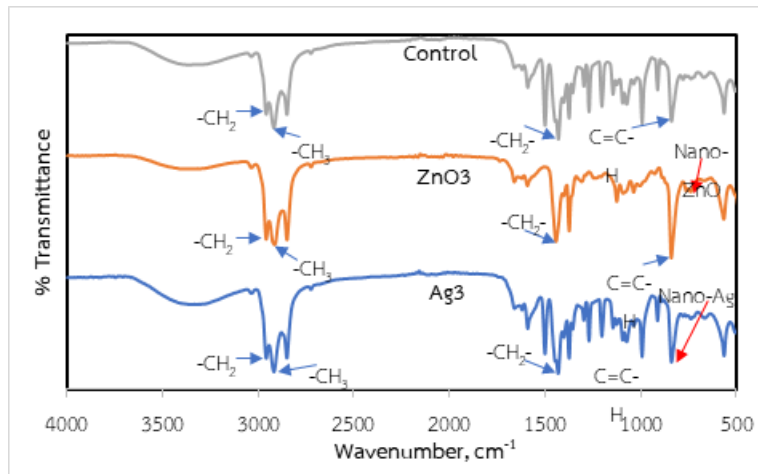
รูปที่ 2 SEM ของ n-ZnO



รูปที่ 3 SEM ของ Nano-Ag



รูปที่ 4 UV-Vis Spectrum ของอนุภาค n-Ag

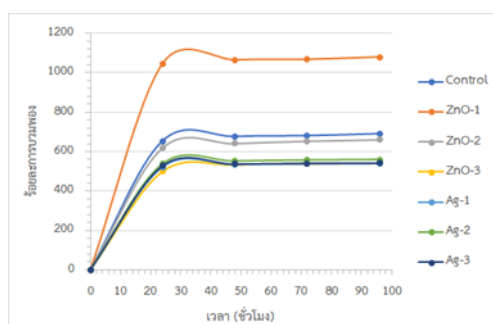


รูปที่ 5 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มเคลือบสูตร Control, ZnO-3 และ Ag-3

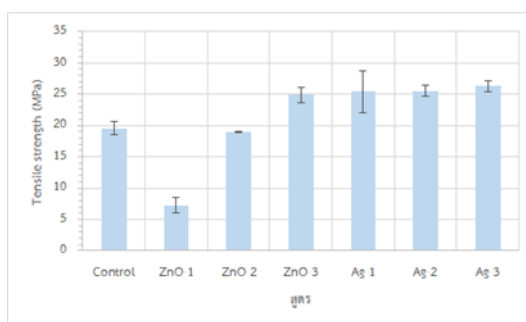
จากการวิเคราะห์สเปกตรัม FTIR ของยางธรรมชาติ เพื่อยืนยันสูตรโครงสร้างของ n-ZnO และ n-Ag ที่เติมลงในยางธรรมชาติ แสดงดังรูปที่ 5 แสดงพีค n-ZnO ของ ZnO-3 ที่พีค 840.1 cm^{-1} ส่วน สเปกตรัม FTIR ของอนุภาค n-Ag มี exhibited prominent peaks ที่ $2,927$, $1,631$ และ $1,383\text{ cm}^{-1}$ สเปกตรัมแสดงแถบดูดกลืนที่เห็นได้ชัดที่ $1,631\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นสะเทือนแบบยืดของ (NH) กลุ่ม C=O The band $1,383$ เกิดขึ้นจาก C-C และ C-N stretching เกิดขึ้นที่ peak $2,927\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นสะเทือนแบบยืดของ C-H และ C-H (สารประกอบเมทอกซี) ตามลำดับ

จากการทดลองเพื่อหาค่าการบวมพองของสารเคลือบ การบวมพองเป็นตัวบ่งชี้ถึงความหนาแน่นการเชื่อมโยง

คืออย่างที่เกิดการบวมพองสูงจะมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงต่ำ จากรูปที่ 6 พบว่าสูตร ZnO-1 มีร้อยละการบวมพองมากที่สุดเป็นเพราะมีปริมาณสารตัวเติม n-ZnO ปริมาณน้อย มีการเชื่อมโยงของพันธะโมเลกุลต่ำ สูตร ZnO-2 กับสูตร Control มีร้อยละการบวมพองที่ใกล้เคียงกัน และสูตร ZnO-3, Ag-1, Ag-2 และ Ag-3 มีค่าร้อยละการบวมพองที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่ามีการเชื่อมโยงโมเลกุลที่สูงกว่า ZnO-1 ทำให้มีการบวมพองที่น้อยกว่า ถ้าหากเปรียบเทียบระหว่างสูตร Ag-1 และ ZnO-1 พบว่า Ag-1 มีร้อยละการบวมพองที่น้อยกว่าเนื่องจากในโมเลกุลของ Ag-1 นั้นไม่ได้มีเพียงอนุภาคของ n-Ag แต่มี NaOH หรือเป็นเบสแก่ด้วย ซึ่งการมีของโลหะออกไซด์จะมีสวนแรงให้อัตราการคงรูปเร็วขึ้น (Costa et al., 2002) ดังนั้นในระยะเวลาการบ่มน้ำยางที่เท่ากัน สูตร n-Ag จึงมีการเชื่อมโยงของโมเลกุลอย่างมากกว่าสูตรอื่น ๆ



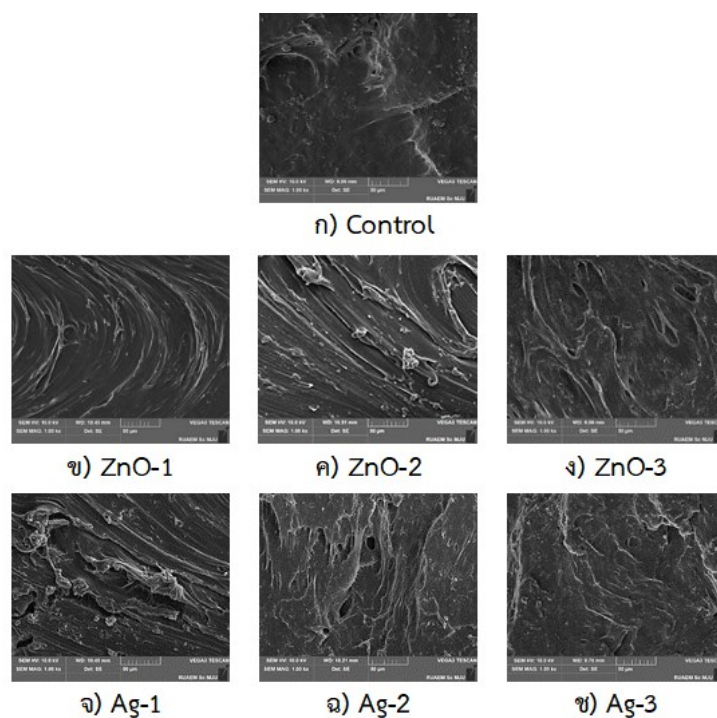
รูปที่ 6 ร้อยละการบวมพองของฟิล์มสารเคลือบ



รูปที่ 7 Tensile strength ของฟิล์มสารเคลือบ

จากรูปที่ 7 แสดงความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มสารเคลือบ 7 สูตร พบว่าสูตร Control ซึ่งขั้นตอนตอนนี้ไม่มีการเติมอนุภาคนาโน เมื่อมีการเติม n-ZnO พบว่าเฉพาะสูตร ZnO-3 เท่านั้นที่มีค่าความต้านทานแรงดึงมากกว่าสูตร Control

อาจเป็นเพราะการเชื่อมขวางของสายโซ่ของสูตร ZnO-3 มีค่ามากกว่า (รูปที่ 5) และพบว่าปริมาณของ n-ZnO ที่ใส่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้นเนื่องจาก ZnO ในยางทำหน้าที่เป็นสารสารกระตุ้น ทำให้การเชื่อมขวางมีมากขึ้นในระยะเวลาการบ่มน้ำยงเท่ากัน เมื่อพิจารณาสูตร ZnO-1 พบว่ามีปริมาณการเชื่อมขวางน้อยมาก การกระจายตัวของสาร ไม่ดีเท่าที่ควร รวมถึงปริมาณ n-ZnO ที่น้อย หากเพิ่มปริมาณของ n-ZnO เห็นได้ชัดว่าปริมาณการเชื่อมขวางและการกระจายตัวของสารเพิ่มขึ้นมากขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเติม n-Ag พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าสูตร Control ทุกสูตร ซึ่งเมื่อพิจารณาร้อยละบวมพอง จะเห็นว่าทุกสูตรของ Ag มีการเชื่อมขวางมากกว่าสูตร Control อย่างไรก็ตามเมื่อใส่ n-Ag พบว่าค่าความต้านทานแรงดึง สูงขึ้น ส่วนการใส่ n-ZnO จะมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้นก็ต่อเมื่อใส่ในปริมาณมากที่สุด (สูตร ZnO-3) แสดงให้เห็นว่าสูตร Ag มีปริมาณการเชื่อมขวางและการกระจายตัวที่ดีกว่าการเติมของ n-ZnO



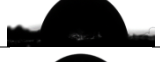







รูปที่ 8 ลักษณะภายในของฟิล์มเคลือบด้วยเทคนิคอีเล็คตรอนแบบส่องกราด

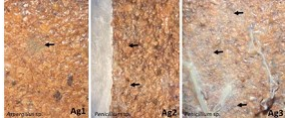
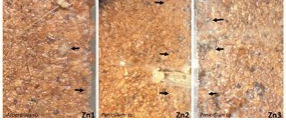
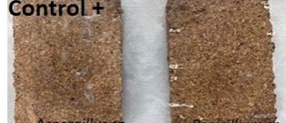
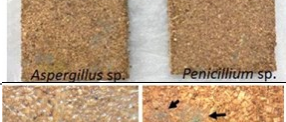
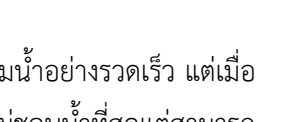
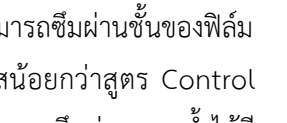
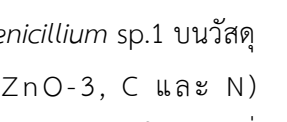
จากรูปที่ 8 แสดงลักษณะภายในของฟิล์มสารเคลือบด้วยเทคนิค SEM ที่เตรียมได้จากฟิล์มเคลือบภาคตัดขวางจากชิ้นงานการทดสอบแรงดึง พบว่าอนุภาคของ ก) ฟิล์มเคลือบสูตร Control มีลักษณะภายในของฟิล์มที่เรียบกว่าสูตรที่ใส่นาโน ข) ฟิล์มเคลือบสูตร ZnO-1

มีลักษณะภายในของฟิล์มที่มีความขรุขระเล็กน้อย ค) ฟิล์มเคลือบสูตร ZnO-2 มีลักษณะภายในของฟิล์มมีความขรุขระมากกว่าสูตร ZnO-1 ง) ฟิล์มเคลือบสูตร ZnO-3 ในสูตรนี้มีการเพิ่มปริมาณของ n-ZnO จะเห็นได้ว่ามีลักษณะพื้นผิวที่มีความขรุขระมาก จากภาพ จ) ฟิล์มเคลือบสูตร Ag-1 มีลักษณะภายในของฟิล์มที่มีความขรุขระมากกว่าสูตรที่เติม n-ZnO ฟิล์มเคลือบสูตร Ag-2 จะเห็นได้ว่า ลักษณะของภายในของฟิล์มมีความขรุขระมากกว่าสูตร Ag-1 เพราะการเพิ่มปริมาณ n-Ag มีผลต่อความเข้ากันของเนื้ออย่าง ข) ฟิล์มเคลือบสูตร Ag-3 จะมีภายในของฟิล์มที่ขรุขระที่ใกล้เคียงกับสูตร Ag-2 แสดงว่าการเพิ่มปริมาณอนุภาคนาโนมีส่งต่อการเข้ากันกับเนื้ออย่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้ง n-ZnO และ n-Ag เมื่อเพิ่มปริมาณสารจะมีการเข้ากันได้ดีในเนื้ออย่าง ปริมาณการใส่ n-ZnO และ n-Ag ที่มากขึ้น พบว่ายังคงมีการกระจายตัวในเนื้ออย่างได้ดี เนื่องจากอนุภาคที่ใส่ลงไปเป็นอนุภาคนาโน ความขรุขระภายในของฟิล์มแสดงว่าชั้นทดสอบสามารถต้านทานแรงดึงได้ดี ภายในของฟิล์มที่มีความขรุขระจะมีค่าการต้านทานแรงดึงได้ดีกว่าผิวเรียบ ยืนยันได้จากผลความต้านทานแรงดึง (รูปที่ 7) และเมื่อพิจารณาจากร้อยละการบวมพอง (รูปที่ 6) พบว่า ฟิล์มเคลือบสูตร Ag ให้ค่าที่ต่ำกว่า สูตร ZnO แสดงว่าสูตร Ag มีการเชื่อมขวางที่มากกว่า ค่าความต้านทานแรงดึงจึงสูงกว่า ภายในของฟิล์มจึงมีความ ขรุขระมากกว่า สมบัติของไม้อัดเคลือบด้วยฟิล์มยาง ในการทดลองเพื่อหาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนผิววัสดุ โดยทดสอบด้วยเครื่อง Contact angle Meter Polar/dispersive properties โดยถ้าวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนไม้อัดมีค่าสูงแสดงว่า ผิวไม้อัดแสดงความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) แต่ถ้ามุมสัมผัสของของเหลวมีค่าต่ำแสดงว่าผิวไม้อัดแสดงความชอบน้ำ (Hydrophilic)

ตารางที่ 2 มุมสัมผัสและลักษณะหยดน้ำของผิวแผ่นไม้อัดเคลือบสารเคลือบสูตรต่าง ๆ

ตัวอย่าง	มุมสัมผัส(θ)			ลักษณะหยดน้ำ	ผลการดูดซึมน้ำเมื่อเวลาผ่านไป
	Left	Right	Mean		
ไม้อัด	124.7	123.8	124.3		ซึมอย่างรวดเร็ว
Control	77.9	78.6	78.3		ซึมได้
ZnO-1	74.0	71.1	72.5		ซึมไม่ดี
ZnO-2	65.5	62.9	64.2		ซึมไม่ดี
ZnO-3	79.3	67.8	73.5		ซึมไม่ดี
Ag-1	77.1	79.8	78.5		ซึมไม่ดี
Ag-2	74.3	76.9	75.6		ซึมไม่ดี
Ag-3	77.9	78.2	78.1		ซึมไม่ดี

ตารางที่ 3 ลักษณะไม้อัดที่เคลือบสารเคลือบสูตรต่าง ๆ เมื่อทดสอบการเจริญของราสกุล *Aspergillus* sp.1 และ *Penicillium* sp.1 เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

การทดลอง	พบการเจริญของราทดสอบ	ลักษณะไม้อัด
วัสดุทดสอบ Ag1, Ag2, Ag3 + <i>Aspergillus</i> sp. 1	+	
วัสดุทดสอบ Ag1, Ag2, Ag3 + <i>Penicillium</i> sp. 1	+	
วัสดุทดสอบ Zn1, Zn2, Zn3 + <i>Aspergillus</i> sp. 1	+	
วัสดุทดสอบ Zn1, Zn2, Zn3 + <i>Penicillium</i> sp. 1	+	
วัสดุทดสอบ C + <i>Aspergillus</i> sp. 1	+	
วัสดุทดสอบ C + <i>Penicillium</i> sp. 1	+	
วัสดุทดสอบ N + <i>Aspergillus</i> sp. 1	++ (พบราปนเปื้อน)	
วัสดุทดสอบ N + <i>Penicillium</i> sp. 1	++ (พบราปนเปื้อน)	
วัสดุทดสอบ C	-	
วัสดุทดสอบ N	++ (พบราปนเปื้อน)	

จากตารางที่ 2 พบว่าแผ่นไม้อัด เมื่อหยดน้ำลงไปจะเกิดการดูดซึมน้ำอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อทำการเคลือบไม้อัดด้วยน้ำยาสีต่าง ๆ พบว่าสูตร control เป็นสูตรที่ไม่ชอบน้ำที่สุดแต่สามารถดูดซึมน้ำได้เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากไม้อัดมีความสามารถในการดูดซึมน้ำต่างจากสูตรอื่น ๆ ที่นำยางธรรมชาติมาเคลือบซึ่งยางที่เคลือบทำให้เป็นฟิล์ม ทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านชั้นของฟิล์มได้ ในขณะที่เมื่อใส่ n-ZnO และ n-Ag ลงในสารเคลือบพบว่ามัมส์น้อยกว่าสูตร Control แต่เมื่อทิ้งไว้หยดน้ำยังไม่ซึมผ่านได้ แสดงว่าฟิล์มจากน้ำยาสีสามารถกั้นการซึมผ่านของน้ำได้ดี ทำให้สารเคลือบป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้

ในการทดสอบการเจริญของราสกุล *Aspergillus* sp.1 และ *Penicillium* sp.1 บนวัสดุทดสอบ 8 ชนิด (Ag-1, Ag-2, Ag-3, ZnO-1, ZnO-2, ZnO-3, C และ N) สภาวะในการทดสอบที่อุณหภูมิ 28 °C สภาวะมืด เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ผลการทดสอบในตารางที่ 3 พบว่าสารเคลือบทุกสูตรไม่สามารถยับยั้งการเจริญของราทดสอบได้ โดยเมื่อเวลาผ่านไป 48

ชั่วโมงจะพบเส้นใยของเชื้อราเจริญบนวัสดุ และพบการสร้างสปอร์ได้บนวัสดุทดสอบ เมื่อเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมง

5. สรุป

การเตรียมสารเคลือบป้องกันการเกิดเชื้อราด้วยน้ำยางคอมพาวนด์ โดยฟิล์มเคลือบสูตร n-ZnO และฟิล์มเคลือบสูตร n-Ag มีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนได้ดีในเนื้อเยื่อ เห็นได้ชัดว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอนุภาคนาโน ปริมาณการเชื่อมขวาง และการกระจายตัวของสารเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นด้วย สูตรที่มีการใส่สาร n-Ag ที่ปริมาณ 1 phr จะมีร้อยละการบวมพองน้อยที่สุด ฟิล์มจากน้ำยางสามารถกันการซึมผ่านของน้ำได้ดีหรือทำให้ไม่อืดไม่ชอบน้ำมากขึ้น ไม่อืดเคลือบน้ำยางสามารถกันการเกิดเชื้อราจากธรรมชาติได้ แม้ว่าจะไม่สามารถป้องกันการเจริญของเชื้อราสกุล *Aspergillus* sp.1 และ *Penicillium* sp.1 จากการพ่นเชื้อราลงบนไม้อัดโดยตรง และพบว่าสูตรอนุภาคนาโนสามารถกันการเกิดเชื้อราดังกล่าวได้เพียง 24 ชั่วโมง หากเพิ่มความเข้มข้นของสารทดสอบในฟิล์ม อาจจะมีแนวโน้มที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราบนไม้อัดได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.นครินทร์ สุวรรณราช นักวิจัยที่สำนักงาน บริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ ที่ร่วมให้คำปรึกษาในส่วนการเพาะเชื้อรา และการทดสอบการป้องกันการเกิดเชื้อรา ขอขอบคุณภาคีวิชาชีพสปีชีส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ ใช้เครื่อง Contact Angle Test ขอขอบคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ ใช้เครื่อง Ultra violet -Visible Spectrophotometer และขอขอบคุณงานยุทธศาสตร์และวิจัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่อง Ultrasonic Probe

7. เอกสารอ้างอิง

- Da Costa, H. M., Visconte, L. L. Y., Nunes, R. C. R., & Furtado, C. R. G. (2002). Mechanical and dynamic mechanical properties of rice husk ash-filled natural rubber compounds. *Journal of applied polymer science*, 83(11), 2331-2346.
- Pornparasit, P. and Rattanaplome, T. (2015). Composite from biomass using natural rubber latex as a binder. *RMUTI Journal* 1(Special): 458-463.

- กุลนันท์ สุขสม และจิตาภา คงบุญ. (2561). *ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการยับยั้งเชื้อรา Aspergillus sp. บนผลิตภัณฑ์จักสานจากกระจูด*, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- ฉัตรแก้ว จันทราภรณ์. (2553) *ซิลเวอร์นาโน : การสังเคราะห์ การผลิตและประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียของพลาสติกผสม*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ/กรุงเทพฯ. DOI: https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_Doi=10.14457/KMUTNB.the.2010.40
- ชูชาติ ธรรมเจริญ, สนอง เอกสิทธิ์, ทวีศักดิ์ จันทร์ดวง, เทวกุล ปัทมะสุวรรณ, อัปสร เปลี่ยนสินไชย, ณัชนิชา แพอ่อน และสมนึก กลั่นมา. (2556). *การถ่ายทอดเทคโนโลยีนาโนซิลเวอร์เพื่อพัฒนาวัสดุเคลือบผิวนาโนคอมโพสิตสำหรับป้องกันการยืดเกาะและเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่เครื่องจักรตามจุดหมักหมมบริเวณลูกทึบ*. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิไลวรรณ พรประสิทธิ์ ภาควงศ์ ตะสุข และสินธนารัตน์ ดาดจันทิก (2565). *การใช้น้ำยารักษาผิวผสมนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารเคลือบป้องกันการกัดกร่อนของ เหล็ก*. ในการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 8 (น. 251-261). เชียงใหม่: สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. ไทย.
- พรพจน์ หนูทอง. (2559). *เครื่องทดสอบมุมสัมผัส*. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://share.psu.ac.th/blog/pom-sec/40477> (9 มีนาคม 2564)
- มลวิภา ศิริปี พิษญาภรณ์ หมื่นทิ และ พิไลวรรณ พรประสิทธิ์. (2565). *ใบตองดัดกันลามไฟ*. ในการประชุมวิชาการระดับชาติพะเยาวิจัย ครั้งที่ 11 (น. 1513-1525). กองบริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยพะเยา. ไทย.
- วรรณวิมล ปาสาณพันธ์. (2561). *สารเคลือบนาโนกันน้ำและกันเชื้อรา*, สถาบันวิจัยและพัฒนา แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=46903> (9 มีนาคม 2564)
- สุดารัตน์ ศรีโสด. 2559 *การพัฒนาเส้นใยเซลลูโลสต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยสารซิลเวอร์นาโนและสารช่วยยึดติดจากธรรมชาติ*, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (นวัตกรรมและเทคโนโลยีวัสดุ) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ยางพองน้ำดูดซับเสียงจากน้ำยางธรรมชาติที่ใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติม

ตรีญญา มุลชัย^{1*} อรุณศรี เอี่ยมรัมย์¹ และสุมิตร เชื้อมชัยตระกูล²

¹สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

63 หมู่ 4 ถนนสันทราย-พร้าว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

²สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

63 หมู่ 4 ถนนสันทราย-พร้าว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

*E-mail: darinyamoonchai@gmail.com, 0992944419

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติการดูดซับเสียงของยางพองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ เมื่อใช้รำสกัดน้ำมัน เป็นสารตัวเติม โดยปริมาณรำสกัดน้ำมันที่ใช้คือ 0, 5 และ 10 ส่วนต่อเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน (Part per hundred of rubber; phr) โดยทดสอบความหนาแน่น แรงกดที่ทำให้ยางพองน้ำ ยุบตัว ค่าการเสียรูป หลังการกดอัด และสมบัติการดูดซับเสียง จากผลการทดสอบ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณรำสกัดน้ำมัน ส่งผลให้ค่าความหนาแน่น และแรงกดที่ทำให้ยางพองน้ำ ยุบตัวมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และที่ปริมาณ รำสกัดน้ำมัน 5 phr ให้สมบัติการดูดซับเสียงมากที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเท่ากับ 38.65% และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเสียงเท่ากับ 0.39 เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ของวัสดุดูดซับเสียงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเสียงอยู่ที่ 0.40 ถือว่ายางพองน้ำ จากน้ำยางธรรมชาติที่ใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 5 phr มีค่าสัมประสิทธิ์ การลดทอนเสียงใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของวัสดุดูดซับเสียง

คำสำคัญ: น้ำยางธรรมชาติ ยางพองน้ำ รำสกัดน้ำมัน สมบัติการดูดซับเสียง

Sound absorption rubber foam from natural rubber latex filled with defatted rice bran

Darinya Moonchai ^{1*} Aroonsri Aiemrum¹ and Sumit Chueamchaitrakun²

¹Rubber and Polymer Technology Programme, Faculty of Engineering and Agro-Industry,
Maejo University 63 Moo 4 Sansai-Phrao Road, Nongharn, Sansai District, Chiang Mai, Thailand, 50290

²Food Science and Technology Programme, Faculty of Engineering and Agro-Industry,
Maejo University 63 Moo 4 Sansai-Phrao Road, Nongharn, Sansai District, Chiang Mai, Thailand, 50290

*E-mail: darinyamoonchai@gmail.com, 0992944419

Abstract

The objective of this work was to study the sound absorption property of natural rubber latex foam filled with defatted rice bran (DRB). DRB contents were varied at 0, 5, and 10 Part per hundred of rubber (phr). Density, indentation force, compression set and sound absorption property were determined. The obtained test results revealed that an increase of DRB caused an increase of density and indentation force. At 5 phr of DRB showed the highest sound absorption property. The sound absorption coefficient and noise reduction coefficient (NRC) of the latex foam were equal to 38.65% and 0.39, respectively. The standard specification of noise reduction coefficient is 0.4. Sound absorption property of the latex foam filled with DRB was also compared with the standard specification. It was found that the sound absorption property of the natural rubber latex foam filled with 5 phr of DRB was comparable to the standard specification.

Keywords: Natural Rubber Latex, Rubber Foam, Defatted Rice Bran, Sound Absorption Property

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์จากยางพาราส่วนใหญ่มีการเติมสารตัวเติม (Filler) เพื่อปรับปรุงสมบัติบางอย่าง เช่น ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น การนำไฟฟ้า ความต้านทานต่อความร้อน และช่วยในการแปรรูป เป็นต้น ทำให้ได้สมบัติของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ สารตัวเติมนอกจากใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์แล้ว ยังสามารถใช้เพื่อลดต้นทุนได้ด้วย สารตัวเติมที่นิยมใช้ในทางการค้า ได้แก่ เขม่าดำ (Carbon black) ซิลิกา (Silica) และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เป็นต้น ซึ่งสารตัวเติมเหล่านี้เป็นวัสดุที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันจึงมีการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบ ชี้แฉ่ำแกลบ ฟางข้าว กะลากาแฟ และรำสกัดน้ำมันมาเป็นสารตัวเติมทางเลือกในการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางพารา เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย ราคาถูก และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร รำสกัดน้ำมัน (Defatted rice bran, DRB) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันรำข้าว ออกจากรำดิบ ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเส้นใย (Moonchai et al., 2012) ที่ผ่านมา Moonchai et al. (2015) ได้นำรำสกัดน้ำมันมาใช้เป็นสารตัวเติมในโพลียูรีเทนยางธรรมชาติ (ยางแห้ง STR 5L) พบว่าโพลียูรีเทนยางมีขนาดเซลล์ที่ใหญ่ขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้รำสกัดน้ำมัน ทำให้ความหนาแน่นลดลงได้ผลิตภัณฑ์ที่เบาขึ้น และ Moonchai et al. (2016) ศึกษาเปรียบเทียบการใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมกับการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต และดินขาวเป็นสารตัวเติมในโพลียูรีเทนยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) พบว่าการใช้รำสกัดน้ำมันจะให้โพลียูรีเทนยางที่มีลักษณะเซลล์กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอกว่า มีค่าการดูดซึมน้ำ สมบัติทนแรงตีกว่าการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต และดินขาว และการใช้รำสกัดน้ำมันยังสามารถช่วยลดกลิ่นไม่พึงประสงค์จากยางและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตได้ (Moonchai et al., 2016) งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาเกี่ยวกับการทำยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex foam) โดยใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมบัติการดูดซับเสียง

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมีการใช้ฉนวนดูดซับเสียงจำพวกแผ่นโฟม เช่น แผ่นโฟมพอลิยูรีเทน (มิ่งและพงษ์ศักดิ์, 2549) และฉนวนใยแก้ว เพื่อป้องกันเสียง แต่ฉนวนดูดซับเสียงเหล่านี้ผลิตจากวัสดุสังเคราะห์ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่ผ่านมาได้มีการนำวัสดุที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้ทดแทนวัสดุสังเคราะห์ เพื่อลดการใช้พลังงานตลอดจนสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตให้ลดน้อยลง (ภูษิต และณัฐ, 2557) ดริญญา และจักร์กฤษ (2563) ศึกษาสมบัติการดูดซับเสียงของโฟมที่ผลิตจากยางธรรมชาติในรูปแบบของยางแห้งผสมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 25% (Epoxidized natural rubber, ENR 25) ที่อัตราส่วนการผสม 80/20 phr โดยใช้กระบวนการ

ขึ้นรูปยางคอมพาวนด์ด้วยเครื่องอัดยางไฮโดรลิก (Compression molding machine) ที่อุณหภูมิ 160 °C และใช้สารก่อฟอง (Blowing agent) ในการทำยางโฟม เมื่อนำไปทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเสียง (Noise reduction coefficient, NRC) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.16 ซึ่งยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อวัดดูดซับเสียงถูกกำหนดให้ต้องมีค่า NRC ไม่น้อยกว่า 0.40 (กาญจนา และคณะ, 2559) งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดพัฒนาสมบัติการดูดซับเสียงในยางธรรมชาติ โดยเตรียมให้อยู่ในรูปของยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ ด้วยกระบวนการตียางฟองน้ำ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำประกอบด้วยเซลล์ของอากาศที่ต่อเนื่องกันไป ทำให้การถ่ายเทของอากาศเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว มีความยืดหยุ่นดี นิ่ม ความหนาแน่นต่ำ และเมื่อถูกกระทำด้วยแรงกด สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้ดี จึงทำใหยางฟองน้ำถูกนำมาใช้งานในผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย รวมทั้งผลิตภัณฑ์ประเภทยางกันกระแทกและยางสำหรับดูดซับเสียง เนื่องจากคุณสมบัติความสามารถดูดซับพลังงานของยางฟองน้ำ กระบวนการผลิตยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติมีหลายวิธี ที่นิยมใช้ได้แก่ กระบวนการของดันลอฟ หรือเรียกว่า “กระบวนการซิลิโคฟลูออไรด์ (Silicofluoride process)” (วรภรณ์, 2549) โดยในกระบวนการผลิตยางฟองน้ำจากน้ำยางจะใช้สารจำพวกสบู่จากกรดไขมัน เช่น โปแทสเซียมโอเลตเป็นสารช่วยให้เกิดฟองในกระบวนการตีฟองร่วมกับการใช้แรงกล งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติการดูดซับเสียงของยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ โดยใช้ร่าสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมแปรปริมาณร่าสกัดน้ำมันที่ใช้ที่ 0, 5, 10 phr และทดสอบสมบัติทางกายภาพของยางฟองน้ำ ได้แก่ ลักษณะรูพรุน ความหนาแน่น ค่าการเสียรูปหลังการกดอัด แรงกดที่ทำยางฟองน้ำยุบตัว และสมบัติการดูดซับเสียง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กระบวนการตียางฟองน้ำ

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องตีฟองขนาด 5 ลิตร กำลังไฟ 300 W ตียางฟองน้ำตามสูตรดังตารางที่ 1 โดยแปรปริมาณร่าสกัดน้ำมัน (DRB) ที่ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมที่ปริมาณ 0, 5 และ 10 phr หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการตีฟองวัดความสูงของฟองยางที่ได้ จากนั้นนำฟองยางที่ปั่นได้เทลงเบ้าพิมพ์ที่เตรียมไว้ แล้วนำไปอบด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที นำยางฟองน้ำออกจากเบ้าพิมพ์และล้างด้วยน้ำสะอาดก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C จนแห้ง

ตารางที่ 1 สูตรยางและสารเคมีสำหรับกระบวนการตียางฟองน้ำ

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)		
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
60% น้ำยางชั้นแอมโมเนียสูง	100	100	100
10% โพลีเทสซีมโอลิเอต	1.5	1.5	1.5
50% กำมะถัน	2	2	2
50% ZDEC	1	1	1
50% ZMBT	1	1	1
50% CPL	1	1	1
33% DPG	0.8	0.8	0.8
50% ZnO	5	5	5
25% SSF	1	1	1
25% DRB (40 mesh)	0	5	10

3.2 การทดสอบสมบัติยางฟองน้ำ

- 1) ทดสอบความหนาแน่นโดยเตรียมตัวอย่างขนาด 50 x 50 x 50 mm จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาค่าความหนาแน่นจากสมการ (1)

$$D = M/V \quad (1)$$

เมื่อ D คือ ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ, g/cm³
M คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบ, g
V คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ, cm³

- 2) ทดสอบค่าการยุบตัวเนื่องจากการอัดตามมาตรฐาน มอก. 173-2519 ตัดชิ้นตัวอย่างให้มีขนาด เท่ากับ 50 x 50 x 25 mm นำฟองน้ำวางไว้ใต้แผ่นเหล็ก กดแผ่นเหล็กอัดให้ฟองน้ำยุบไป 50% ของความสูงเดิม จากนั้นนำไปเข้าตู้อบลมร้อนที่ 70 °C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เมื่อครบตามกำหนดเวลาให้นำออกจากตู้อบ แกะเอาแผ่น เหล็กออก แล้ววางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัว เนื่องจากแรงอัดจากสมการ (2) ทดสอบจำนวน 3 ซ้ำแล้วรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

$$\text{Compression set (\%)} = \frac{[t_0 - t]}{t_0} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ t_0 คือ ความสูงของชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบ, mm

t คือ ความสูงของชิ้นทดสอบหลังการทดสอบ, mm

- 3) ทดสอบค่าแรงกดที่ทำให้ฟองน้ำมีความหนาลดลงร้อยละ 25 (Indentation test) ตามมาตรฐาน มอก. 173-2519 มีวิธีการทดสอบดังนี้ ตัดฟองน้ำให้มีขนาดเท่ากับ 30 x 30 x 25 mm นำฟองน้ำมาวางลงใต้แผ่นอัด แล้วอ่านแรงที่ใช้กดยางฟองน้ำจนยุบตัวลงไป 25% ของความหนาเดิม ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำแล้วรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย
- 4) การทดสอบสมบัติการดูดซับเสียง ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 10534-2 ตัดชิ้นตัวอย่างหนา 10 cm เป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm สำหรับการทดสอบที่ความถี่สูง และตัดชิ้นทดสอบเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3 cm สำหรับการทดสอบที่ความถี่ต่ำ โดยรายงานเป็นค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเสียง
- 5) ตรวจสอบโครงสร้างเซลล์ เพื่อดูลักษณะรูพรุนของยางฟองน้ำด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่กำลังขยาย 4 เท่า

4. ผลการวิจัย

ตารางที่ 2 แสดงค่าความสูงของฟองยาง ความหนาแน่น ค่าการเสียรูปหลังการกดอัด และแรงกดที่ทำให้ยางฟองน้ำยุบตัว พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณร่าสกัดน้ำมัน ส่งผลให้ความสูงฟองยาง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยความสูงของฟองยางมีค่าเท่ากับ 11.68, 12.12 และ 12.25 cm เมื่อใช้ร่าสกัดน้ำมัน 0, 5 และ 10 phr ตามลำดับ ความสูงของฟองยางสามารถใช้บอกระดับความยากง่ายในการตีฟอง ถ้าความสูงของฟองยางมากหมายถึงการตีฟองเกิดขึ้นได้ง่าย จากความสูงของฟองยางที่ได้ พบว่าการใช้ ร่าสกัดน้ำมันในปริมาณ 0, 5, และ 10 phr ไม่ส่งผลต่อความยากง่ายในการตีฟองมากนัก และที่ปริมาณร่าสกัดน้ำมันดังกล่าว ได้ยางฟองน้ำที่มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.24, 0.29 และ 0.30 g/cm³ ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณร่าสกัดน้ำมันส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากร่าสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมของแข็งที่มีความหนาแน่นมากกว่าเนื้อยาง สำหรับผลทดสอบค่าการเสียรูปหลังการกดอัดพบว่าที่ ปริมาณการใช้ร่าสกัดน้ำมัน เท่ากับ 5 phr ให้ค่าการเสียรูปหลังการกดอัดมากที่สุดคือที่ 22.14% ขณะที่ที่ปริมาณร่าสกัดน้ำมัน 0 และ 10 phr มีค่าการเสียรูปหลังการกดอัดที่ไม่ต่างกันคือที่ประมาณ 18.7% ส่วนค่าแรงกดที่ทำให้

ยางพองน้ำยวบตัว พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณร่าสกัดน้ำมัน ค่าแรงกดที่ทำให้ยางพองน้ำยวบตัว มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมซึ่งเป็นของแข็งเข้าไปแทนที่เนื้อยางทำให้ยาง มีความแข็งเพิ่มมากขึ้นจึงสามารถทนต่อแรงกดอัดได้มากขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 23.94, 27.61 และ 41.12 KPa เมื่อใช้ร่าสกัดน้ำมันที่ปริมาณ 0, 5 และ 10 phr ตามลำดับ รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างรูพรุนของยางพองน้ำเมื่อใช้ร่าสกัดน้ำมันที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่ากรณีที่ไม่มีการใช้สารตัวเติมจะได้ยางพองน้ำที่มีขนาดและรูปร่างของรูพรุนไม่สม่ำเสมอ เมื่อใช้ร่าสกัด น้ำมันในปริมาณ 5 phr จะเห็นได้ว่ายางพองน้ำมีรูพรุนที่มีขนาดเล็กกลอง และมีความสม่ำเสมอ ของขนาดและรูปร่างมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณร่าสกัดน้ำมันเป็น 10 phr ยางพองน้ำจะมีรูพรุน ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีลักษณะรูพรุนที่ต่างออกไป

เมื่อนำยางพองน้ำไปทดสอบสมบัติการดูดซับเสียง และรายงานเป็นค่าสัมประสิทธิ์ การดูดซับเสียง (Sound absorption coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเสียง (Noise reduction coefficient, NRC) แสดงดังตารางที่ 3 และรูปที่ 2 และ 3 โดยการใช้ร่าสกัดน้ำมัน ที่ปริมาณ 0, 5 และ 10 phr ให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีค่าเท่ากับ 36.33, 38.65 และ 32.11% ตามลำดับ เมื่อรายงานในรูปแบบของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเสียง (NRC) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่า สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงหารด้วย 100 (กาญจนา และคณะ, 2559) จะได้ค่า NRC เท่ากับ 0.36, 0.39 และ 0.32 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 สมบัติของยางพองน้ำที่ใช้ร่าสกัดน้ำมันในปริมาณที่ต่างกัน

DRB (phr)	ความสูงพองยาง (cm)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	การเสียรูปหลังการกดอัด (%)	แรงกดที่ทำให้พองน้ำยวบตัว (KPa)
0	11.68±0.28		18.74±0.75	23.94±3.00
5	12.12±0.03	0.24±0.01	22.14±1.22	27.61±2.67
10	12.25±0.05	0.29±0.02	18.70±1.39	41.12±3.48
		0.30±0.00		

ตารางที่ 3 สมบัติการดูดซับเสียงของยางพองน้ำที่ใช้ร่าสกัดน้ำมันในปริมาณที่ต่างกัน

DRB (phr)	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (%)	ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเสียง (NRC)
0	36.33±8.31	0.36±0.08
5	38.65±2.19	0.39±0.02
10	32.11±7.11	0.32±0.07



(1)

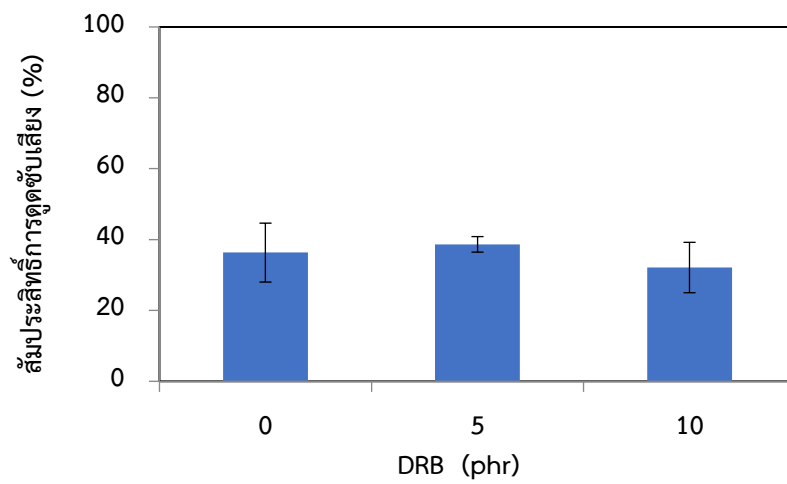


(ข)

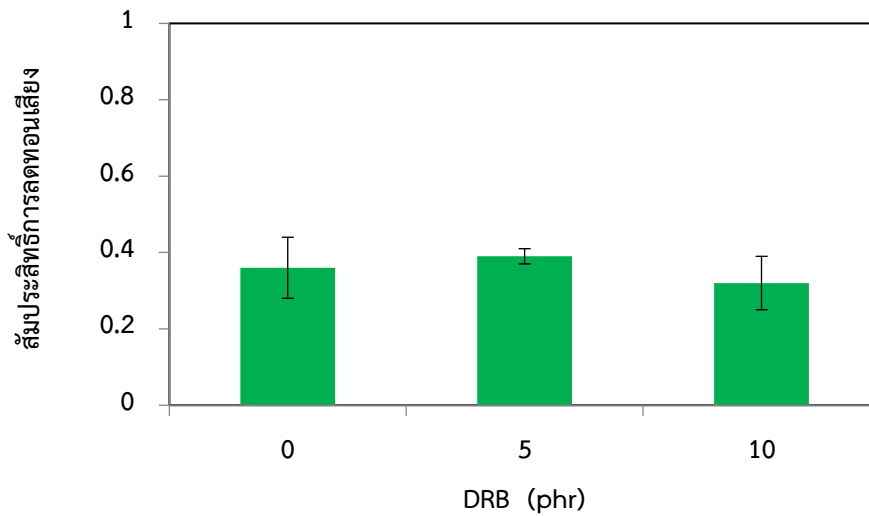


(ค)

รูปที่ 1 โครงสร้างรูพรุนของยางพองน้ำเมื่อใช้รำสกัดน้ำมันที่ปริมาณ
(ก) 0 phr (ข) 5 phr (ค) 10 phr



รูปที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของยางพองน้ำที่ใช้รำสกัดน้ำมันในปริมาณที่ต่างกัน



รูปที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเสียงของยางพองน้ำที่ใช้ร่าสกัดน้ำมันในปริมาณที่ต่างกัน

5. สรุปและอภิปรายผล

ความสูงของพองยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณร่าสกัดน้ำมัน และเมื่อทดสอบสมบัติความหนาแน่น จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณร่าสกัดน้ำมันส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากร่าสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมของแข็งที่มีความหนาแน่นมากกว่าเนื้อยาง เมื่อใช้เติมลงไปในระบบการตีพอง จึงส่งผลให้ได้ยางพองน้ำที่มีค่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นการเพิ่มปริมาณร่าสกัดน้ำมัน ยังส่งผลให้ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงกดอัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมซึ่งเป็นของแข็งเข้าไปแทนที่เนื้อยางให้ยางมีความแข็งเพิ่มมากขึ้นจึงสามารถทนต่อแรงกดอัดได้มากขึ้น ส่วนที่ปริมาณการใช้ร่าสกัดน้ำมันเท่ากับ 5 phr จะให้ค่าการเสีรूपหลังการกดอัดมากที่สุด จากผลทดสอบจะเห็นได้ว่าการใช้ร่าสกัดน้ำมันที่ปริมาณ 5 phr ให้สมบัติการดูดซับเสียงที่ดีที่สุด คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเท่ากับ 38.65% และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเสียง (NRC) เท่ากับ 0.39 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของวัสดุดูดซับเสียงที่กำหนดให้วัสดุดูดซับเสียงต้องมีค่า NRC ไม่น้อยกว่า 0.40 (กาญจนา และคณะ, 2559) เนื่องจากเมื่อใช้ร่าสกัดน้ำมันในปริมาณ 5 phr จะได้ยางพองน้ำมีรูพรุนที่มีขนาดเล็กกล และมีความสม่ำเสมอของขนาดและรูปร่างมากขึ้น ดังนั้นจากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าสามารถนำเอาร่าสกัดน้ำมันมาใช้เป็นสารตัวเติมในการผลิตยางพองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ โดยปริมาณร่าสกัดน้ำมันที่เหมาะสม ได้แก่ 5 phr และได้ยางพองน้ำที่มีสมบัติดูดซับเสียงมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของวัสดุดูดซับเสียง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2564 และขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสมบูรณ์

7. เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา วรพุด, ปารเมศ กำแหงฤทธิ์รงค์, ศรีเดช สุริต, กรกอร หั่นเจริญ, และธิดิมา ไส้ไม้. (21 กรกฎาคม 2559). แผ่นบุผนังจากขี้ข้าวโพด. *การประชุมวิชาการนเรศวรวิจัย ครั้งที่ 12 วิจัยและนวัตกรรมกับการพัฒนาประเทศ*. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ตรีญา มุลชัย และจักร์กฤษ เตสทิ. (2-3 กันยายน 2563). สมบัติของโฟมยางธรรมชาติผสมยางธรรมชาติอีพอกไซด์. *การประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 6*. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และณัฐ มากุล. (2557). สมบัติการดูดซับเสียงของบล็อกซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ. *วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 37(1), 17-31.
- มี ง โลกกิจแสงทอง และพงษ์ศักดิ์ คำมูล. (18-20 ตุลาคม 2549). การหาสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุโดยใช้ท่อแบบคลื่นยืน. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20*. จังหวัดนครราชสีมา.
- วรารภรณ์ ขจรไชยกูล. (2549). ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) กรุงเทพฯ.
- Moonchai, D., Moryadee, N., & Poosodsang, N. (2012). Comparative Properties of Natural Rubber Vulcanisates Filled with Defatted Rice Bran, Clay and Calcium Carbonate. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 6(2), 249-258.
- Moonchai, D., Juntamui, P., & Ruankum, R. (2015). Utilization of Defatted Rice Bran as a Filler for Cellular Natural Rubber. *The 6th International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being. RMUTI Journal. Special issue 1*, 451-457.

Moonchai, D., Juntamui, P., & Ruankum, R. (2016). Effect of Defatted Rice Bran, Calcium Carbonate and Clay on Properties of Cellular Natural Rubber. *Silpakorn University Science and Technology Journal*, 10(4), 10-14.



CONFERENCE ON RESEARCH
& CREATIVE INNOVATIONS
การประชุมวิชาการ
วิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์



Proceeding CIRCi 2023

เล่ม 1 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 9 ประจำปี 2566
The 9th Conference on Research and Creative Innovations 2023

วันที่ 25-26 กรกฎาคม 2566
ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติ โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่



03-AGRI

งานวิจัย ด้าน เทคโนโลยีเกษตร และอาหาร

การเปรียบเทียบการเพาะพันธุ์ปลาเลียหินด้วยอัตราส่วนเพศต่างกัน

อมรชัย ล้อทองคำ^{1*} เขาวลีย์ ใจสุข¹ เอกชัย คำพุทธ¹

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน
59 หมู่ 13 ตำบลฝายแก้ว อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน 55000

*E-mail: amornchai@rmutl.ac.th, +66 8289 32210

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบการเพาะพันธุ์ปลาเลียหินด้วยอัตราส่วนเพศต่างกัน เป็นการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนเพศปลาที่เหมาะสมในการเพาะพันธุ์ปลาเลียหิน ด้วยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย 1:1, 2:1 และ 3:2 ตามลำดับ และแต่ละชุดการทดลองมี 4 ซ้ำ จากผลการทดลอง พบว่าจำนวนไข่ทั้งหมดเฉลี่ยต่อตัวของแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ $9,822.75 \pm 600.84$, $9,528.75 \pm 757.09$ และ $10,166.75 \pm 760.03$ ฟอง ตามลำดับ อัตราการปฏิสนธิของไข่เฉลี่ยต่อตัวของแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 94.07 ± 0.01 , 97.50 ± 0.02 และ 96.17 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า อัตราการปฏิสนธิของทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนอัตราการฟักไข่เฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลอง เท่ากับ 95.07 ± 2.00 , 97.49 ± 1.03 และ 96.16 ± 2.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าอัตราการฟักไข่ระหว่างชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ชุดการทดลองที่ 1 มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนเพศที่เหมาะสมที่สุดในการเพาะพันธุ์ปลาเลียหินคือ 2:1

คำสำคัญ ปลาทองถิ่น อัตราการปฏิสนธิ อัตราการฟัก

Comparison on Breeding of *Ceratogarra cambodgiensis* (Tirant, 1884) with Different Sex Ratios

Amornchai Lothongkham^{1*} Chaowalee Jaisuk¹ Ekkachai Khamput¹

¹Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Nan, 59, Moo 13, Fai Kaew, Phu Phiang, Nan, 55000

*E-mail: amornchai@rmutl.ac.th, +66 8289 32210

Abstract

The comparison of breeding of *Ceratogarra cambodgiensis* (Tirant, 1884) with different sex ratios was studied to find the optimum of sex ratio for breeding its. The experiment design was completely randomized design, it consisted of 3 treatments on different sex ratios by male per female as 1:1, 2:1 and 3:2 respectively, and each of which were 4 replications. The results showed that the average number of eggs in each treatment were $9,822.75 \pm 600.84$, $9,528.75 \pm 757.09$ and $10,166.75 \pm 760.03$ respectively. The average fertilization rate in each treatment was 94.07 ± 0.01 , 97.50 ± 0.02 and 96.17 ± 0.01 percent, respectively. The statistical analysis showed that the average fertilization rate of all treatments were significantly different ($p < 0.05$). The average hatching rate in each treatment were 95.07 ± 2.00 , 97.49 ± 1.03 and 96.16 ± 2.00 percent, respectively, the result shown that, average hatching rate between treatment 1 and 3 were not significantly difference ($p > 0.05$), but treatment 1 and 2 were significantly difference ($p < 0.05$), and treatment 2 and 3 were not significantly difference ($p > 0.05$). Therefore, it can be concluded that the difference sex ratio by male per female as 2:1 was the optimal rate.

Keywords: Native fish, Fertilization rate, Hatching rate

1. บทนำ

ปลาเลียหินจัดอยู่ในอันดับของปลาตะเพียน (Order Cypriniformes) วงศ์ปลาตะเพียน (Family Cyprinidae) ปลาเลียหินเป็นปลาขนาดเล็กที่มีการกระจายพันธุ์ตามลำธารหรือแม่น้ำบนพื้นที่สูงในกลุ่มแม่น้ำโขงตั้งแต่มณฑลยูนนานในจีน ไทย ลาว กัมพูชา จนถึงเวียดนาม กลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา และกลุ่มแม่น้ำต่าง ๆ ในคาบสมุทรมลายู (Kottelat, 2001; Rainboth, 1996) ซึ่งปลาเลียหินเป็นปลาขนาดเล็กที่มีรสชาติมันและอร่อย จึงเป็นปลาที่คนบนพื้นที่สูงนิยมนำมารับประทาน โดยเฉพาะปลาในฤดูวางไข่ ปลาจะมีความอร่อยเป็นพิเศษ และสามารถขายได้ในราคาสูงมาก จึงทำให้คนในชุมชนจับเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้จำนวนปลาในแหล่งน้ำธรรมชาติลดลงอย่างต่อเนื่อง (อมรชัย, 2563) จึงทำให้มีหน่วยงานต่าง ๆ ได้ทำการศึกษาวิจัยเพาะพันธุ์ปลาเลียหินเพื่อนำไปสู่การเพาะเลี้ยงทั้งในเชิงอนุรักษ์ และพัฒนาสู่การเลี้ยงเชิงพาณิชย์ แต่การศึกษาวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นศึกษาถึงความเข้มข้นของฮอร์โมนสังเคราะห์ต่อการผสมพันธุ์วางไข่ของปลา โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเพศผู้ต่อเพศเมีย 1:1 มีอัตราการฟักไข่เฉลี่ย 79.65 เปอร์เซ็นต์ (ประสาน และอุมาภรณ์, 2549) อัตราส่วนระหว่างเพศผู้ต่อเพศเมีย 1:1 มีอัตราการฟักไข่เฉลี่ย 97.3 เปอร์เซ็นต์ (วิวัฒน์ และคณะ, 2545) และอัตราส่วนระหว่างเพศผู้ต่อเพศเมีย 1:1 อัตราการฟักเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์ (อมรชัย และเชาวลีย์, 2553) แต่ปัจจัยอย่างหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการผสมพันธุ์วางไข่ของปลา คืออัตราส่วนของเพศปลา โดยเฉพาะปลาในกลุ่มปลาตะเพียนนั้นเพศเมียมีขนาดใหญ่กว่าปลาเพศผู้ หากอัตราส่วนของเพศปลาในการผสมพันธุ์เหมาะสมจะมีผลต่อทั้งการผสมติดของไข่ อัตราการฟัก และอัตราการรอดตายของลูกปลา (Davoodi & Raisi, 2019; Khalfalla *et. al.*, 2008; Maskill *et. al.*, 2017; Muntaziana *et. al.*, 2011; Palav & Belsare, 1995)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายศึกษาถึงอัตราส่วนของเพศปลาเลียหินที่เหมาะสมต่อการเพาะพันธุ์ เพื่อให้การเพาะพันธุ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การปรับปรุงและพัฒนาวิธีการเพาะพันธุ์ปลาเลียหินให้ดียิ่งขึ้น

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการผสมพันธุ์กันตามธรรมชาติของปลาแต่ละชนิดจะมีวิธีการจับคู่หรือจับกลุ่มในการผสมพันธุ์ที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดตัวและความสามารถในการผสมพันธุ์ (Earn, 1996) ปลาบางชนิดตัวผู้ 1 ตัวสามารถจับคู่ผสมพันธุ์กับปลาตัวเมียได้หลายตัว บางชนิดจับคู่ผสมพันธุ์แบบ 1 ต่อ 1 บางชนิดใช้ตัวผู้มากกว่า 1 ตัว ต่อตัวเมีย 1 ตัว (ณัฐพงษ์, 2559; Khalfalla *et. al.*, 2008) ซึ่งอัตราส่วนการจับคู่ของปลาแต่ละชนิดที่แตกต่างกันนั้น มีเป้าหมายเพื่อให้ไข่ได้รับการผสม ติดมากที่สุด ซึ่งจะมีผลต่อประชากรของปลาชนิดนั้น ๆ ในอนาคต

กลุ่มปลาในวงศ์ปลาตะเพียน (Family Cyprinidae) ในเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล มีอัตราส่วนระหว่างเพศผู้ต่อเพศเมียที่ใกล้เคียงกัน เช่น ปลาสร้อยขาว มีอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย เท่ากับ 1:0.98 ปลากระสูบขีด มีอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย เท่ากับ 1:0.55 ปลาตะเพียนขาว มีอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย เท่ากับ 1:0.63 (ชนกันต์ และคณะ, 2547) จากข้อมูลจะเห็นได้ว่า ในแหล่งน้ำธรรมชาตินั้นจำนวนปลาเพศผู้มีอัตราส่วนเพศที่มากกว่าเพศเมียซึ่งจะมีผลต่อการสืบพันธุ์วางไข่ของปลาแต่ละชนิด ดังนั้นในการเพาะพันธุ์ปลาในกลุ่มปลาตะเพียน จึงมักใช้อัตราส่วนระหว่างเพศผู้ต่อเพศเมีย เท่ากับ 2:1 เพื่อให้ไข่ได้รับการผสมจากอสุจิมากที่สุด (อุทัยรัตน์, 2538)

สำหรับปลาเลียหินนั้นตัวผู้จะมีขนาดเล็กกว่าตัวเมีย ดังนั้นการผสมพันธุ์เพื่อให้ไข่ได้รับการผสมจากน้ำเชื้อเพียงพอเพื่อให้ไข่ผสมติดมากที่สุดจึงน่าจะใช้ตัวผู้มากกว่า 1 ตัว ต่อตัวเมีย 1 ตัว ดังนั้นการศึกษาวิจัยอัตราส่วนระหว่างเพศผู้ต่อเพศเมีย ของปลาเลียหิน จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การวางแผนการทดลอง

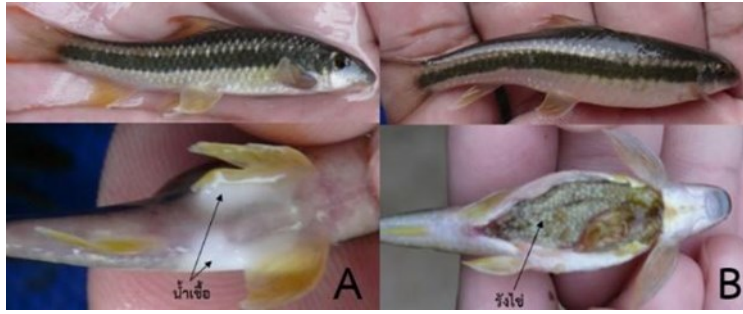
การวางแผนการทดลองเป็นแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ๆ ละ 4 ซ้ำ ดังนี้ ชุดการทดลองที่ 1 อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย 1:1 ชุดการทดลองที่ 2 อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย 2:1 และชุดการทดลองที่ 3 อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย 3:2

3.2 การเตรียมตู้ ระบบน้ำและระบบการให้อากาศสำหรับการทดลอง

การทดลองใช้ตู้กระจกสำหรับเลี้ยงปลาขนาด 12x24x16 นิ้ว จำนวน 12 ตู้ ตามการวางแผนการทดลอง ตู้ที่ใช้จะถูกทำความสะอาดและตากให้แห้ง จากนั้นจึงเติมน้ำให้มีระดับน้ำสูง 30 เซนติเมตร ตั้งระบบเติมน้ำเข้าและไหลออกแบบผ่านตลอดเวลา และให้ออกซิเจนโดยเครื่องเติมอากาศตลอดการทดลอง

3.3 การเตรียมพ่อ-แม่พันธุ์ปลาเลียหิน

ทำการรวบรวมพ่อ-แม่พันธุ์ปลาเลียหินจากน้ายาว ในเขตบ้านห้วยหาด ตำบลวน อำเภอบัว จังหวัดน่าน แล้วทำการคัดเลือกพ่อ-แม่พันธุ์ที่สมบูรณ์และพร้อมผสมพันธุ์รวม 40 ตัว โดยปลาเพศผู้จะมีน้ำเชื้อสีขาวขุ่นไหลออกมาเมื่อแตะที่ช่องเพศเบา ๆ (รูปที่ 1A) ส่วนปลาเพศเมียจะมีขนาดตัวใหญ่กว่าเพศผู้ชัดเจนและส่วนท้องจะอูมเปล่งอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 1B) จากนั้นนำพ่อ-แม่พันธุ์ปลามาพักแยกกันในกะละมังพร้อมเปิดน้ำไหลผ่าน และให้อากาศตลอดเวลาเพื่อไม่ให้พ่อ-แม่พันธุ์ปลาเกิดการเครียด ซึ่งความเครียดจะมีผลต่อการผสมพันธุ์วางไข่ของปลา



รูปที่ 1 ลักษณะภายนอกและน้ำเชื้อปลาเทศผู้ (A) และลักษณะภายนอกและรังไข่ของปลาเทศเมีย (B)

3.4 การหาความดกของไข่

ในการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเพาะพันธุ์ปลาเลียหินจำเป็นต้องทราบความดกของไข่ปลาจึงจะสามารถวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ได้ โดยทำการคัดแม่พันธุ์ที่รวบรวมมาได้พร้อมกับแม่พันธุ์ที่ใช้ทดลองจำนวน 8 ตัวมาทำการสุ่มนับไข่เพื่อหาความดกของไข่ของปลาแต่ละตัว โดยการชั่งน้ำหนักแต่ละตัว แล้วคำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ยต่อปลา 1 ตัว จากสูตร = น้ำหนักรวมของปลา/8 แล้วทำการผ่าท้อง นำรังไข่ทั้งหมดมาชั่งพร้อมจดบันทึกน้ำหนักรังไข่ของแม่พันธุ์แต่ละตัว จากนั้นตัดเอารังไข่ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของรังไข่ทั้งหมดพร้อมชั่งน้ำหนักแล้วนำมานับจำนวนไข่ได้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ แล้วคำนวณกลับหาจำนวนไข่ทั้งรังไข่ของปลาแต่ละตัว จากนั้นหาจำนวนไข่เฉลี่ยต่อตัว จากการสุ่มนับไข่ก็จะทำให้ทราบว่าแม่พันธุ์แต่ละตัวที่นำมาทดลองมีไข่จำนวนเท่าใด (ตารางที่ 1)

$$\text{โดยคำนวณจากสูตร} = (\text{น้ำหนักปลา} \times \text{จำนวนไข่เฉลี่ย}) / \text{น้ำหนักปลาเฉลี่ย}$$

ตารางที่ 1 น้ำหนักพ่อ-แม่พันธุ์ปลาเลียหินในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่	น้ำหนักเพศผู้เฉลี่ย (กรัม)	น้ำหนักเพศเมียเฉลี่ย (กรัม)
1	7.69±0.01 ^a	11.62±0.02 ^a
2	7.66±0.02 ^a	11.17±0.01 ^a
3	7.74±0.01 ^a	11.89±0.2 ^a

หมายเหตุ:

ค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลองในแนวนอนที่ถูกกำกับด้วยตัวอักษรอังกฤษแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติ

3.5 การเพาะพันธุ์ปลาเลียหินด้วยอัตราส่วนเพศต่างกัน

นำพ่อ-แม่พันธุ์ปลาที่คัดไว้แล้วมาทำการฉีดด้วยฮอร์โมนสังเคราะห์ (Buserelin acetate) ที่ความเข้มข้น 15 ไมโครกรัม/ปลา 1 กิโลกรัม ร่วมกับยาเสริมฤทธิ์ (Domperidone) 10 มิลลิกรัม/ปลา 1 กิโลกรัม โดยพ่อพันธุ์ฉีดตัวละ 0.03 มิลลิลิตร ส่วนแม่พันธุ์ฉีดตัวละ 0.05 มิลลิลิตร จากนั้นนำพ่อ-แม่พันธุ์ปลาปล่อยลงตู้ทดลองตามแผนการทดลองที่วางไว้ โดยทำการผสมพันธุ์ด้วยวิธีเลียนแบบธรรมชาติ

3.6 การเก็บและบันทึกข้อมูลการทดลอง

เก็บและบันทึกข้อมูลการทดลองเพื่อนำมาประเมินผลของการเพาะพันธุ์ปลาเลียหินด้วยอัตราส่วนเพศต่างกันตามวิธีการของอุทัยรัตน์ (2538) ดังนี้

- 1) จำนวนไข่ทั้งหมดเฉลี่ยต่อตัว = จำนวนไข่ทั้งหมดเฉลี่ยต่อตัวในแต่ละชุดการทดลอง
- 2) อัตราการปฏิสนธิ ทำการนับจำนวนไข่ดีเปรียบเทียบกับจำนวนไข่ทั้งหมด แล้วหาค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลอง โดยที่จำนวนไข่ดีนับเฉพาะไข่ที่มีการพัฒนามาถึงระยะแกสตรูลา (gastrula) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 3-5 ชั่วโมงหลังจากผสมพันธุ์วางไข่แล้ว โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{อัตราการปฏิสนธิ} = \frac{\text{จำนวนไข่ที่พัฒนาถึงระยะแกสตรูลา (ฟอง)}}{\text{จำนวนไข่ทั้งหมด}} \times 100$$

- 3) อัตราการฟักไข่ นำไข่ที่ใช้ศึกษาอัตราการปฏิสนธิมาศึกษาอัตราการฟักไข่ต่อไปจนกระทั่งไข่ฟักเป็นตัว นับจำนวนตัวปลาเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์กับจำนวนไข่ปลาที่ได้รับการปฏิสนธิ โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{อัตราการฟักไข่} = \frac{\text{จำนวนลูกปลาที่ฟักออกเป็นตัว}}{\text{จำนวนไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิ (ฟอง)}} \times 100$$

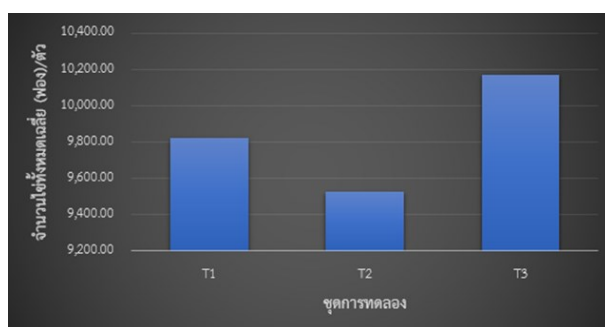
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ one way analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

4. ผลการวิจัย

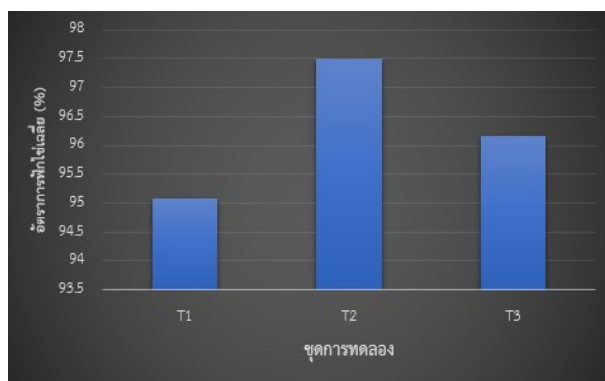
จากผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลการผสมพันธุ์ปลาเลียหินในอัตราส่วนเพศต่างกัน พบผลดังนี้

4.1 จำนวนไข่เฉลี่ยต่อตัว พบว่าในแต่ละชุดการทดลอง ได้แก่ อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย 1:1, 2:1 และ 3:2 มีไข่เฉลี่ยต่อตัว เท่ากับ $9,822.75 \pm 600.84$ ฟองจากแม่ปลาน้ำหนักเฉลี่ย 11.62 กรัม, $9,528.75 \pm 757.09$ ฟอง จากแม่ปลาน้ำหนักเฉลี่ย 11.17 กรัม และ $10,166.75 \pm 760.03$ ฟอง จากแม่ปลาน้ำหนักเฉลี่ย 11.89 กรัม ตามลำดับ (รูปที่ 2, ตารางที่ 2) ซึ่งจำนวนไข่จะแปรผันตรงกับน้ำหนักตัวของแม่ปลา (ตารางที่ 1)



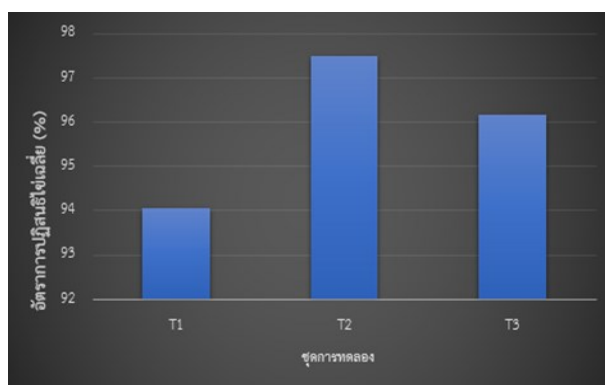
รูปที่ 2 จำนวนไข่ทั้งหมดเฉลี่ย (ฟอง/ตัว) ของแม่ปลาเลียหินในแต่ละชุดการทดลอง

4.2 อัตราการปฏิสนธิของไข่ พบว่า ชุดการทดลองที่ 2 คือ อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย 2:1 มีอัตราการปฏิสนธิของไข่สูงสุด เท่ากับ 97.50 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคืออัตราส่วนที่ 3:2 และ 1:1 เท่ากับ 96.17 ± 0.01 และ 94.07 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 3, ตารางที่ 2) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าทุกชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 3 เปอร์เซ็นต์อัตราการปฏิสนธิไข่เฉลี่ยต่อตัวของแม่ปลาเลียหินในแต่ละชุดการทดลอง

4.3 อัตราการฟักไข่ พบว่าชุดการทดลองที่ 2 คือ อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย 2:1 มีอัตราการฟักไข่สูงสุด เท่ากับ 97.49 ± 1.03 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคืออัตราส่วนที่ 3:2 และ 1:1 เท่ากับ 96.16 ± 2.00 และ 95.07 ± 2.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 4, ตารางที่ 2) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าอัตราการฟักระหว่างชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ชุดการทดลองที่ 1 มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)



รูปที่ 4 เปอร์เซ็นต์อัตราการฟักไข่ของแม่ปลาเลียหินแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 2 จำนวนไข่ทั้งหมด อัตราการปฏิสนธิ และอัตราการฟักไข่ ในการเพาะพันธุ์ปลาเลียหินด้วยอัตราส่วนเพศต่างกัน

ค่าการศึกษา	อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย (ตัว)		
	1:1	2:1	3:2
จำนวนไข่ทั้งหมดเฉลี่ย/ตัว (ฟอง)	9,822.75 ± 600.84	9,528.75 ± 757.09	10,166.75 ± 760.03
อัตราการปฏิสนธิของไข่เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	94.07 ± 0.01 ^a	97.50 ± 0.02 ^b	96.17 ± 0.01 ^c
อัตราการฟักไข่เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	95.07 ± 2.00 ^{ac}	97.49 ± 1.03 ^{bc}	96.16 ± 2.00 ^{abc}

หมายเหตุ:

ค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลองในแนวนอนที่ถูกกำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติ

5. สรุปและอภิปรายผล

5.1 จำนวนไข่เฉลี่ยต่อตัว พบว่า แม่ปลาชุดการทดลองที่ 3 มีไข่เฉลี่ยต่อตัวเท่ากับ 10,166.75 ฟอง ซึ่งมีไข่มากกว่าแม่ปลาในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีไข่เฉลี่ยต่อตัวเท่ากับ 9,822.75 และ 9,528.75 ฟอง ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าขนาดและน้ำหนักของแม่ปลามีผลต่อจำนวนไข่ (ตารางที่ 1) ซึ่งปลาที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากกว่าจะมีจำนวนไข่ที่มากกว่าแม่ปลาที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักน้อยกว่า (ประสาน และอุมาภรณ์, 2549) ดังนั้นหากต้องการจำนวนลูกปลาเป็นจำนวนมากในการเพาะพันธุ์ปลาเลี้ยงหินแต่ละครั้ง จึงควรคัดเลือกแม่พันธุ์ที่มีขนาดใหญ่

5.2 อัตราการปฏิสนธิของไข่ จากผลการศึกษาพบว่าชุดการทดลองที่ 2 คืออัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย 2:1 มีอัตราการปฏิสนธิของไข่สูงกว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 3 คือ อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย 1:1 และ 3:2 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่อัตราส่วนที่ 1:1 และ 3:2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเพาะพันธุ์ปลาด้วยอัตราส่วนเพศที่ต่างกันมีผลต่อการปฏิสนธิของไข่ปลา (ณัฐพงษ์, 2559; สุริยะ, 2550; Davoodi & Raisi, 2019) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงขนาดลำตัวแล้ว จะพบว่าปลาเลี้ยงหินเพศผู้จะมีขนาดเล็กกว่าปลาเลี้ยงหินเพศเมียในปลาที่มีอายุเท่ากัน ดังนั้นหากเพาะพันธุ์ปลาเลี้ยงหินในอัตราส่วนที่ 1:1 หรือ 3:2 จะทำให้ตัวผู้ไม่สามารถไล่ต้อนเพื่อรีดไข่และผสมพันธุ์กับตัวเมียได้ดีนักและปริมาณน้ำเชื้อก็ไม่เพียงพอในการเข้าไปผสมกับไข่ปลา ทำให้อัตราการปฏิสนธิของไข่ต่ำกว่าการเพาะพันธุ์ปลาเลี้ยงหินที่อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียที่ 2:1 เพราะปลาตัวผู้ 2 ตัวสามารถเข้าต้อนเพื่อรีดไข่และผสมพันธุ์ตัวเมียเพียง 1 ตัวได้ดีกว่าและมีปริมาณน้ำเชื้อที่เพียงพอต่อการผสมพันธุ์กับไข่ ดังนั้นขนาดตัวปลาจึงมีผลสำคัญอย่างยิ่งต่อการผสมพันธุ์และการปฏิสนธิของไข่ปลา (ประสาน และอุมาภรณ์, 2549; วิวัฒน์ และคณะ, 2545; อุทัยรัตน์, 2538)

5.3 อัตราการฟักไข่ ผลการศึกษา พบว่าชุดการทดลองที่ 2 คืออัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย 2:1 มีอัตราการฟักไข่สูงกว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 3 คือ อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย 3:2 และ 1:1 ตามลำดับ แต่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 2 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ชุดการทดลองที่ 2 และ 3 นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และชุดการทดลองที่ 3 นั้นกลับไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 1 และ 2 นั้น แสดงให้เห็นว่าอัตราการฟักไข่มีความต่อเนื่องมาจากการปฏิสนธิของไข่ เพราะจำนวนไข่ที่มีการปฏิสนธิสูงจะมีโอกาสในการฟักออกเป็นตัวได้มากกว่าปลาที่มีการปฏิสนธิต่ำ นอกจากนี้ยังมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณและความแข็งแรงของน้ำเชื้อด้วย เพราะในการผสมพันธุ์ของปลานั้นหากน้ำเชื้อไม่แข็งแรงพอถึงแม้ไข่จะได้รับการปฏิสนธิแล้ว

โอกาสที่ไข่จะหยุดพัฒนาต่อหรือไข่เสียก็มีโอกาสสูงมาก (แจ่มจันทร์ และคณะ, 2556; ญัฐวรณ และเฉลิมเกียรติ, 2560)

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองทั้งการปฏิสนธิและอัตราการฟักไข่แล้วจึงสามารถสรุปได้ว่า การเพาะพันธุ์ปลาเลียหินนั้นควรใช้อัตราส่วนระหว่างพ่อพันธุ์ต่อแม่พันธุ์ที่ 2:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด แต่ถ้าหากมีพ่อพันธุ์ไม่มากพอก็สามารถลดอัตราส่วนเพศเป็น 3:2 ก็ได้ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับอัตราส่วนที่ 2:1 และอัตราส่วนเพศทางเลือกสุดท้ายในการเพาะพันธุ์ปลาเลียหิน คือ 1:1 แต่การปฏิสนธิและอัตราการฟักไข่จะต่ำกว่าทั้ง 2 อัตราส่วน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณนัยนา ทีฆาวงค์ ผู้ใหญ่บ้านและคนในชุมชนบ้านห้วยหาด ตำบลวน อำเภอบัว จังหวัดน่าน ที่อนุญาตให้จับและรวบรวมพ่อ-แม่พันธุ์ปลาเลียหินในเขตอนุรักษ์พันธุ์สัตว์น้ำในน้ำยาวของชุมชน ขอขอบคุณคุณสุดา เขื่อนแก้ว ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่บริเวณบ้าน ในการตั้งชุดทดลองและทำงานภาคสนามในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- แจ่มจันทร์ เพชรศิริ, อัจฉรัตน์ สุวรรณภักดิ์, และสุภฎา ศิริรัฐนิคม. 2556. เปรอร์เซ็นต์การปฏิสนธิและเปอร์เซ็นต์การฟักของไข่ปลาตุ๊กลาพันธ์จากการผสมเทียมโดยใช้น้ำเชื้อสด น้ำเชื้อแช่เย็นและน้ำเชื้อแช่แข็ง. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 16(3), 139-146.
- ชนกันต์ จิตมนัส, น้ำเพชร ประกอบศิลป์, ขจรเกียรติ แซ่ตัน, บัญชา ทองมี, อภินันท์ สุวรรณรักษ์, ทิพสุคนธ์ พิมพ์พิมล, และจงดล พรหมยะ. 2547. *การพัฒนาอวัยวะสืบพันธุ์และฤดูวางไข่ของปลาเศรษฐกิจบางชนิดในเขื่อนแม่จันทน์ชล จ.เชียงใหม่*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ญัฐวรณ สมนึก, และเฉลิมเกียรติ สมนึก. 2560. ผลของการเสริมวิตามินซีต่อคุณภาพน้ำเชื้ออัตราการปฏิสนธิและอัตราการฟักของปลาตุ๊กลาพันธ์. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์*, น. 42-50.
- ญัฐพงษ์ เพชรฤทธิ์. 2559. *การเพาะพันธุ์ปลาชีวาเตียวโดยใช้อัตราส่วนเพศที่ต่างกัน*. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 21/2559. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง.

- ประสาน พรโสภิน, และ อุมาภรณ์ จรดล. 2549. *การเพาะและอนุบาลปลาเลียหิน*. เอกสารวิชาการฉบับที่ 20/2549. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง.
- วิวัฒน์ ประรรมภ์, พงษ์พันธ์ สุนทรวิภาต, และวิจักษ์ ขุนพลช่วย. 2545. *การเพาะและอนุบาลปลาหมัน*. เอกสารวิชาการฉบับที่ 34/2545. กองประมงน้ำจืด, กรมประมง.
- สุริยะ จันทรแก้ว. 2550. การเพาะขยายพันธุ์ปลาชิวไบไฟ. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 สาขาประมง*, น. 432-439.
- อมรชัย ล้อทองคำ. 2563. *การเพาะขยายพันธุ์ปลาเลียหิน*. เชียงใหม่: สยามพิมพ์นานาชาติ.
- อมรชัย ล้อทองคำ และ เขาวลัย ใจสุข. 2553. การศึกษาและการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเพาะพันธุ์ปลาเลียหินในเชิงอนุรักษ์ เพื่อความมั่นคงทางอาหารในอำเภอ บ่อเกลือจังหวัดน่าน. ใน *การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, น. 420-422.
- อุทัยรัตน์ ณ นคร. 2538. *การเพาะขยายพันธุ์ปลา* (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ริ้วเขียว.
- Earn, S.B. 1996. Reproductive rates, operational sex ratio and mate choice in St. Peter's fish. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 39, 107-116.
- Kottelat, M. 2001. *Fishes of Laos*. Colombo: WHT Publications.
- Rainboth, W.J. 1996. *Fishes of Cambodian Mekong*. Rome: FAO.
- Maskill, P.A.C., Miller, I.R., Halverson, L.J., Treanor, H.B., Fraser, C.W. and Webb, M.A.H. 2017. Role of sex ratio and density on fertilization success of intensively cultured endangered Woundfin. *Journal of Fishes and Wildlife Management*, 8(1), 249-254.
- Palav, A.D., Belsare, S.G. 1995. Studies on fecundity, sex ratio and crossbreeding in different strains of guppy. *Journal of the Indian Fisheries Association*, 25, 99-106.
- Muntaziana, M.P.A., Rahim, A.A., Harmin, S.A. and Amin, S.M.N. 2011. Effect of broodfish sex ratio on seed production of Red Tilapia in suspended hapa. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 6(7), 862-866.
- Davoodi, F. and Raisi, A. 2019. Effect of adult sex ratio on larvae number and survival of fry in *Xiphophorus maculatus* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). *Journal of Animal Diversity*, 1(2), 83-89.

การพัฒนาเครื่องตีผงโปรตีนจากถั่วเสริมกากงาดำ

วรรณวิมล พุ่มโพธิ์^{1*} สุรัสวดี ปลิโพธิ์² เฉลิมเกียรติ หาญอยู่³ ญาณิศา จันทร์มี⁴ พงษ์ฝน อรุณ⁵

1,2,3,4,5 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

เลขที่ 41 ถนนพหลโยธิน ตำบลแม่งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

* Wanvimon.pumpho@gmail.com, 0835564163

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องตีผงโปรตีนจากถั่วเสริมกากงาดำ โดยใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดงหลวง และถั่วขาว ศึกษาปริมาณโปรตีนถั่วกับกากงาดำในอัตราส่วน 80:20 70:30 60:40 และ 50:50 วิเคราะห์คุณภาพในด้านต่าง ๆ ประกอบด้วย ค่าสี ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ความหนาแน่น ดัชนีการดูดซับน้ำ และดัชนีการละลายน้ำ ผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มปริมาณกากงาดำในผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เครื่องตีผง กล่าวคือ การเพิ่มปริมาณกากงาดำส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (b^*) ค่าปริมาณความชื้น และค่า aw ของเครื่องตีผงมีแนวโน้มลดลง โดยผลิตภัณฑ์เครื่องตีผงมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนงาผงชงดื่ม มผช. 539/2558 พบว่าการเพิ่มปริมาณกากงาดำส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง ดัชนีการดูดซับน้ำของเครื่องตีผงมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากงาดำที่สูงขึ้น ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับเครื่องตีผงโปรตีนจากถั่วผสมกากงาดำในอัตราส่วน 70:30 มากที่สุด โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง

คำสำคัญ เครื่องตีผง ถั่ว กากงาดำ

Development of protein powder from beans with black sesame meal

Wanvimon Pumpho^{1*} Surassawadee Paliphot² Chalermkeat haneyoo³
Yanisa Jhanmee⁴ Fongfon Aron⁵

^{1,2,3,4,5} Agro-Industry Faculty of Agricultural Science and Technology
Rajamangala University of Technology Lanna Tak
41 Phahonyothin Road, Mai Ngam Subdistrict, Mueang District, Tak 63000

* Wanvimon.pumpho@gmail.com, 0835564163

Abstract

The objectives of this research were to develop a protein powder from beans with black sesame meal using soy beans, kidney beans, mung beans, and black beans, which are legumes that are rich sources of protein. The ratio of protein from beans to black sesame meal varied from 80:20, 70:30, 60:40, and 50:50 (w/w). The products were analyzed for various characteristics including color value, moisture content, water activity, bulk density, water absorption index, and water solubility index. It was found that increasing the ratio of black sesame meal contributed significantly to decreasing the brightness (L^*), redness (b^*), moisture content, and A_w of the sample. This beverage product met acceptable levels for the Thai Community Product Standard. It was also found that increasing the ratio of black sesame meal led to decreasing the bulk density of the sample. The water absorption index (WSI) of the sample decreased with higher black sesame meal content, while the water solubility index (WSI) was increased with a higher amount of black sesame meal. It was found that beverages made from beans mixed with black sesame meal at a ratio of 70:30 showed the highest sensory scores and the highest overall acceptance.

Keywords: beverage powder, bean, black sesame meal

1. บทนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มในรูปแบบผงสำเร็จรูปกำลังเป็นที่นิยมมีจำหน่ายมากในท้องตลาด โดยผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงเป็นการลดปริมาณความชื้นในอาหารลง ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะผง น้ำหนักเบา มีการละลายน้ำที่ดี มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 สามารถเก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้อง (วัฒนา ,2565) ประกอบกับในปัจจุบันรูปแบบการดำเนินชีวิตเปลี่ยนไปหลังจากการระบาดของCovid-19 ส่งผลให้ผู้บริโภคหันมาใส่ใจด้านสุขภาพมากขึ้น โพรตีนจากถั่วจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับคนที่ใส่ใจด้านสุขภาพ โดยถั่วจัดเป็นอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูงใกล้เคียงนมวัว มีปริมาณไขมันน้อยกว่าน้ำมันจากสัตว์ (มาฤดี และคณะ ,2556) โพรตีนจากถั่วจึงเหมาะสำหรับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ ถั่ว 5 สี ประกอบด้วย ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วขาว โดยถั่ว 5 สี คืออาหารบำรุงของอวัยวะหลักภายในร่างกายให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น ถั่วทั้ง 5 ชนิด มีคุณค่าทางโภชนาการในตัวเอง (ฐิตาภรณ์ ,2566)

กากงาดำ (Black sesame meal) เป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการแปรรูปเป็นอาหารสัตว์ แต่เนื่องด้วยกากงาดำยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการเหลืออยู่มาก เช่น โอมะก้า 3 โอมะก้า 6 โอมะก้า 9 แมกนีเซียม และแคลเซียม เป็นต้น (อรเพ็ญ, 2562) ทำให้สามารถนำกากงาดำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งในรูปแบบของสินค้าเพื่ออุปโภคและบริโภค หรือนำมาแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ และนำมาสกัดสารต้าน ออกซิเดชันที่มีในกากงาดำ เสริมสุขภาพของผู้บริโภคได้โดยตรงทำให้ช่วยลดระดับไขมัน โดยเฉพาะระดับโคเลสเตอรอลรวม และแอลดีแอลโคเลสเตอรอล อีกทั้งยังสามารถเพิ่มวิตามินอี ในเลือดได้ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของกากงาดำได้มากขึ้น (กาญจนา และคณะ, 2557)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเครื่องดื่มโปรตีนสูงจากถั่ว 5 สีเสริมกากงาดำ เพื่อเป็นแนวทางที่จะนำกากงาดำซึ่งเป็นขยะเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันมาใช้ในการแปรรูปอาหาร เพื่อส่งเสริมและพัฒนาผลผลิตตกเกรดและวัสดุเหลือจากกระบวนการแปรรูปเพิ่มความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากงาดำ อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ดึงดูดลูกค้ากลุ่มที่ห่วงใยสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม

2. เนื้อความ

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เมล็ดพืชตระกูลถั่ว

เมล็ดพืชตระกูลถั่วจัดเป็นพืชที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบสูง จัดเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญรองลงมาจากเนื้อสัตว์ และมีราคาถูกกว่าเนื้อสัตว์ เมล็ดพืช ตระกูลถั่ว

จึงจัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (Functional Food) ซึ่งให้ความหมายว่าอาหาร ที่มีผลต่อสุขภาพ ซึ่งหมายรวมถึงให้คุณค่าทางโภชนาการ เช่น ส่งเสริมสุขภาพ ลดความเสี่ยง หรือป้องกันการเกิดโรคด้วยสารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพในอาหาร และอาจมีผลต่อ การทำงานของร่างกายแบบจำเพาะเจาะจงที่อวัยวะใดอวัยวะหนึ่ง (ไพโรจน์ และคณะ, 2561)

ถั่วเหลือง (Soy bean) เป็นแหล่งของโปรตีนและไขมัน ในด้านคุณค่าทางโภชนาการเมล็ดถั่วเหลือง มีไขมันร้อยละ 13-25 โปรตีนร้อยละ 30-50 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 14-24 ไขมันในถั่วเหลือง 14-25 โดยไขมันในถั่วเหลืองเป็นไขมันที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกาย มีส่วนในการลดคอเลสเตอรอลในเลือด โปรตีนจากถั่วเหลืองเป็นโปรตีนจากพืช ที่มีคุณสมบัติเหมือนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ มีกรดอะมิโนที่สำคัญ 9 ชนิด (ปิยวรรณ, 2560)

ถั่วแดงหลวง (Red kidney bean) เป็นพืชตระกูลถั่วที่สามารถรับประทานได้ทั้งเมล็ด นิยมบริโภคอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถใช้เป็นแหล่งของสารอาหารโปรตีน วิตามินบีรวม และเกลือแร่ต่างๆ (Guzmán-Maldonado และ Paredes-López, 1998) นอกจากนี้ ยังเป็นแหล่งเส้นใยอาหารทั้งชนิดละลายน้ำและไม่ละลายน้ำซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ (Hughes, 1991)

ถั่วเขียว (Green Bean หรือ Mung Bean) จัดเป็นพืชที่มีศักยภาพในอนาคต เพราะมีปริมาณความต้องการใช้ภายในประเทศเพิ่มขึ้นทุกปี ถั่วเขียวให้พลังงานต่ำ มีเยื่อใยสูง มีสารให้คุณค่าทางโภชนาการ เช่น โปรตีน แร่ธาตุ วิตามินซี วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 สารกลุ่มฟีนอล และสาร GABA (Cevallos-Casals and Cisneros-Zevallos. L, 2010; Randhir and Shetty, 2005)

ถั่วดำ (Black bean) เป็นพืชตระกูลถั่วเช่นเดียวกับถั่วเขียว ถั่วขาว ถั่วแขก ถั่วลันเตา ถั่วแดง มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับถั่วเหลือง โดยมีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับถั่วเหลือง มีสารอาหาร แร่ธาตุ วิตามิน และมีสารต้านอนุมูลอิสระ คือ แอนโทไซยานิน โดยจากหลักฐานในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์พบว่า การบริโภคถั่วดำมีส่วนช่วยในการลดระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันโรคหัวใจ และต้านมะเร็งได้ (จินตนา, 2551)

ถั่วขาว (White kidney bean) เป็นพืชที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่มากมาย เช่น วิตามิน แร่ธาตุ สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส คือ ซีโอลามิน (Phaseolamin) จึงช่วยลดพลังงานที่ได้มาจากบริโภคคาร์โบไฮเดรตจากใยอาหารช่วยในเรื่องของระบบขับถ่าย และยังมีสารต่าง ๆ ที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อภาวะคอเลสเตอรอลสูงและโรคเบาหวาน (บุศรินทร์, 2559)

2.1.2 กากงาดำ

เมล็ดพืชตระกูลถั่วจัดเป็นพืชที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบสูง จัดเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญที่นอกเหนือจากเนื้อสัตว์และมีราคาถูกกว่าเนื้อสัตว์ เมล็ดพืชตระกูลถั่วจึงจัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (Functional Food) ซึ่งให้ความหมายว่า อาหารที่มีผลต่อสุขภาพ นอกเหนือจากให้คุณค่าทางโภชนาการ เช่น ส่งเสริมสุขภาพ ลดความเสี่ยงหรือป้องกันการเกิดโรคด้วยสารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพในอาหาร และอาจมีผลต่อการทำงานของร่างกายแบบจำเพาะเจาะจงที่อวัยวะใดอวัยวะหนึ่ง (เอกชัย, 2558)

2.1.3 เครื่องดื่มผง

ผลิตภัณฑ์ผงจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูง เนื่องจากมีปริมาณความชื้นต่ำ การผลิตเครื่องดื่มผงจะต้องผ่านกระบวนการทำแห้งหรือดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ (Warren *et al.*, 1993) การทำแห้งหรือทำให้เป็นผง จึงลดปริมาณความชื้นในอาหารลง ทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจะมีลักษณะผง มีการละลายน้ำที่ดี มีความชื้นต่ำประมาณร้อยละ 5 สามารถเก็บได้นานที่อุณหภูมิห้อง (ยุพารัตน์ และคณะ, 2564)

2.1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อภิรดา พรปัญญา (2565) ศึกษาการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวเหนียวลิ้มผิวและไหมข้าวโพดสีม่วง มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวเหนียวลิ้มผิวและไหมข้าวโพดสีม่วง โดยใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าอัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวลิ้มผิวต่อไหมข้าวโพดสีม่วงที่ 85:15 สารสกัดที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานิน 11.53 mg/L และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดร้อยละ 84.99 ในการศึกษาปริมาณของมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 5 15 และ 25 w/w พบว่า ความชื้นและค่า Water activity ของเครื่องดื่มมีค่าลดลงเมื่อใช้มอลโทเด็กซ์ทรินในปริมาณเพิ่มขึ้น เครื่องดื่มที่ใช้นมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 5 w/w มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด 8.27 mg/L และมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดร้อยละ 70.64

ชยาภะ เนโมโต (2564) การศึกษาครั้งนี้ต้องการนำกากงาดำมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าว โดยเป็นการนำวัตถุดิบหรือทั้งจากกระบวนการแปรรูปน้ำมันงามาไว้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่สำหรับผู้บริโภคที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความสะดวกสบายในการบริโภค การทดลองมีการศึกษาปริมาณ กากงาดำที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน และศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลการศึกษาพบว่าสูตรผงโรยข้าวจากกากงาดำที่ได้รับที่ได้รับการยอมรับของผู้บริโภคมีสัดส่วนสูตรดังนี้ คางกุ้งร้อยละ 19.4 กากงาดำร้อยละ 37.1 ซอสปรุงรสร้อยละ 47.2 ผักเคลร้อยละ 1.5 และสาหร่ายร้อยละ 1.3 ผลการศึกษาปริมาณกากงาดำที่เหมาะสม พบว่าการเพิ่มปริมาณ

ของกากงาดำมีผลต่อค่าสี (L", a", b") และปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณกากงาดำที่เหมาะสมคือร้อยละ 100 และองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีค่าปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน ไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดร้อยละ 2.62 15.47 24.89 17,026.25 และ 81.45 ตามลำดับ ค่าพลังงาน (Energy) เท่ากับ 312.61 กิโลแคลอรี/100 กรัม ค่าวอเตอร์แอกทีวิตีเท่ากับ 0.45 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 0.05-10 CFU/g คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ 7.70 ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวที่พัฒนาขึ้นมา

2.3 วิธีดำเนินการวิจัย

2.3.1 การเตรียมผงถั่ว

นำถั่วทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วดำ ถั่วขาว ถั่วแดง และถั่วเขียว อย่างละ 100 กรัม มาแช่ในน้ำสะอาดอัตราส่วน 1 : 1 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาคที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง บดด้วยเครื่องปั่นละเอียด ความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นร่อนด้วยตะแกรงร่อนแป้งความถี่ 60 เมช เก็บรักษาในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอไมด์ภายใต้สภาวะสุญญากาศ

2.3.2 การเตรียมกากงา

นำกากงาดำที่เหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันจากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มคนเกษตรบ้านปงยั้งม้า ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเสี้ยว จังหวัดเชียงใหม่ มาล้างทำความสะอาด นำมาแช่ที่น้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาคที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง บดด้วยเครื่องปั่นละเอียด ความเร็วสูงเป็นเวลา 30 วินาที ร่อนด้วยตะแกรงร่อนแป้งความถี่ 60 เมช เก็บรักษาในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอไมด์ภายใต้สภาวะสุญญากาศ

2.3.3 การศึกษาร้อยละของปริมาณกากงาดำในเครื่องตี๋มโปรตีนสูง ชนิดผงเสริมกากงาดำ ในการเตรียมเครื่องตี๋มโปรตีนสูงชนิดผงเสริมกากงาดำทำได้โดยนำผงถั่ว 5 ชนิดมาผสมกับกากงาดำ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเครื่องตี๋มโปรตีนสูงชนิดผงเสริมกากงาดำ

ส่วนผสม (g)	อัตราส่วนของผงถั่วต่อกากงาดำ			
	80:20	70:30	60:40	50:50
ผงถั่ว 5 สปี	80	70	60	50
กากงาดำ	20	30	40	50
น้ำตาล	20	20	20	20

2.3.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

- **ค่าสี (Color value)** โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab (HunterLab SV - MS01, USA) ซึ่งแสดงผลในรูปแบบค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*)
- **ความชื้น (Moisture content)** นำตัวอย่างผงจำนวน 3 กรัม ออบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักหลังอบคำนวณร้อยละความชื้นดังสมการ (1)

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100 \quad (1)$$

- **ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity)** ใช้เครื่องวัดค่า a_w ยี่ห้อ Novasina รุ่น LabSwift - a_w จะมีค่าอยู่ช่วง 0 – 1
- **ความหนาแน่นรวม (Bulk density)** แสดงค่าน้ำหนักต่อปริมาตรของผลิตภัณฑ์ผง คำนวณความหนาแน่นรวมดังสมการ (2)

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์}}{\text{ปริมาตรภาชนะ}} \times 100 \quad (2)$$

- **ดัชนีการดูดซับน้ำ (Water absorption index, WAI) และดัชนีการละลายน้ำ (Water solubility index, WSI)** เครื่องตีผสม 2.5 กรัม น้ำปริมาณ 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส กวนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปเทรียงแยกด้วยความเร็วรอบ 3000 rpm เป็นเวลา 30 นาที แยกส่วนที่ใสและเจลออกจากกัน คำนวณดัชนีการดูดซับน้ำดังสมการ (3)

$$\text{WAI} = \frac{\text{น้ำหนักเจล}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}} \quad (3)$$

นำส่วนใสไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณค่า WSI ดังสมการ (4)

$$WSI (\%) = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่ละลายในส่วนใส}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}} \times 100 \quad (4)$$

- **การยอมรับทางประสาทสัมผัส (Sensory test)** ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 - points hedonic scale) คะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด คะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด โดยเตรียมตัวอย่าง 15 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง ทดสอบลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ซึ่งให้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน (n=30)

2.3.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

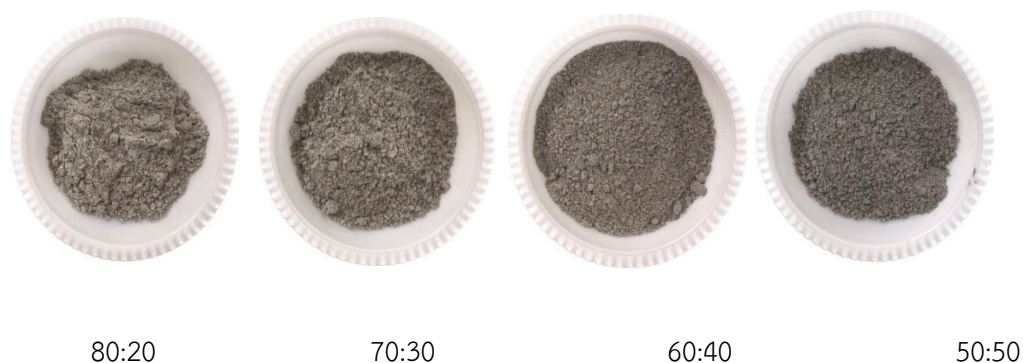
วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS version 16 โดยใช้แผน การทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomize design, CRD) และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสให้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomize complete block design, RCBD)

2.4 ผลการวิจัย

2.4.1 ผลของปริมาณกากงาดำต่อคุณภาพของเครื่องดื่มโปรตีนสูงชนิดผง

ผลการศึกษาคูณภาพของเครื่องดื่มโปรตีนสูงชนิดผงทั้ง 4 ตัวอย่าง ในด้านค่าสี ความชื้น ความหนาแน่นรวม ดัชนีการดูดซับน้ำ และดัชนีการละลายน้ำ แสดงในตารางที่ 2 โดยตัวอย่างเครื่องดื่มผงตากอัตราส่วนของถั่ว 5 สีต่อกากงาดำทั้ง 4 ตัวอย่าง คือ 80:20 70:30 60:40 และ 50:50 ตามลำดับ โดยค่าสี ความชื้น ความหนาแน่นรวม ดัชนีการดูดซับน้ำ และดัชนีการละลายน้ำของทั้ง 4 ตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ค่า L^* ค่าความชื้น ค่าความหนาแน่นรวม และดัชนีการดูดซับน้ำ ของเครื่องดื่มผงทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่าลดลงตามอัตราส่วนของการใช้กากงาดำเพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้อัตราส่วนของกากงาดำมากขึ้น

ทำให้เครื่องต้มผงมีความสว่างลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับลักษณะปรากฏภายนอกของเครื่องต้มผงคือมีสีเข้ม (รูปที่ 1) ในขณะที่ค่า a^* b^* และดัชนีการละลายน้ำของตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คือมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของกากงาดำมากขึ้น



รูปที่ 1 อัตราส่วนของผงถั่วต่อกากงาดำที่ระดับแตกต่างกัน 4 ระดับ

ตารางที่ 2 ผลของปริมาณกากงาดำต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของเครื่องต้มโปรตีนสูงชนิดผง

Physical properties	Ratio of 5 beans : sesame meal			
	80:20	70:30	60:40	50:50
Color value				
L^*	49.68±3.53 ^a	43.59±3.41 ^b	33.39 ±2.94 ^c	23.66±2.21 ^d
a^*	1.67±1.19 ^b	1.69±0.20 ^b	1.73±1.19 ^b	2.06±0.03 ^a
b^*	9.14±0.36 ^a	8.48±0.22 ^b	8.41±0.85 ^b	7.95±0.36 ^b
Moisture content	4.00±0.13 ^a	3.81±0.36 ^a	3.07±0.02 ^b	2.50±0.60 ^b
Water activity (a_w)	0.49±0.00 ^a	0.49±0.00 ^a	0.47±0.00 ^a	0.41±0.02 ^b
Bulk density	0.81±0.15 ^a	0.80±0.28 ^a	0.73±0.10 ^b	0.72±0.00 ^b
WAI	5.86±0.36 ^a	3.14±0.06 ^b	2.79±0.09 ^{bc}	2.58±0.23 ^c
WSI	36.76±0.06 ^d	38.98±0.68 ^c	46.42±0.85 ^b	48.69±0.70 ^a

หมายเหตุ : ^{a-d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าสี (Color value)

ค่า L^* คือค่าที่บอกค่าความสว่างของสีซึ่งมีค่า 0-100 โดยค่า 0 แสดงถึงสีดำ และ 100 แสดงถึงสีขาว โดยเมื่อค่า L^* มีค่ามาก แสดงว่าสีของตัวอย่างที่วัดมีความสว่างมาก ทั้งนี้เมื่ออัตราส่วนของกากงาดำเพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงมีค่าความสว่างลดลง อยู่ในช่วง 49.68-23.66 ค่า a^* แสดงถึงค่าสีแดง - เขียว โดยถ้าค่ามากหรือมีค่าเป็นบวกจะแสดงความเป็นสีแดงมาก แต่ถ้ามีค่าน้อยหรือมีค่าติดลบจะแสดงความเป็นสีเขียวมาก เมื่อพิจารณาว่า a^* ของทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่าอัตราส่วนของกากงาดำที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่า a^* มากขึ้น จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความเป็นสีแดงมากขึ้น ค่า b^* แสดงถึงค่าสีเหลือง-สีน้ำเงิน โดยถ้าค่ามากหรือมีค่าเป็นบวกจะแสดงความเป็นสีเหลืองมาก แต่ถ้าค่าน้อยหรือมีค่าติดลบจะแสดงความเป็นสีน้ำเงินมาก โดยค่า b^* ของทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของกากงาดำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงทางด้านสีของทั้ง 4 ตัวอย่าง เป็นผลมาจากการใช้กากงาดำในผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีสีม่วงเข้มจนถึงดำ โดยตรงควัตถุที่ให้สีดังกล่าวเป็นสารกลุ่มแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งสะสมอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดขมิ้นขาว เยื่อหุ้มเมล็ดขมิ้นนอกจนถึงเยื่อหุ้มเมล็ดขมิ้นใน (Bai *et al.*, 2019)

ค่าปริมาณความชื้น (Moisture content) และปริมาณน้ำอิสระ (Water activity)

ค่าปริมาณความชื้น และค่า a_w เป็นดัชนีที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารโดยเครื่องดื่มผงทั้ง 4 ตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยค่าปริมาณความชื้นที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 2.50 - 4.00 สอดคล้องกับประกาศเครื่องดื่มผงสำเร็จรูปต้องมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 15 ของน้ำหนัก จากผลการวิจัยจะเห็นว่าค่าปริมาณความชื้นของเครื่องดื่มผงมีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้กากงาดำในปริมาณที่สูงขึ้น เนื่องจากการใช้กากงาดำในปริมาณมากขึ้นจะทำให้ของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำเริ่มต้นลดลง จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีค่าปริมาณความชื้นลดลง โดยเครื่องดื่มผงทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่าปริมาณความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานเครื่องดื่มผง คือมีความชื้นต่ำประมาณร้อยละ 5 ค่า a_w ของเครื่องดื่มผงทั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่า a_w เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผงขมิ้น มผช. 539/2558 คือต้องไม่เกิน 0.60 โดยเครื่องดื่มผงทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.41 - 0.49 ค่า a_w ของทั้ง 4 ตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการใช้กากงาดำที่มากขึ้น โดยค่า a_w สัมพันธ์กับความชื้น โดยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกากงาดำ เป็นการเพิ่มปริมาณของแข็ง ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ต้องระเหยออกน้อยลง ส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง (Zhou and Wang, 2012)

ความหนาแน่นรวม

ค่าความหนาแน่นของเครื่องตีผงทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่าในช่วง 0.72-0.81 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามปริมาณกากงาดำที่สูงขึ้นในผลิตภัณฑ์ เป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณถั่ว 5 สีในผลิตภัณฑ์ โดยความหนาแน่นของตัวอย่างที่มีปริมาณถั่ว 5 ชนิดสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น เป็นผลจากปริมาณของแข็งและความหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น อนุภาคผงของโปรตีนถั่ว มีรูพรุนมากและมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น (Sarochawitkasit *et al.*, 2007) ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

ดัชนีการดูดซับน้ำและดัชนีการละลายน้ำ

ค่าดัชนีการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ผงทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 2.58-5.86 ซึ่งมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามปริมาณกากงาดำที่สูงขึ้น เป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีของกากงาดำ ประกอบไปด้วยเยื่อใยประเภทไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) ร้อยละ 5-12 (Mamputu, 1995) จึงส่งผลให้ค่าการดูดน้ำของผลิตภัณฑ์ลดลง ขณะที่ตัวอย่างเครื่องตีผงที่มีปริมาณโปรตีนถั่ว 5 ชนิดมาก ส่งผลให้ดัชนีการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากโปรตีนจากถั่วทั้ง 5 ชนิดมีรูพรุนมาก ประกอบกับถั่วจัดเป็นอาหารประเภทโปรตีนที่มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ สามารถเกิดอันตรกิริยาระหว่างน้ำกับโปรตีน (water-protein interaction) โดยโปรตีนถั่วสามารถละลายน้ำได้ แต่จะจับกับน้ำเมื่อโครงสร้างโปรตีนเกิดการเสียสภาพด้วยความร้อน (De wit, 1989) จึงเป็นผลเครื่องตีผงที่มีการใช้ปริมาณถั่ว 5 ชนิดเพิ่มมากขึ้น ค่าดัชนีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) ของผลิตภัณฑ์ผงทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 36.76-48.69 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามปริมาณกากงาดำที่สูงขึ้น

2.4.3 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเครื่องตีโปรตีนสูงชนิดผงผสมกากงาดำ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องตีโปรตีนสูงชนิดผงผสมกากงาดำ โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ได้คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติและความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่าเครื่องตีผงที่อัตราส่วนโปรตีนถั่วและกากงาดำ 80:20 70:30 และ 60:40 มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏและด้านสีไม่แตกต่างกัน โดยเครื่องตีโปรตีนสูงชนิดผงผสมกากงาดำที่อัตราส่วน

ของถั่วต่อกากงาดำ 70:30 ผู้ทดสอบชิมมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้านรสชาติและความชอบโดยรวมสูงสุดคือ 7.03 และ 7.23 ตามลำดับ โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบปานกลาง

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาการยอมรับของเครื่องตี๋มโปรตีนสูงชนิดผงผสมกากงาดำโดยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัส

Sensory properties	Ratio of 5 beans : sesame meal			
	80:20	70:30	60:40	50:50
Appearance	6.70±3.53 ^{ab}	7.17 ±2.94 ^a	6.77±3.41 ^{ab}	6.33±2.21 ^b
Color	6.50±1.19 ^a	7.13±1.19 ^a	6.43±0.20 ^a	6.13±0.03 ^b
Flavor	6.37±0.36 ^b	7.43±0.22 ^a	6.33±0.85 ^b	6.97±0.36 ^b
Taste	6.73±0.13 ^b	7.57±0.02 ^a	7.03±0.36 ^{ab}	6.67±0.60 ^b
Overall	6.73±0.15 ^{ab}	7.80±0.10 ^a	7.23±0.28 ^b	6.60±0.00 ^c

หมายเหตุ : ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ค่าเฉลี่ย ±SD (n = 30)

3. บทสรุป

ผลการศึกษาการใช้ปริมาณกากงาดำต่อคุณภาพของเครื่องตี๋มโปรตีนสูงชนิดผง พบว่าการใช้อัตราส่วนของกากงาดำในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพ กล่าวคือ การเพิ่มปริมาณกากงาดำส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีแดง (b*) ของเครื่องตี๋มผงมีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง (a*) ของเครื่องตี๋มผงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการใช้กากงาดำที่เพิ่มขึ้น ในด้านปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของเครื่องตี๋มผง พบว่ามีปริมาณความชื้น 2.50-4.00 และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.41-0.49 โดยมีค่าปริมาณความชื้นและมีค่า a_w เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนงาผงชงตี๋ม มพช. 539/255 คือมีความชื้นต่ำประมาณร้อยละ 5 ความหนาแน่นรวมของเครื่องตี๋มผง พบว่าการเพิ่มปริมาณการใช้กากงาดำ ส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง ค่าดัชนีการดูดซับน้ำของเครื่องตี๋มผงมีค่าอยู่ในช่วง 2.58-5.86 ซึ่งมีค่าลดลงตามปริมาณกากงาดำที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) ค่าอยู่ในช่วง 36.76-48.69 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากงาดำที่สูงขึ้น ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าการใช้อัตราส่วนระหว่างโปรตีนถั่ว 5 ชนิดและกากงาดำ 70:30 ให้ผลการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมมากที่สุด

4. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิจัยจากกลุ่มแผนงานใต้ร่มพระบารมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา สนับสนุนงบวิจัยโครงการวิจัยและพัฒนาภายใต้แผนงานใต้ร่มพระบารมี ประจำปีงบประมาณ 2566

5. เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา บัณสิทธิ์ และธีรพล บัณสิทธิ์. (2557). กากงาดำ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- จิตธนา แจ่มเมฆ, สายสนม ประดิษฐ์ดวง และทอง ภัทร์พันธ์. 2546. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน คณะอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ. 528 หน้า
- จินตนา ชูศรี. 2551. การพัฒนาเตาหุงแห้งเสริมงาดำ. การศึกษาคนควาด้วยตนเอง ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.
- บุศรินทร์ จงเจริญยานนท์. 2559. คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของถั่วขาวและการประยุกต์ แป้งถั่วขาวในผลิตภัณฑ์ขนมอบ. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. ปีที่ 11 (ฉบับที่1): 1-12.
- ปานจิต ป้อมอาสา, เบญจมาศ สุขประเสริฐ, นัฐวงศ์ เฟื่องไพบูลย์, จักรสุมา พงศ์เศรษฐ์กุล และ สิริมา เถกิงวงศ์ตระกูล. 2563. การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผาผสมเปลือกถั่วเขียว. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 25 (ฉบับที่3): 1094-1104.
- สุนทร ตรีนันทวัน. 2557. ถั่วแดงหลวงราชาแห่งเส้นใยอาหาร. งานเทคโนโลยีทางการศึกษา ฝ่ายนวัตกรรมและเทคโนโลยีการเรียนรู้ สสวท. www.edtech.ipst.ac.th.
- อรเพ็ญ หนูสุวรรณ. 2562. คุณค่าของกากงาดำ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งประเทศไทย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วัฒนา วิริวุฒิก. 2564. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงพ้อมขงจากแครอต ส้ม และมะนาว โดยการอบแห้งแบบโพรแมท. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, กรุณา วงษ์กระจ่าง, นิสากร มีจั่น, สยมพร ใจดี และสุวิสาส์ กาญจนพิมล. 2556. การผลิตเครื่องดื่มผงจากถั่วเหลืองและงาดำที่ผ่านการเพาะงอก.
- ปิยวรรณ เตชะศิริกุล. 2560. การพัฒนาเครื่องดื่มน้ำข้าวกล้องหอมมะลิอกเสริมถั่วเหลือง. สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ วิทยาลัยอาชีวชนครปฐม.

- ฐิตาภรณ์ แพพ่วง และแอนนา จุ่มพลเสถียร. 2566. การเปิดรับสื่อ ความรู้ ทักษะคิด และพฤติกรรม การบริโภค อาหารจากพืช(Plant-based Food). สาขาวิชาการจัดการการสื่อสาร ออกร์กร คณะวารสารศาสตร์และสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ยุพารัตน์ โปธิเศษ และคมศักดิ์ พินธะ. 2563. สภาวะการสกัดที่เหมาะสมและการทำแห้ง สารสกัดเมล็ดลิ้นจี่. สาขาความปลอดภัยทางอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา, สาขาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา.
- ไพโรจน์ วงศ์พุทธิสิน และนารินทร์ หล้าสม. 2561. คุณสมบัติฟิโบริโอติกเบื้องต้นของน้ำตาลสกัด จากเมล็ดถั่วเขียวด้วยสารละลายเอทานอล. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- Warren *et al.*, 1993. "Black sesame pigment extract from sesame dregs by subcritical CO₂: Extraction optimization, composition analysis, binding copper and antioxidant protection." *Lwt* 100: 28-34.
- Cevallos-Casals, B.A. and L. CisnerosZevallos.2010. Impact of germination on phenolic content and antioxidant activity of 13 edible seed species. *Food Chem.* 119 .1485 - 1490.
- Hughes, J.S. 1991. Potential contribution of dry bean dietary fiber to health. *Food Technol.* 45(9): 122.
- Guzmán-Maldonado, S.H. and O. Paredes-López. 1998. Functional products of plants indigenous to Latin America: amaranth, quinoa, common beans, and botanicals, pp. 308-312. In G. Mazza (ed.). *Functional Foods Biochemical and Processing Aspects*. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster, Pennsylvania.
- Mamputu, M.; Buhr, R. J.1995. Effect of Substituting Sesame Meal for Soybean Meal on Layer and Broiler Performance. *Poult. Sci.*, 74 (4): 672-684
- Suravanichnirachorn, W.Haruthaithanasan, V.Suwonsichon, S.Sukatta, U. Maneeboon, T.& Chantrapornchai, W. 2018. Effect of carrier type and concentration on the properties, anthocyanins and antioxidant activity of freeze-dried mao [*Antidesma bunius* (L.) Spreng powders. *Agriculture and Natural Resources*, 52(4), 354-360.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่วิตามินซีสูงและน้ำตาลต่ำจากเคพกูสเบอร์รี่

อัจฉรา ดลวิทยาคุณ* ชนิกา ทองเตจา, ชุสิทธิ์ คำดี และปนิดา เวชสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

41/1 ตำบลแม่งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

*E-mail: achara2518@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่วิตามินซีสูงที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยใช้น้ำผลไม้จากผลเคพกูสเบอร์รี่สุก และใช้มอลทิทอลเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลซูโครสในอัตราส่วนต่างๆ ผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณของสารให้ความหวานเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง ค่าสีเหลือง และค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำอิสระ ค่าการแผ่ ค่าความแข็งและค่าการบดเคี้ยวลดลง ($p \leq 0.05$) การประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่าการใช้มอลทิทอลทดแทนซูโครสร้อยละ 100 ได้รับคะแนนความชอบรวมอยู่ในเกณฑ์ชอบมาก (7.86 ± 1.03) ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมีโปรตีน 10.5 กรัม คาร์โบไฮเดรต 75.2 กรัม พลังงาน 343 กิโลแคลอรี และวิตามินซี 50.87 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม โดยคุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (30 กรัม) มีปริมาณวิตามินซีคิดเป็น 15.3 มิลลิกรัมหรือร้อยละ 25 ของ Thai RDI และมีน้ำตาล 1 กรัม ซึ่งมีปริมาณวิตามินซีอยู่มากกว่าร้อยละ 20 ของ Thai RDI และลดน้ำตาลลงตั้งแต่ร้อยละ 25 ทำให้สามารถกล่าวอ้างได้ว่าเป็นกัมมี่เยลลี่จากเคพกูสเบอร์รี่มีวิตามินซีสูงและน้ำตาลลดลงได้ ตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) จึงสามารถพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพได้ในอนาคต

คำสำคัญ: เคพกูสเบอร์รี่ กัมมี่เยลลี่ วิตามินซี มอลทิทอล

Development of High-Vitamin C and Low Sugar Gummy Jelly Produced from Cape Gooseberry

Achara Dholvitayakhun,* Chanika Thongtecha,
Chureeporn Khambee and Panida Wetchasit

Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Tak,
41/4 Mai-Ngam, Muang, Tak, 63000, Thailand.

*Corresponding author: achara2518@yahoo.co.th

Abstract

This research aimed to develop a healthy, high-vitamin C gummy jelly product by using juice from ripe Cape gooseberries and replacing sucrose with various ratios of maltitol. The results showed that the addition of sweetener tended to increase the lightness (L*), yellowness (b*) values, and springiness of the product. At the same time, the water activity, spread ratio, hardness, and chewiness decreased ($p \leq 0.05$). Hedonic scores showed that the overall liking of 100% maltitol to replace sucrose was a like score (7.86 ± 1.03). The developed product had protein 24.38 g, carbohydrate 48.37 g, energy 343 kilocalories, and vitamin C 50.87 mg/100g. The nutrition values per one serving (20 grams) had the highest-vitamin C content of 15.3 mg/g or 25% of the Thai RDI and 1 g of sugar, which contains more than 20% of the Thai RDI for vitamin C and reduces sugar by 25%. Therefore, it is possible to claim it is a high-vitamin C and reduced sugar gummy jelly product from Cape Gooseberry. According to the criteria announced by the Ministry of Public Health of Thailand (issue 182), this product can be developed into a healthy food in the future.

Keywords: Cape Gooseberry, Gummy Jelly, Vitamin C, maltitol

1. บทนำ

กัมมี่เยลลี่เป็นผลิตภัณฑ์ลูกอมกลุ่มใหญ่ประเภทหนึ่ง อยู่ในประเภทลูกอมแบบเคี้ยว (Chewy Confections) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2559) ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการแข่งขันทางการตลาดสูง และมีอัตราการขยายตัวมาก โดยได้รับความนิยมในกลุ่มของเด็กจนถึงวัยรุ่น เนื่องจากมีรูปร่างสีสันที่สวยงาม มีความใส เนื้อสัมผัสเนียนเหนียวหนึบ สามารถรับประทานในเวลาว่าง (น้อมจิต และ ศุภชัย, 2563) กัมมี่เยลลี่ในท้องตลาดส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารละลายน้ำตาลเข้มข้น (Jiamjariyatam, 2018) สารก่อให้เกิดเจล สารปรุงแต่งด้วยสี สารแต่งกลิ่นรสสังเคราะห์ โดยมีองค์ประกอบของน้ำตาลสูงกว่าร้อยละ 50 ของกัมมี่เยลลี่ และให้พลังงาน 434 กิโลแคลอรี/100 กรัม (Ervin & Ervin, 2011) ซึ่งปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญต่อคุณค่าทางโภชนาการ และความปลอดภัยของอาหาร ทำให้ผู้ประกอบการต่าง ๆ มีความพยายามในการพัฒนาแปรรูปกัมมี่เยลลี่เพื่อสุขภาพมากขึ้น ด้วยการนำวัตถุดิบธรรมชาติในรูปผลไม้สดมาใช้ในการแต่งเติมสี และรสของผลิตภัณฑ์ แทนการใช้สีและสารให้กลิ่นสังเคราะห์ เช่น กัมมี่เยลลี่จากมะขาม (วิลาสินี, 2551) เยลลี่จากัญชูปืชเพื่อสุขภาพ (กฤษณา และ นัทธมน, 2559) กัมมี่เยลลี่จากแก้วมังกรสีแดง (ปิติพร และ ปิยฉัตร, 2555) โดยผลไม้ส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ในการทำกัมมี่เยลลี่ควรเป็นผลไม้รสเปรี้ยว เช่น มะขาม, มะนาว ตลอดจนผลไม้ทางเศรษฐกิจที่นิยมส่งเสริมให้ปลูก ปัจจุบันเริ่มมีการนำพืชผลไม้เมืองหนาวที่รสเปรี้ยว วิตามินซีสูงและมีการส่งเสริมให้ปลูกในทุกศูนย์พัฒนาโครงการหลวง เช่น เควทกุสเบอร์รี่ ซึ่งผลไม้ดังกล่าวจะจำหน่ายในรูปผลไม้สดและยังมีข้อจำกัดในเรื่องอายุการเก็บรักษาอยู่ที่ประมาณ 7-14 วัน (จันทร์รัตน์ และ เมลानी, 2562) ปัจจุบันมีการนำมาแปรรูปเป็นแยม (จุฑามาศ, ปิยาภรณ์, และ ณัฐวุฒิ, 2558) ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงได้นำผลไม้ดังกล่าวมาแปรรูปเป็นกัมมี่เยลลี่เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา พร้อมทั้งเสริมคุณค่าทางโภชนาการในรูปของวิตามินซี และเพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่มีน้ำตาลต่ำ จึงมีการใช้มอลทิทอลเป็นสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลซูโครส ซึ่งมีการใช้ในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น กัมมี่เยลลี่ด้าพลังงานต่ำด้วยซูคาโลส (กมลทิพย์, 2561) เยลลี่แคลอรีต่ำจากไซเดอร์มะเขือเทศ (ภคารัชช, 2562) กัมมี่เยลลี่พลังงานต่ำจากเส้นใยข้าวสาลี (Gok, Toker, Palabiyik, & Konar, 2020) และเสริมสารอาหารในรูปอื่นๆ เช่น กัมมี่เยลลี่วิตามินซีสูงจากฝรั่ง (ปิติพร และ ปิยฉัตร, 2555) กัมมี่เยลลี่รสมะนาววิตามินซีสูง (ศิมาภรณ์, 2546) เพื่อเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ที่มีวิตามินซีสูงน้ำตาลต่ำเพื่อสุขภาพ ให้แก่ผู้บริโภคที่รักสุขภาพ และยังเป็นการส่งเสริมให้เกิดการขยายตลาดของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงตลอดจนส่งเสริมการแปรรูปผลไม้เศรษฐกิจของประเทศอีกทางหนึ่งด้วย

2. แนวคิดการวิจัยและพัฒนา

จากการติดตามงานหลังเสร็จสิ้น โครงการยกระดับกระบวนการแปรรูปเสาวรส เพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตในปี 2565 ร่วมกับศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ ผู้นำชุมชน ตัวแทนกลุ่มเกษตรกร และตัวแทนมูลนิธิโครงการหลวง พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ทางศูนย์โครงการหลวงอยากให้มีการต่อยอด คือ กัมมีเยลลี่จากวัตถุดิบชนิดอื่น เช่น เคพกูดเบอร์รี่ และสตรอเบอร์รี่ และเพิ่มอายุการเก็บรักษา ตลอดจนสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปกล่าวอ้างทางด้านโภชนาการว่าวิตามินสูงกว่าผลิตภัณฑ์ทั่วไปในท้องตลาด งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์ กัมมีเยลลี่วิตามินซีสูงน้ำตาลต่ำจากเคพกูดเบอร์รี่ ซึ่งเป็นผลผลิตจากศูนย์โครงการหลวงเลอตอ และให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำอิสระให้ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 0.65 เพื่อลดการเสื่อมเสียของเชื้อจุลินทรีย์ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น ตลอดจนวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีเทียบตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ.2541 เรื่อง ฉลากโภชนาการ (กระทรวงสาธารณสุข, 2541) เพื่อให้สามารถนำผลที่ได้ไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ต่อไป

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมสูตรพื้นฐานของกัมมีเยลลี่

ใช้สูตรพื้นฐานกัมมีเยลลี่โดยดัดแปลงจาก กมลทิพย์ (2561) กรรมวิธีการผลิตเริ่มจาก นำเจลาติน (250 bloom) ร้อยละ 10.30 ผสมกับน้ำเปล่าร้อยละ 7.22 และน้ำเคพกูดเบอร์รี่ ร้อยละ 4.33 เข้าไมโครเวฟ (ยี่ห้อ TOSHIBA รุ่น MWP-MM20P 700 วัตต์) นาน 2 นาที จนเจลาตินมีลักษณะใส นำส่วนผสมของน้ำตาลซูโครสร้อยละ 36.08 กลูโคสไซรัป (DE 40) ร้อยละ 28.80 และน้ำเคพกูดเบอร์รี่ร้อยละ 4.33 เทใส่กระทะเทพลอนนำขึ้นตั้งไฟอ่อน ทิ้งไว้จนน้ำตาลและกลูโคสไซรัปละลายมีลักษณะใส ค่อยๆคนให้เข้ากัน จนอุณหภูมิถึง 120 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมเจลาตินที่เตรียมไว้และน้ำเคพกูดเบอร์รี่ร้อยละ 7.23 คนให้เข้ากันและปิดไฟ ทิ้งให้อุณหภูมิตกลงถึง 70 องศาเซลเซียส เติมกรดซิตริกร้อยละ 1.7 และกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.01 คนให้ละลาย นำไปหยอดลงในพิมพ์ซิลิโคนที่ใช้แบ่งข้าวโพดคั่ว (ยี่ห้อซูเปอร์ไฟน์) โรยเพื่อไม่ให้ติดพิมพ์และแกะออกจากพิมพ์ง่าย นำกัมมีเยลลี่ที่ได้แช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 7 ± 3 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นแกะกัมมีเยลลี่ออกจากพิมพ์นำไปคลุกน้ำตาลทรายแล้วเก็บในถุงพอลิเอทิลีนพร้อมซีปล็อค Polyethylene (PE) เก็บที่อุณหภูมิห้อง 28 ± 5 องศาเซลเซียส

3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเคพกูสเบอร์รี่

เริ่มจากนำเคพกูสเบอร์รี่ผลสุก (ผลกลมมีสีเหลือง เนื้อนุ่ม และกลีบเลี้ยงเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าว) ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ มาล้างทำความสะอาด แคะเปลือกเลี้ยงออก นำเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อของเคพกูสเบอร์รี่ ไปสกัดโดยใช้เครื่องคั้นกรองแยกกาก หลังจากนั้นบรรจุน้ำผลไม้ที่สกัดได้ใส่ลงในถุงพอลิเอทิลีน Polyethylene (PE) นำแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -8 ± 3 องศาเซลเซียส และคำนวณหาสัดส่วนที่รับประทานได้ของเคพกูสเบอร์รี่ นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ในด้านต่างๆ ดังนี้

วัดค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid content) นำเคพกูสเบอร์รี่ที่มีอุณหภูมิห้อง 28 ± 5 องศาเซลเซียส วัดโดยใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Hand refractometer) ยี่ห้อ ATAGO, ประเทศญี่ปุ่น

วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) นำเคพกูสเบอร์รี่ ที่มีอุณหภูมิห้อง 28 ± 5 องศาเซลเซียส วัดโดยใช้เครื่อง pH meter (ยี่ห้อ AZ INSTRUMENT รุ่น 8685, ไต้หวัน) และบันทึกผลเพื่อใช้ในการทดลองในขั้นต่อไป

3.3 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของมอลทิทอลทดแทนน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ อัตราส่วนที่เหมาะสมของมอลทิทอล (บริษัทกรุงเทพเคมี จำกัด, ประเทศไทย) มาทดแทนน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคพกูสเบอร์รี่ 4 ระดับ คือ ร้อยละ 25, 50, 75, และ 100 ของน้ำหนักน้ำตาลที่ใช้ในการทดลอง และจะต้องมีการเติมซูคราโลส (บริษัทเวชกิจเคมีภัณฑ์, ประเทศไทย) ซึ่งเป็นสารให้ความขมขื่น (Intense sweetener) ในปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรับให้ได้ความหวานเท่ากับความหวานซูโครสเริ่มต้นของสูตรพื้นฐาน โดยจะได้ผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ เคพกูสเบอร์รี่ 4 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 1 นำมาวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่าง ๆ ดังนี้

วิเคราะห์ค่าสี วัดในระบบ CIE ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) โดยใช้เครื่องวัดค่าสี (Henter Lab รุ่น MiniScan EZ 45 LAV, สหรัฐอเมริกา) ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

วัดค่าเนื้อสัมผัส เตรียมตัวอย่างเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร มาวัดค่าเนื้อสัมผัสได้แก่ ค่า Hardness, Springiness และ Chewiness ด้วยเครื่อง Texture analyzer ยี่ห้อ LLOYD รุ่น TA 500, สหรัฐอเมริกา โดยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) กำหนดความเร็วในการวัด (Test speed) 20 มิลลิเมตร/นาที กำหนดระยะทางในการกด (Deformation) 60 เปอร์เซ็นต์ ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

วัดปริมาณน้ำอิสระ Water activity (a_w) โดยใช้เครื่องวัดค่า Water activity (ยี่ห้อ Novasina รุ่น LabSwift- a_w , สวิตเซอร์แลนด์) ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solid content) โดยนำผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ก่อนหยอดผลิตภัณฑ์ลงแม่พิมพ์ วัดโดยใช้เครื่องวัด (Refractometer 58-92 Brix)

วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) นำผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ที่ควบคุมอุณหภูมิของในช่วง 40±2 องศาเซลเซียส มาวัดโดยใช้ เครื่อง pH meter และบันทึกผลเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

วัดคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคพกูสเบอร์รี่ เพื่อคัดเลือกหาสูตรที่ดีที่สุดของกัมมีเยลลี่เคพกูสเบอร์รี่ โดยนำเสนอตัวอย่างผลิตภัณฑ์แบบพร้อมกันหมด ด้วยวิธี 9 – point hedonic scale test (1=ไม่ชอบมากที่สุด และ 9=ชอบมากที่สุด) ประเมินผลในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) ประเมินโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 35 คน นำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละตัวอย่างด้วยวิธี Duncan’s New Multiple Test t ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คัดเลือกตัวอย่างที่มีคะแนนความชอบรวมสูงสุดไปใช้ในข้อต่อไป

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของมอลทิทอลในผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคพกูสเบอร์รี่

ส่วนผสม	สูตรควบคุม (ร้อยละ)	มอลทิทอล ร้อยละ 25	มอลทิทอล ร้อยละ 50	มอลทิทอล ร้อยละ 75	มอลทิทอล ร้อยละ 100
น้ำเคพกูสเบอร์รี่	15.89	15.89	15.89	15.94	15.89
กลูโคสไซรัป	28.80	28.8	28.9	29	28.9
เจลาติน	10.30	10.3	10.12	10.14	10.11
น้ำเปล่า	7.22	7.22	7.23	7.25	7.22
แอสคอร์บิก	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
กรดซิตริก	1.70	1.73	1.73	1.73	1.73
น้ำตาลซูโครส	36.08	26.96	18.06	9.08	-
ซูคราโลส	-	0.001	0.003	0.005	0.006
มอลทิทอล	-	9.08	18.06	26.88	36.12

หมายเหตุ: สารให้ความหวานที่ใช้คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักน้ำตาลเริ่มต้น มอลทิทอล 100 กรัม หวานเท่ากับน้ำตาลซูโครส 90 กรัม ซูคราโลส หวานกว่าน้ำตาลซูโครส 600 เท่า

3.4 วิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

นำผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ มาวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count) ปริมาณยีสต์และราด้วยวิธี Yeast and Mold count (AOAC., 2019) โดยมีเงื่อนไข ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 100 CFU ต่อตัวอย่าง 1 กรัม และปริมาณ *E. coli* น้อยกว่า 3 MPN ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3.5 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ พลังงาน ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต น้ำตาล วิตามินซี ความชื้น และเถ้า (AOAC., 2019) นำข้อมูลที่ได้มาจัดทำเป็นฉลากโภชนาการอย่างย่อ และนำไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ของตัวอย่างทางการค้าที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเคพกูสเบอร์รี่

จากผลการศึกษาองค์ประกอบของเคพกูสเบอร์รี่ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง พบว่า เคพกูสเบอร์รี่ ประกอบด้วยส่วนของน้ำเคพกูสเบอร์รี่คิดเป็นร้อยละ 55.45 รองลงมาคือ ส่วนของเมล็ดและเนื้อร้อยละ 39.9 และส่วนของเปลือกร้อยละ 4.65 โดยเคพกูสเบอร์รี่ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 18.33 องศาบริกซ์ และมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) 3.40

4.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของมอลทิทอลทดแทนน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่

จากผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของมอลทิทอลในผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ 4 ระดับ คือ ร้อยละ 25, 50, 75, และ 100 ของน้ำหนักน้ำตาลซูโครสที่ใช้ในการทดลอง มาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังนี้

ผลการวิเคราะห์ค่าสี พบว่า เมื่อปริมาณมอลทิทอลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ เคพกูสเบอร์รี่ มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) ไม่พบความแตกต่างเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ($p > 0.05$) เนื่องจากมอลทิทอลจัดเป็นน้ำตาล นอนรีดิวิซ์ คือ ไม่มีหมู่รีดิวิซ์และไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (สุขใจ, 2555) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ที่ใช้มอลทิทอลทดแทนน้ำตาลซูโครสจึงมีค่าความสว่างเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของอิธาร์ตันและเสาวนีย์ (2561) ที่พบว่า เมื่ออัตราส่วนของมอลทิทอลเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความสว่างในแยมเสาวรส พลังงานต่ำเพิ่มขึ้น โดยผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ทั้งหมด 4 สูตร มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 41.92 ถึง 45.36 ค่าสีแดง (a^*) อยู่ในช่วง 5.54 ถึง 5.62 ค่าสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง 25.79 ถึง 28.18 ดังแสดงในตารางที่ 2

ผลการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส พบว่า เมื่อปริมาณของมอลทิทอลเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าการบดเคี้ยว (Chewiness) ลดลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) แต่ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากน้ำตาลซูโครสทำหน้าที่สร้างพันธะไฮโดรเจนภายในเจลเกิดเป็นโครงสร้างสามมิติ ทำให้โครงสร้างเจลแข็งแรง (นงลักษณ์, 2557) ดังนั้นเมื่อลดปริมาณน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ลงทำให้โครงสร้างของเจลไม่แข็งแรง เจลมีลักษณะนิ่ม จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้มอลทิทอลเป็นสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล มีค่าความแข็ง (Hardness) และค่าการบดเคี้ยว (Chewiness) ลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของภาสุรี (2560) พบว่า กัมมีเยลลี่มะม่วงหาวมะนาวโห่ที่มีอัตราส่วนของมอลทิทอลเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็ง และค่าการบดเคี้ยวลดลง โดยผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ทั้ง 4 สูตรจะมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 28.94 – 53.23 นิวตัน ค่าความยืดหยุ่น อยู่ในช่วง 0.93 – 0.99 และค่าการบดเคี้ยว อยู่ในช่วง 26.61 – 45.19 นิวตัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะกายภาพของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคปูกุสเบอร์รี่

สูตร	ค่าสี			ค่าเนื้อสัมผัส		
	L*	a* ^{ns}	b*	Hardness(N)	Springiness	Chewiness(N)
ควบคุม	41.79±0.39 ^b	5.37±0.50	24.76±0.31 ^c	64.59±9.96 ^a	0.94±0.01 ^b	52.27±7.66 ^a
ร้อยละ25	41.92±1.81 ^b	5.54±0.43	25.79±1.26 ^{cb}	53.23±3.44 ^b	0.93±0.01 ^b	45.19±2.53 ^{ab}
ร้อยละ50	43.84±0.78 ^a	5.74±0.46	26.55±1.77 ^{ab}	39.28±2.91 ^c	0.99±0.00 ^a	37.71±1.98 ^{bc}
ร้อยละ75	44.59±0.32 ^a	5.46±0.20	27.96±1.27 ^{ab}	35.91±3.46 ^{cd}	0.93±0.01 ^b	29.79±3.16 ^{cd}
ร้อยละ100	45.36±0.38 ^a	5.62±0.27	28.18±0.99 ^{ab}	28.94±4.32 ^d	0.93±0.01 ^b	26.61±4.28 ^d

หมายเหตุ:

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p \leq 0.05$), ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) พบว่า เมื่อปริมาณมอลทิทอลเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าปริมาณน้ำอิสระลดลง ($p \leq 0.05$) แสดงในตารางที่ 3 เนื่องจากมอลทิทอลจัดเป็นสารในกลุ่มอิมวเมกเตนท (Humectant) ซึ่งเป็นสารที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อรักษาความชื้น ส่งผลให้อาหารมีค่าปริมาณน้ำอิสระลดลง ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นาน (Favetto & Chirife, 2006) สอดคล้องกับงานวิจัยของกรรณิการ์ (2564) ที่พบว่า อัตราส่วนของมอลทิทอลต่อมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มัลเบอร์รี่กวนมีค่าปริมาณน้ำอิสระลดลง

ผลค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด พบว่า ปริมาณของมอลทิทอลเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($p>0.05$) เนื่องจากมอลทิทอลมีความหวานประมาณร้อยละ 85 ถึง 95 หรือประมาณ 0.9 เท่าของน้ำตาลซูโครส จึงสามารถใช้แทนได้ในปริมาณ 1 ต่อ 1 โดยมอลทิทอลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำตาลซูโครส เช่น การละลายและจุดหลอมเหลว สอดคล้องกับงานวิจัยของธิดารัตน์ และเสาวนีย์ (2561) ผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคพกูสเบอร์รี่ มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดก่อนหยอดผลิตภัณฑ์ลงแม่พิมพ์อยู่ในช่วง 80.33 ถึง 81.33 องศาบริกซ์ ดังแสดงในตารางที่ 3

ผลค่าความเป็นกรดต่าง (pH) พบว่า เมื่อปริมาณของมอลทิทอลเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่มีค่าความเป็นกรดลดลง (pH สูงขึ้น) ($p\leq 0.05$) ผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคพกูสเบอร์รี่ทั้งหมดมีค่าความเป็นกรดอยู่ในช่วง 2.84 ถึง 3.10 ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่อยู่ในมาตรฐานอุตสาหกรรมฉบับที่ 263/2521 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) และมีค่าใกล้เคียงกับกัมมีเยลลี่จากลองกองลูกร่วง (จิรนนท์ และ พัทรี, 2561) และกัมมีเยลลี่มะม่วงหาวมะนาวโห่ (ภาสุรี และ กมลวรรณ, 2560) ที่มี pH 3.2 และ 2.84 ถึง 3.34 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 คุณลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคพกูสเบอร์รี่

สูตร	ปริมาณน้ำอิสระ	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ^{ns}	ความเป็นกรดต่าง
ควบคุม	0.66±0.01 ^a	80.33±1.057	2.84±0.01 ^d
ร้อยละ25	0.65±0.01 ^{ab}	80.66±0.57	2.90±0.01 ^c
ร้อยละ50	0.64±0.00 ^{bc}	81.00±1.00	3.04±0.03 ^b
ร้อยละ75	0.63±0.0 ^{cd}	81.33±0.57	3.06±0.57 ^{ab}
ร้อยละ100	0.63±0.01 ^d	80.66±0.57	3.10±0.01 ^a

หมายเหตุ:

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\leq 0.05$), ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคพกูสเบอร์รี่ พบว่า เมื่อปริมาณมอลทิทอลเพิ่มขึ้นส่งผลให้คะแนนความชอบเพิ่มขึ้น ($p\leq 0.05$) เนื่องจากปริมาณมอลทิทอลที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เนื้อสัมผัสของกัมมีเยลลี่นุ่มขึ้น สอดคล้องกับค่าความแข็ง (Hardness) และค่าการบดเคี้ยว (Chewiness) ที่มีค่าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยผู้ทดสอบ

ให้คะแนนการยอมรับในภาพรวมมากที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคพกูสที่ใช้มอลทิทอล เป็นสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลซูโครสในอัตราส่วนร้อยละ 100 มากที่สุด มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ ชอบปานกลางถึงชอบมาก ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคพกูสเบอร์รี่

สูตร	สี	เนื้อสัมผัส	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
ร้อยละ 25	6.74±1.15 ^c	6.54±1.19 ^c	5.83±1.58 ^b	6.66±1.51 ^b	6.60±1.41 ^b
ร้อยละ 50	7.11±1.32 ^{bc}	6.97±1.22 ^{bc}	5.86±1.43 ^b	6.54±1.33 ^b	6.80±1.15 ^b
ร้อยละ 75	7.49±1.42 ^{ab}	7.43±1.15 ^{ab}	7.00±1.49 ^a	7.49±1.17 ^a	7.63±1.16 ^a
ร้อยละ 100	7.74±0.91 ^a	7.66±1.13 ^a	7.40±1.41 ^a	7.69±1.05 ^a	7.86±1.03 ^a

หมายเหตุ:

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p \leq 0.05$), ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3 ผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่

จากผลการวิเคราะห์จุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคพกูสเบอร์รี่ ที่ใช้มอลทิทอล เป็นสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลซูโครสร้อยละ 100 พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 1.5×10^1 CFU/g ในขณะที่ปริมาณยีสต์และราทั้งหมดเท่ากับ 1.0×10^1 CFU/g และมีปริมาณ *E.coli* น้อยกว่า 3 MPN/g ซึ่งผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคพกูสเบอร์รี่ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของเยลลี่แห่ง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์, 2547) เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณค่าโภชนาการของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคพกูสเบอร์รี่ ในปริมาณ 100 กรัม พบว่า มีพลังงานทั้งหมด 343 กิโลแคลอรี ไขมัน 0 กรัม โปรตีน 10.5 กรัม คาร์โบไฮเดรต 75.2 กรัม น้ำตาล 4.6 กรัม ความชื้น 14.18 กรัม เถ้า 0.13 กรัม และวิตามินซี 50.87 มิลลิกรัม โดยคุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (30 กรัม) มีพลังงานทั้งหมด 100 กิโลแคลอรี มีปริมาณโปรตีน 2 กรัม คาร์โบไฮเดรต 20 กรัม และน้ำตาล 1 กรัม มีปริมาณวิตามินซี 15.3 มิลลิกรัมหรือ 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 5 และมีต้นแบบบรรจุภัณฑ์ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีปริมาณวิตามินซีอยู่มากกว่าร้อยละ 20 ของ Thai RDI และลดน้ำตาลลงตั้งแต่ร้อยละ 25 ทำให้สามารถกล่าวอ้างได้ว่าเป็นกัมมีเยลลี่จากเคพกูสเบอร์รี่มีวิตามินซีสูงและน้ำตาลลดลงได้ ตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (กระทรวงสาธารณสุข, 2541)

ตารางที่ 5 ฉลากโภชนาการแบบย่อของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคปกูสเบอร์รี่

ข้อมูลโภชนาการ		ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน*
หนึ่งหน่วยบริโภค : 10 ชิ้น (30 กรัม)		
จำนวนหน่วยบริโภคต่อซอง : 2		
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค		
พลังงานทั้งหมด 100 กิโลแคลอรี		
ไขมันทั้งหมด	0 ก.	0 %
โปรตีน	3 ก.	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	20 ก.	
น้ำตาล	1 ก.	7 %
โซเดียม	0 มก.	0 %
		ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน*
วิตามินซี	25 %	

*ร้อยละปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) โดยคิดจากความต้องการของพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี



รูปที่ 1 ต้นแบบบรรจุภัณฑ์แบบถุงซีลซิปล็อกของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่เคปกูสเบอร์รี่

5. สรุปผลการวิจัย

สูตรที่เหมาะสมในการผลิตกัมมีเยลลี่เคปกูสเบอร์รี่ คือ สูตรที่ใช้มอลทิทอลทดแทนน้ำตาลซูโครสที่ ร้อยละ 100 ประกอบด้วยน้ำตาลมอลทิทอลร้อยละ 36.12 กลูโคสไซรัปร้อยละ 28.90 น้ำเคปกูสเบอร์รี่ร้อยละ 15.89 เจลาตินร้อยละ 10.11 น้ำเปล่าร้อยละ 7.22 กรดซิตริกร้อยละ 1.73 กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.01 และสารละลายซูคาโรสร้อยละ 0.006

มีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่าง (L^*) 45.36 ± 0.38 ค่าสีแดง (a^*) 5.62 ± 0.27 ค่าสีเหลือง (b^*) 28.18 ± 0.99 ค่าความแข็ง 28.94 ± 4.32 นิวตัน ค่าความยืดหยุ่น 0.93 ± 0.01 และค่าการบดเคี้ยว 26.61 ± 4.28 ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) 0.63 ± 0.01 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 80.66 ± 0.57 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด 3.10 ± 0.01 และคุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (30 กรัม) มีพลังงานทั้งหมด 100 กิโลแคลอรี มีปริมาณโปรตีน 3 กรัม คาร์โบไฮเดรต 20 กรัม น้ำตาล 1 กรัม มีปริมาณวิตามินซีสูง 15.3 มิลลิกรัม สามารถกล่าวอ้างได้ว่าเป็นกัมมี่เยลลี่จากเคพกูสเบอร์รี่มีวิตามินซีสูงได้ และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และราเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของเยลลี่แข็ง

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้แผนงาน ใต้ร่มพระบารมี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 ในครั้งนี้ และขอขอบคุณศูนย์พัฒนาโครงการหลวง เลอตอ ที่สนับสนุนวัตถุดิบในการทำวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- กมลทิพย์ กรรไพบเราะ. (2561). ผลของการใช้สารทดแทนน้ำตาลต่อคุณภาพของกัมมี่เยลลี่ดาดหลา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 23(2), 944-958.
- กรรณิการ์ อ่อนสำลี. (2564). การใช้สารฮิวเมกเตนท์ในผลิตภัณฑ์มัลเบอร์รี่ กวน. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*, (1), 14-25.
- กระทรวงสาธารณสุข. (2541). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับ 182) เรื่อง ฉลากโภชนาการ. สืบค้นจาก <http://www.rbpho.moph.go.th/upload-file/doc/files/27072022-121229-9336.pdf>
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2559). กัมมี่เยลลี่. *สถาบันอาหาร*. สืบค้นจาก <http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?id=120>.
- กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา, และ นัทมน พุฒดวง. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ชิวพีชเพื่อสุขภาพ. *วารสารเทคโนโลยีการอาหารมหาวิทยาลัยสยาม*, 11(1), 13-21.
- จันทรรัตน์ ยานะสิทธิ์, และ เมลานี ต้นอ้าย. (2562). การประยุกต์ใช้น้ำกระตุนพลาสมาในการยืดอายุการเก็บรักษาสตอร์เบอร์รี่ (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต). เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- จิรนนท์ กล่อมมนราแก้วรักษา, และ พัชรี หล่งหม่าน. (2561). การพัฒนาสูตรเยลลี่จากลองกองลูกร่วง. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 23(2), 767-778.
- จุฑามาศ นิวัฒน์, ปิยาภรณ์ เชื่อมชัยตระกูล, และ ณิชวุฒิ ดอนลาว. (2558). การพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมผลไม้เพื่อสุขภาพของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านห้วยน้ำกิน อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย. *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต*, 3(2), 151-158.
- ธิดารัตน์ หน่อสุวรรณ และ เสาวนีย์ ต้นเตชชัย. (2561). ผลของมอลทิทอลต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของแยมเสาวรสพลังงานต่ำ. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 56* (หน้า 863-870). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นงลักษณ์ งามพีระพงศ์. (2557). การพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมกระเจี๊ยบแดงลดน้ำตาล (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- น้อมจิต สุธิบุตร, และ ศุภชัย พิทักษ์มงคล. (2563). กัมมี่เยลลี่ลดน้ำตาลเสริมเวย์โปรตีน. ใน *การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10* (หน้า 1348-1354). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 481
- ปติพร ฤทธิเรืองเดช, และ ปิยฉัตร โชคเฉลิมวงศ์. (2555). การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่จากแก้วมังกรสีแดง. ใน *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 5* (หน้า 1494-1502). กาญจนบุรี: มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี.
- ภคารัชช จาวจักรศิริ. (2562). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่แคลอรีต่ำจากไซเดอร์มะเขือเทศ. กรุงเทพมหานคร: มหาลัทธิธรรมศาสตร์.
- ภาสุรี ฤทธิเลิศ, และ กมลวรรณ วารินทร์. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่มะม่วงหาวมะนาวโห่. *Thai Journal of Science and Technology*, 9(2), 343-354.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ "เยลลี่แห้ง"* (มผช520/2547). สืบค้นจาก <https://r.search.yahoo.com>: https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps520_47.pdf
- วิลาสินี ดีปัญญา. (2551). *พัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่มะขาม* (รายงานผลการวิจัย). เพชรบูรณ์: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- ศิมาภรณ์ มีแสง. (2546). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่รสมะนาววิตามินซีสูง*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2546). *แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด* (เล่มที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- สุขใจ ชูจันทร์. (2555). *สารให้ความหวานพลังงานต่ำ* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์.
- AOAC. (2019). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. (21th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington DC.

- Ervin, G. and Ervin, E. (22 December 2011). *Health Characteristic Chewy Gummy Candy Confection*. Retrieved from <https://patents.google.com/patent/US20110313055A1/>
- Favetto, G. Bartholomai, J. and Chirife G. (2006). Determination of moisture content in glycerol-containing intermediate moisture foods. *Journal of Food Science*, (44), 1258-1259.
- Gok, S., Toker, O., Palabiyik, I., & Konar, N. (2020). Usage possibility of mannitol and soluble wheat fiber in low calorie gummy candies. *LWT - Food Science and Technology*, 128, 1-10.
- Jiamjariyatam, R. (2018). Influence of gelatin and isomaltulose on gummy jelly properties. *International Food Research Journal*, 25(2), 776-783.

ผลของกรดฮิวมิกต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของเมล่อน ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร

พิมพรัมภา สำราญ^{1*} ปริญญาวัตติ ศรีตันทิพย์² และ ชิตี ศรีตันทิพย์^{1,2}

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
200 หมู่ 17 ถนนพหลโยธิน ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000

² สถาบันวิจัยเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
202 หมู่ 17 ถนนพหลโยธิน ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000

E-mail : *Pimrumpa_sa65@rmutl.live.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 088-225-1660

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของกรดฮิวมิกต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของเมล่อนที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomize design : CRD) มี 6 กรรมวิธี จำนวน 10 ซ้ำ คือ 1) ไม่ใส่กรดฮิวมิก (ควบคุม) 2) กรดฮิวมิกความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร 3) กรดฮิวมิกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร 4) กรดฮิวมิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร 5) กรดฮิวมิกความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 6) กรดฮิวมิกความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดลองระหว่างเดือนธันวาคม 2565 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2566 พบว่ากรดฮิวมิกที่ 0 (control) 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เมล่อนมีความสูงของต้น ความกว้างของทรงพุ่ม ความกว้างใบ ความยาวใบ และประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบสูงที่สุด การให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เมล่อนมีน้ำหนักต่อผล ขนาดผลด้านความกว้างและความยาวของผลมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ส่วนความหนาของเนื้อพบว่ากรรมวิธี 0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าน้อยที่สุด

คำสำคัญ กรดฮิวมิก เมล่อน สารละลายธาตุอาหาร

Effects of Humic Acid on Growth and Development and Fruit Quality of Melon Grown in Nutrient Solution Culture

Pimrumpa Samran^{1*}, Parinyawadee Sritontip² and Chiti Sritontip^{1,2}

¹ Faculty of Science and Agricultural Technology,
Rajamangala University of Technology Lanna Lampang, Lampang 52000

² Agricultural Technology Research Institute,
Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang 52000

E-mail : *Pimrumpa_sa65@rmutl.live.ac.th, Tel. 088-225-1660

Abstract

A study on the effects of humic acid (HA) on vegetative growth and yield quality of melons nutrient solution culture was investigated. The experiment was carried out using a completely randomized design (CRD) with six treatments and ten replications: (1) 0 mg/L. HA (control), (2) 25 mg/L. HA, (3) 50 mg/L. HA, (4) 100 mg/L. HA, (5) 150 mg/L. HA, and (6) 200 mg/L. The experiment was conducted from December 2022 to February 2023. The results showed that humic acid at 0 (control), 25, and 50 mg/L had greater plant height, canopy width, leaf width, leaf length, and chlorophyll fluorescence than other treatments. The humic acid concentration of 150 mg/L gave the fruit weight, and the fruit size in terms of fruit width and length was higher than other treatments. Nevertheless, the 0 mg/L treatment had the thinnest flesh.

Keywords: Humic acid, Melon, Nutrient solution culture

1. บทนำ

เมล่อนอยู่ในวงศ์เดียวกับแตงกวาและแตงโม แต่มีราคาสูงกว่าพีชตระกูลแตงด้วยกัน โดยเมล่อนได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ รวมทั้งประเทศไทย และยังถือว่าเป็นพืชที่มีศักยภาพที่สามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร โดยใช้พื้นที่ขนาดเล็ก ซึ่งปลูกภายใต้ระบบโรงเรือนทั้งปลูกลงดิน และปลูกลงถาดโดยใช้วัสดุปลูก (จุไรรัตน์ ฝอยถาวร และ ดารากร อัคราศรี, 2564) หรือการปลูกพีชในสารละลายธาตุอาหาร ทำให้ผลผลิตที่ได้ มีความปลอดภัยและผลผลิตมีคุณภาพที่แน่นอน (ชิตี ศรีตันทิพย์ และคณะ, 2560) เมล่อนมีมูลค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาการปลูกและผลผลิตต่อพื้นที่ (ศราวุธ จันทะพรหม, 2558; อภิชาติ ศรีสะอาด และ สุธิพงษ์ ถิ่นเขาน้อย, 2558) ส่งผลให้การปลูกเมล่อน จึงต้องมีการดูแลรักษา ให้น้ำ ปุ๋ย และการจัดการที่ดี จึงจะได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ จึงทำให้มีต้นทุนที่สูงในการใช้ปุ๋ยเคมีและการดูแล และอาจส่งผลเสียต่อผู้บริโภคเมื่อมีการตกค้าง ของสารเคมี ซึ่งวิโรจน์ สุวรรณคำ และ เกษราวัลณ์ นีวรังกูร (2559) รายงานว่าผลกระทบต่อสุขภาพจากการใช้สารเคมีในเกษตรกร ทำให้เกิดอาการในระยะเฉียบพลัน เช่น ปวดศีรษะ คลื่นไส้ ผื่นคัน เจ็บหน้าอก ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ ดังนั้นการเลือกวัสดุธรรมชาติทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี จึงเป็นหนึ่งทางเลือกเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคและผู้ปลูกเอง ซึ่งฮิวมิกเป็นหนึ่งในวัสดุธรรมชาติที่นิยมใช้ทดแทนสารเคมี เป็นสารที่ช่วยเพิ่มผลผลิตพืชและเพิ่มประสิทธิภาพ การใช้ปุ๋ย สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน โดยแหล่งที่มาของฮิวมิกได้แก่ ถ่านหินลิกไนต์ ดิน และวัสดุอินทรีย์ โดยอินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบของดินที่เรียกว่า ฮิวมัส (humus) ซึ่งฮิวมัสเป็นสารที่ได้จากการสลาย (decomposition) ของเศษซากพืชและซากสัตว์ ด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (International humic substances Society, 2007) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของฮิวมิกต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของเมล่อนที่ปลูกใน สารละลายธาตุอาหาร เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตเมล่อนในการปลูกพีชแบบไม่ใช้ดินต่อไป

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เมล่อนเป็นผลไม้ที่นิยมรับประทานกันอย่างมากในฤดูร้อน เพราะมีความหวานฉ่ำ สามารถคลายร้อนและทำให้สดชื่น และเป็นผลไม้ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ วิตามินซี วิตามินเอ เบต้าแคโรทีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และธาตุเหล็ก ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยในปี 2560 ประเทศไทยมีการปลูกเมล่อนประมาณ 533 ไร่ ในพื้นที่ 17 จังหวัด พื้นที่ปลูก ส่วนใหญ่อยู่ที่ อยุธยา นนทบุรี จันทบุรี และนครราชสีมา ผลผลิตต่อไร่ 3,273 กิโลกรัม/ไร่ ผลผลิตรวมอยู่ที่ 1,323 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560) การผลิตเมล่อนเพื่อลดต้นทุน จึงต้องมีการใช้วัสดุจากธรรมชาติโดยกรดฮิวมิกเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จำแนกได้จากสารฮิวมิก

ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ทั้งในดิน, น้ำ, ตะกอนดิน (MacCarthy, 2001) และถ่านหิน (Cavani et al., 2003) หรือแม้แต่ในปุ๋ยหมัก (Sánchez-monedero et al., 1999) สารฮิวมิกเป็นสารประกอบที่มีความซับซ้อน เกิดจากวัสดุต่าง ๆ ที่ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ และเคมีในระหว่างเกิดการย่อยสลายและเปลี่ยนแปลงรูปของซากพืช ซากสัตว์และชีวมวล โดยกระบวนการของจุลินทรีย์ในดิน (International humic substances Society, 2007) กรดฮิวมิกสามารถปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน โดยการเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยน แคตไอออนของดิน (Cation exchange capacity) ทำให้ดินสามารถจับธาตุอาหารได้ดีขึ้น (Pettit, 2004) และเพิ่มการเจริญเติบโตของพืช ความสูง จำนวนใบ พื้นที่ใบ (รัชชากรณ ว่องไววิริยกิจ, 2556) รวมทั้งการเพิ่มการสังเคราะห์แสง (Haghighi & Teixeira Da Silva, 2013) และยังส่งผลถึงการงอก ความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังสามารถช่วยเพิ่ม ปริมาณธาตุอาหารบางชนิดเช่น โซเดียม(Na) และโพแทสเซียม (K) อย่างมีนัยสำคัญ (Akinci et al., 2009) และยังเกี่ยวกับการผลิตฮอร์โมนพืช การดูดซึมธาตุอาหาร การเพิ่มผลผลิต และการสังเคราะห์โปรตีน ในการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่าฮิวมิกได้เพิ่ม การอัตราการสังเคราะห์แสงและการตอบสนองของปากใบ และยังทำให้จำนวนของราก เพิ่มมากขึ้นทั้งในน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (Yigit & Dikilitas, 2008)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการทดลองโดยเพาะต้นกล้าเมล่อนพันธุ์อะโรมากรีน TA244. (Aroma Green) จากบริษัทเพื่อนเกษตรกร โดยนำเมล็ดพันธุ์เมล่อนแช่น้ำทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำเมล็ดมาบ่มในผ้าขาวบางเก็บในกล่องที่บออีก 24 ชั่วโมง จากนั้นย้ายเมล็ด ลงในถาดเพาะจำนวน 104 หลุม เมื่อต้นกล้าอายุ 14 วัน ทำการย้ายปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ โดยการปลูกวางพลาสติกที่มีขนาดความกว้างxความยาวxความสูงเท่ากับ 35x300x12.5 เซนติเมตร และมีปริมาตรน้ำในรางปลูก 105 ลิตร และเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตร A และ สูตร B ดัดแปลงตาม ชิตี ศรีตันทิพย์ และคณะ (2560) ในถังขนาด 200 ลิตร โดยมีปั้มน้ำหมุนเวียนธาตุอาหารพืช ซึ่งในการทดลองจะมีการควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity : EC) ในสารละลายธาตุอาหารเท่ากับ 2.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

เมื่อต้นเมล่อนเริ่มมีกิ่งแขนงแตกออกมา ทำการตัดแต่งกิ่งแขนงออก จากข้อแรกจนถึงข้อที่ 9 เมื่อต้นเมล่อนอายุ 21-28 วัน หลังจากย้ายกล้า ทำการผสมเกสร ในช่วงเวลา 08.00-11.00 นาฬิกา โดยนำเกสรเพศผู้ที่บ้านเต็มที่แล้ว นำไปแตะที่เกสรเพศเมีย หลังจากผสมเกสรแล้วทำการคัดเลือกผลที่สมบูรณ์ให้เหลือต้นละ 1 ผล โดยเลือกลักษณะผล ที่เป็นวงรี เส้นรอบวงด้านกว้างของผลประมาณ 18 เซนติเมตร และเส้นรอบวง

ด้านยาวของผลประมาณ 22 เซนติเมตร เมื่อตัดผลแล้ว ทำการตัดยอดออกที่ความยาวเถาได้ 25 ใบ ทำการทดลองในสภาพโรงเรือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.9 ± 3.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60.5 ± 5.9 เปอร์เซ็นต์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomize design : CRD) โดยมีกรรมวิธีการทดลอง 6 กรรมวิธี จำนวน 10 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่กรดฮิวมิก (ควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 กรดฮิวมิกความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 3 กรดฮิวมิกความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 4 กรดฮิวมิกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 5 กรดฮิวมิกความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 6 กรดฮิวมิกความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

การบันทึกข้อมูล

1. การเจริญเติบโตทางลำต้น

1.1. ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) โดยการวัดจากรางจนถึงปลายยอด

1.2. เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น (มิลลิเมตร) โดยการวัดจากตำแหน่งที่สูงจากราง 5 เซนติเมตร

1.3. ความกว้างทรงพุ่มของต้น (เซนติเมตร) โดยวัด 2 ด้านตั้งฉากกัน ในด้านทิศเหนือ-ทิศใต้ และทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก

2. การเจริญเติบโตทางใบ

2.1 ความกว้างของใบ (เซนติเมตร) วัดที่กึ่งกลางของใบ จากขอบใบด้านซ้ายไปขอบใบด้านขวา ในตำแหน่งข้อใบที่ 3 (นับจากยอดลงมา)

2.2 ความยาวของใบ (เซนติเมตร) วัดจากโคนใบถึงปลายใบ ในตำแหน่งข้อใบที่ 3 (นับจากยอดลงมา)

3. การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ (Chlorophyll fluorescence) ด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ บริษัท Hansatech instruments รุ่น Handy PEA Plus ver. และค่าดัชนีความเขียวของใบ (SPAD unit) ด้วยเครื่องวัดค่าดัชนีความเขียวของใบ บริษัท Konica Minolt รุ่น SPAD-502 plus โดยทำการวัดใบที่แผ่ขยายเต็มที่ ในตำแหน่งข้อใบที่ 3 (นับจากยอดลงมา)

4. การออกดอก ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิต

- 4.1 จำนวนดอกต่อต้น (ดอก/ต้น) โดยทำการบันทึกจำนวนดอกทั้งหมดต่อต้น แยกเป็นดอกเพศผู้และเพศเมีย
- 4.2 น้ำหนักต่อผล (กรัม/ผล)
- 4.3 ขนาดของผล (เซนติเมตร)
- 4.4 ความหนาเนื้อ (เซนติเมตร)
- 4.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ โดยวิธีการ Analysis of Variance (ANOVA) และทดสอบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

4. ผลการวิจัย

ผลการทดลองด้านการเจริญเติบโตทางลำต้นของเมล่อนที่อายุ 35 วันหลังย้ายปลูก พบว่าความสูงของต้นมีความแตกต่างทางสถิติระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยการให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 0 25 50 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เมล่อนมีความสูงมากที่สุด ด้านความกว้างทรงพุ่ม พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยการให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นเมล่อนมีความกว้างทรงพุ่มสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1)

ผลการทดลองด้านการเจริญเติบโตทางใบ พบว่า ความกว้างของใบ มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยการให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เมล่อนความกว้างของใบสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการให้ความเข้มข้น 0 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ความยาวของใบเมล่อน พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยการให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 0 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เมล่อนมีความยาวของใบสูงที่สุด และค่าดัชนีความเขียวของใบระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยต้นเมล่อนที่ให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 25 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าดัชนีความเขียวของใบสูงที่สุดคือ 43.46 SPAD unit ค่าดัชนีความเขียวของใบระยะออกดอก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่าการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ (F_v/F_m) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยการให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ทำให้เมล็ดมีประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 0 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ (F_v/F_m) ระยะออกดอก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยการให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่ 0 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบสูงที่สุด (ตารางที่ 2)

ผลการทดลองด้านการออกดอกและติดผล พบว่าจำนวนดอกเพศผู้ต่อต้นมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยการให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้จำนวนดอกเพศผู้มากที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับการให้ความเข้มข้นกรดฮิวมิก 25 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนจำนวนดอกเพศเมียต่อต้น และร้อยละของจำนวนดอกฝ่อ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ร้อยละการติดผลพบว่ามี ความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยการให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 0 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เมล็ดมีร้อยละการติดผลสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 87.5 แต่ไม่แตกต่างกันกับการให้ความเข้มข้น 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 3)

ผลการทดลองด้านผลผลิตและคุณภาพของผลผลิต พบว่า น้ำหนักต่อผลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยการให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เมล็ดมีน้ำหนักต่อผลสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันกับการให้ความเข้มข้น 0 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ขนาดผลด้านความกว้างผล พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 25 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ขนาดความกว้างของผลสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างกันกับการให้ความเข้มข้น 0 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ความยาวของผล พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 25 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ขนาดความยาวของผลสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันกับการให้ความเข้มข้น 0 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความหนาของเนื้อผล พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยการให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เมล็ดมีความหนาของเนื้อสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันกับการให้ความเข้มข้น 25 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยการไม่ใส่กรดฮิวมิกทำให้เมล็ดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงที่สุด รองลงมาคือการใช้กรดฮิวมิกความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 1 ผลของความเข้มข้นของกรดฮิวมิกต่อการเจริญเติบโตในด้านความสูงของลำต้น ความกว้างของทรงพุ่ม และเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นที่ระยะเวลา 35 วัน

กรรมวิธี	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น (มิลลิเมตร)
กรดฮิวมิก 0 มก./ล.	163.50 a	53.35 bc	8.89
กรดฮิวมิก 25 มก./ล.	156.20 a	56.50 ab	8.71
กรดฮิวมิก 50 มก./ล.	164.10 a	59.35 a	8.69
กรดฮิวมิก 100 มก./ล.	132.40 b	52.05 bc	8.64
กรดฮิวมิก 150 มก./ล.	159.60 a	53.40 bc	9.35
กรดฮิวมิก 200 มก./ล.	140.40 b	50.20 c	9.09
F-test	**	ns	*
C.V. (%)	17.53	4.74	9.82

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ตารางที่ 2 ผลของความเข้มข้นของกรดฮิวมิกต่อการเจริญเติบโตทางใบดัชนีความเขียวของใบและการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ ของเมล็ดอ่อน

กรรมวิธี	การเจริญเติบโตทางใบ (เซนติเมตร)		ดัชนีความเขียวของใบ (SPAD unit)		การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการทำงานของ ของระบบแสงที่สองของใบ (Fv/Fm)	
	ความกว้างใบ	ความยาวใบ	ระยะการเจริญเติบโต ทางลำต้น	ระยะการ ออกดอก	ระยะการเจริญ เติบโตทางลำต้น	ระยะการออกดอก
กรดฮิวมิก 0 มก./ล.	20.55 ab	22.15 a	41.39 b	44.33	0.73 ab	0.82 a
กรดฮิวมิก 25 มก./ล.	20.50 ab	22.25 a	43.46 a	44.59	0.74 a	0.83 a
กรดฮิวมิก 50 มก./ล.	21.20 a	22.75 a	41.68 b	44.07	0.74 a	0.83 a
กรดฮิวมิก 100 มก./ล.	18.65 cd	19.00 c	41.35 b	43.44	0.68 b	0.79 b
กรดฮิวมิก 150 มก./ล.	19.60 bc	20.55 b	41.44 b	40.33	0.70 ab	0.80 b
กรดฮิวมิก 200 มก./ล.	17.95 d	19.05 c	41.66 b	44.30	0.69 b	0.79 b
F-test	**	**	*	ns	*	**
C.V. (%)	7.27	7.73	3.59	12.00	7.67	1.23

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ตารางที่ 3 ผลของความเข้มข้นของกรดฮิวมิกต่อจำนวนดอกต่อต้น ร้อยละการติดผล และร้อยละดอกฝ่อ

กรรมวิธี	จำนวนดอกต่อต้น		การติดผล (ร้อยละ)	
	เพศผู้	เพศเมีย	การติดผล	ดอกฝ่อ
กรดฮิวมิก 0 มก./ล.	45.40 a	5.70	87.50 a	12.50 a
กรดฮิวมิก 25 มก./ล.	40.30 ab	5.20	75.00 ab	25.00 ab
กรดฮิวมิก 50 มก./ล.	38.30 bc	4.30	82.50 ab	20.00 ab
กรดฮิวมิก 100 มก./ล.	33.30 c	3.50	87.50 a	12.50 a
กรดฮิวมิก 150 มก./ล.	44.40 ab	5.90	67.50 b	32.50 b
กรดฮิวมิก 200 มก./ล.	38.70 a-c	5.90	87.50 a	12.50 a
F-test	**	ns	*	ns
C.V. (%)	17.53	25.82	9.82	72.42

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ

0.01 ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ตารางที่ 4 ผลของความเข้มข้นของกรดฮิวมิกต่อน้ำหนักผล ขนาดผล ความหนาเนื้อ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเมล่อน

กรรมวิธี	น้ำหนักต่อผล (กิโลกรัม)	ขนาดผล (เซนติเมตร)		ความหนาของเนื้อผล (เซนติเมตร)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)
		กว้างผล	ยาวผล		
กรดฮิวมิก 0 มก./ล.	0.93 ab	37.20 ab	39.00 ab	2.75 c	14.10 a
กรดฮิวมิก 25 มก./ล.	0.95 ab	37.80 a	39.70 a	3.20 ab	12.10 c
กรดฮิวมิก 50 มก./ล.	0.90 a-c	37.00 ab	38.80 ab	3.45 a	12.40 bc
กรดฮิวมิก 100 มก./ล.	0.78 c	35.60 b	36.40 c	2.79 bc	12.70 bc
กรดฮิวมิก 150 มก./ล.	1.01 a	38.00 a	39.60 a	3.20 ab	12.70 bc
กรดฮิวมิก 200 มก./ล.	0.86 bc	36.30 ab	37.60 bc	3.05 abc	13.00 b
F-test	**	*	**	**	**
C.V. (%)	14.38	4.65	5.48	13.77	6.90

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

5. สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดฮิวมิกต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของเมล่อน พบว่า การให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่ 0 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ความสูงของลำต้น ความกว้างของใบ ความยาวของใบ ค่าการเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบแสงที่สอง น้ำหนักผล และขนาดผลของเมล่อนสูงที่สุด สอดคล้องกับ Obsuwan et al. (2011) ที่รายงานว่าการรดฮิวมิกที่ความเข้มข้น 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกระตุ้นการเคลื่อนที่ของธาตุอาหาร ทำให้รากแขนงสามารถดูดธาตุอาหารได้มาก และยังสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในหลาย ๆ ด้าน เช่นเดียวกับ รัชชากรณ ว่องไววิริยกิจ (2556) ที่รายงานว่าต้นอ่อนมะเขือเปราะ มีความสูง น้ำหนักสดของต้นและราก รวมถึงความเข้มข้นของสารไนโตรเจนในใบ เมื่อใช้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการใช้อาหารสูตร MS (Murashige และ Skoog) ที่ลดความเข้มข้นเหลือ 1/4 เท่า ซึ่งยงยุทธ โอสดสภา (2557) รายงานว่า สารฮิวมิกมีบทบาทคล้ายฮอร์โมนออกซิน โดยทำหน้าที่กระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีผลช่วยให้เซลล์ขยายขนาด ช่วยเร่งการเจริญเติบโต และช่วยเพิ่มผลผลิตพืชและประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ย นอกจากนี้สารฮิวมิกยังทำให้พืชมีการสร้างฮอร์โมนออกซินและไซโตไคนินเพิ่มขึ้น (Ampong et al., 2022) ขณะที่การให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่ 100 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ความกว้างของใบ ความยาวของใบ ค่าดัชนีความเขียวของใบ และค่าการเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบแสงที่สองลดลง สอดคล้องกับรายงานของรัชชากรณ ว่องไว วิริยกิจ (2556) ที่พบว่าเมื่อให้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกสูงกว่า 25 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนมะเขือเปราะ เช่นเดียวกับรายงานการใช้ฮอร์โมนออกซินความเข้มข้นสูงเกินไป พบว่ามีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช โดยทำให้สมดุลของฮอร์โมนสำหรับการเจริญเติบโตเสียไป ส่งผลให้การพัฒนาของเนื้อเยื่อหยุดชะงัก โดยเฉพาะการพัฒนาของระบบท่อลำเลียงอาหาร (เฉลิมชัย วงศ์วัฒน์, 2547) สอดคล้องกับวีรภัทร ปันฉาย และคณะ (2563) ที่พบว่าการใช้ออกซินระดับสูงเกินไปจะมีผลยับยั้งการเกิดราก ทำให้อัตราการรอดชีวิตของกิ่งชำมะเดื่อลดลง

6. เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2560). เมล่อนญี่ปุ่น. สืบค้น 30 มีนาคม 2566, จาก <https://www.agriinfo.doae.go.th/year60/plant/rortor/veget/94.pdf>
- จุไรรัตน์ ฝอยถาวร และ ดารากร อัคราศรี. (2564). ความต้องการธาตุอาหารเมล่อนบนพื้นที่สูง. สืบค้น 30 มีนาคม 2566, จาก <https://www.hrdi.or.th/Articles/Detail/1474>
- เฉลิมชัย วงศ์วัฒน์. (2547). ฮอร์โมนพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ชิตี ศรีตันทิพย์, สันติ ช่างเจรจา, ยุทธนา เขาสุเมรุ, สัญชัย พันธโชติ, ปริญญาวัต ศรีตันทิพย์ และ สุนันท์ เลสั๊ก. (2560). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินต้นทุ่นต่ำ. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- ยงยุทธ โอสถสภา. (2557). การใช้สารเร่งเชิงชีวภาพเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช. *ดินและปุ๋ย*, 36(1-4), 27-54.
- รัชชากรณ ว่องไววิริยกิจ. (2556). การศึกษาการดูดซึมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในการแทนที่สารเคเลตต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของเมล็ดมะเขือเปราะ โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ระดับธาตุอาหารต่ำ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร. สืบค้นจาก <http://www.sure.su.ac.th/xmlui/handle/123456789/12693?show=full&>
- วิรัชกร ปันฉาย, ดรุณี นภาพร และ นพพร บุญปลอด. (2564). ผลของออกซินต่อการเกิดรากและอัตราการรอดของกิ่งชำมะเดื่อฝรั่งพันธุ์แบล็คเจนัว. *วารสารผลิตภัณฑ์การเกษตร*, 2(3), 15-23.
- ศราวุฑ จันทะพรหม. (2558). ปลูกเมล่อนในโรงเรือน. สำนักพิมพ์เอ็มไอเอส.
- อภิชาติ ศรีสะอาด และ สุธิพงษ์ ถิ่นเขาน้อย. (2558). เมล่อน & แคนตาลูป เงินล้าน. สำนักพิมพ์นาคา อินเทอร์เน็ต.
- Akinci, S., BÜYÜKKEKİN, T., EROĞLU, A., & ERDOĞAN, B. E. (2009). The effect of Humic Acid on nutrient composition in broad bean (*Vicia faba* L.) roots. *Notulae Scientia Biologicae*, 1(1), 81-87.
- Ampong, K., Thilakaranthna, M. S., & Gorim, L. Y. (2022). Understanding the Role of Humic Acids on Crop Performance and Soil Health. *Frontiers in Agronomy*, 4, 848621.
- Cavani, L., Ciavatta, C., & Gessa, C. (2003). Identification of organic matter from peat, leonardite and lignite fertilisers using humification parameters and electrofocusing. *Bioresource Technology*, 86(1), 45-52

- Haghighi, M., & Teixeira Da Silva, J. A. (2013). Amendment of hydroponic nutrient solution with humic acid and glutamic acid in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) culture. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59(4), 642-648.
- International Humic Substances Society. (2007). *Isolation of IHSS Samples*. Retrieved 1 April 2023 from <http://ihss.gatech.edu/isolation.html>.
- MacCarthy, P. (2001). The principles of humic substances. *Soil Science*, 166(11), 738-751.
- Obsuwan, K., Namchote, S., Sanmanee, N., Panishkan, K., & Dharmvanij, S. (2011). Effect of various concentrations of humic acid on growth and development of eggplant seedlings in tissue cultures at low nutrient level. *International Journal of Bioengineering and Life Sciences*, 5(8), 494-496.
- Pettit, R. E. (2004). Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: their importance in soil fertility and plant health. *CTI Research*, 10, 1-7.
- Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Cegarra, J., & Bernal, M. P. (1999). Relationships between water-soluble carbohydrate and phenol fractions and the humification indices of different organic wastes during composting. *Bioresource Technology*, 70(2), 193-201.
- Yigit, F., & Dikilitas, M. (2008). Effect of humic acid applications on the root-rot diseases caused by *Fusarium* spp. on tomato plant. *Plant Pathology Journal*, 7(2): 179-182.

ผลของการใช้พลาสมาที่มีต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ ของเนื้อหมูบดเพื่อการผลิตแฮม

นภาพร ดีสนาม^{1*} บุรัสกร สารพันธ์² ชาญชัย เดชธรรมรงค์³ และ นีอร โฉมศรี⁴

^{1,2} สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
200 หมู่ 17 ตำบลพิชัย จังหวัดลำปาง 52000

³ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ภาคพายัพ (เชียงใหม่)
128 ถนนห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

⁴ งานวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันวิจัยเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
202 หมู่ 17 ตำบลพิชัย จังหวัดลำปาง 52000

*E-mail: mamnapadee@rmutl.ac.th, 0894334135

บทคัดย่อ

แฮมเป็นอาหารหมักชนิดหนึ่งที่ผู้บริโภคทางภาคเหนือของประเทศไทยนิยมรับประทาน กระบวนการผลิตแฮมไม่ซับซ้อนทำได้ง่ายในครัวเรือน จึงมักมีปัญหาด้านสุขลักษณะของกระบวนการผลิตทั้งในส่วนของสูตร ทักษะของผู้ผลิต และโดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบหลัก (เนื้อหมู) ที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งมีคุณภาพและความปลอดภัยที่แตกต่างกัน การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ในเนื้อหมูที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแฮมด้วยกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสมาเย็นจากเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดีสชาร์จ (dielectric barrier discharge, DBD) โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้พลาสมาในเนื้อหมูบดที่ระยะเวลา 40 50 และ 60 นาที และติดตามการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และทางจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมักแฮมที่เตรียมจากเนื้อหมูบดผ่านกระบวนการพลาสมาที่ระยะเวลา 0, 12, 24, 36, 48, 60 และ 72 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าเนื้อหมูบดที่ผ่านการให้พลาสมานาน 60 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้มากที่สุด ผลิตภัณฑ์แฮมที่เตรียมจากเนื้อหมูบดที่ให้พลาสมาหลังกระบวนการหมักมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและระยะเวลาการหมักลดลง

คำสำคัญ: พลาสมาเย็น, เนื้อหมูบด, แฮม

Effects of Plasma Utilization on Physicochemical and Microbial Properties of Ground Pork for Naem Processing

Napaporn Deesanam, Burassakorn Sarapun,
Charnchai Detchthammarong and Niorn Chomsri

Faculty of Science and Technology, Ramamangala University of Technology Lanna Lampang
200 Moo.17, Pichai, Lampang 52000

Faculty of Engineering, Ramamangala University of Technology Lanna
128 Huaykaew Rd., Chang Phuak, Muang, Chiangmai 50300

Agricultural Research Institute, Ramamangala University of Technology Lanna Lampang
200 Moo.17, Pichai, Lampang 52000

Abstract

Naem is a fermented food widely consumed in the northern part of Thailand. Naem production is not complicated and easily made in the household, which leads to hygiene problems in the production process relating to recipes and producer's skill. In addition, pork, the main raw material in the production process, affects quality and safety. This study aimed to decrease microorganisms in raw material pork using food processing of nonthermal plasma of dielectric barrier discharge (DBD). Plasma treatment in ground pork for 40, 50 and 60 minutes was carried out to obtain the appropriate condition. Plasma was applied to ground pork at 0, 12, 24, 36, 48, 60 and 72 hours. Monitoring physicochemical and microbial changes during the Naem fermentation process was performed. Results showed that the ground pork with 60 min of plasma treatment decreased the highest total microbial count. The Naem product made from ground pork with plasma treatment had a reduction in total microbial count and fermentation time.

Keywords: nonthermal plasma, Ground Pork, Naem

1. บทนำ

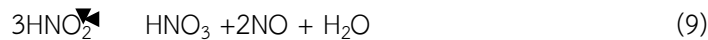
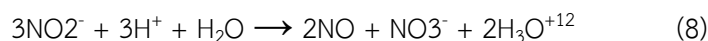
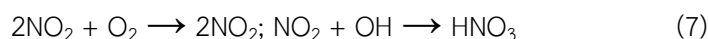
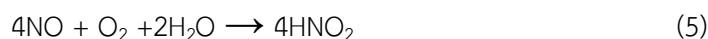
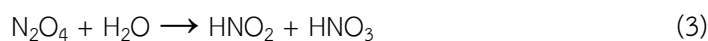
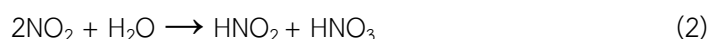
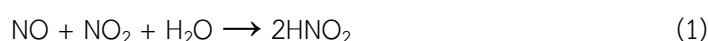
แฮมเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อหมักที่มีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ในธรรมชาติ จากวัตถุดิบ เครื่องมืออุปกรณ์ วัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิต การหมักตามธรรมชาติอาจไม่ถูกสุขลักษณะ เนื่องจากเกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค (pathogen) ที่สามารถสร้างสารพิษ และทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดการเน่าเสียได้ ผลิตภัณฑ์แฮมผลิตได้จากเนื้อหมูบดผสม กับเกลือบริโภค สารประกอบไนเตรทและไนไตรท์ ข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียวสุก กระเทียม คลุกเคล้าให้เข้ากันและนำมาบรรจุโดยห่อด้วยพลาสติกหรือห่อทับด้วยใบตอง ปัจจุบันนิยม บรรจุลงในหลอดพลาสติก ส่วนการเติมสารประกอบไนเตรทและไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์แฮม เพื่อทำหน้าที่เป็นวัตถุกันเสีย ช่วยยับยั้งการงอกของสปอร์และการเจริญของแบคทีเรีย *Clostridium botulinum* ช่วยปรับปรุงกลิ่นรส และทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์มีสีแดง ซึ่งเนื้อสดมีสีม่วงแดงของสารไมโอโกลบิน (Myoglobin) เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจึงเปลี่ยนเป็น สารออกซีไมโอโกลบิน (oxymyoglobin) ที่มีสีแดงสว่าง หากได้รับอากาศเป็นระยะเวลานาน จะเกิดสีน้ำตาลของสารเมทไมโอโกลบิน (metmyoglobin) การเติมสารไนเตรท (NO_3) จะเปลี่ยนเป็นสารไนไตรท์ (NO_2) และสารไนตริกออกไซด์ (NO) ซึ่งสารไนตริกออกไซด์ จะทำปฏิกิริยากับสารไมโอโกลบินเปลี่ยนเป็นสารไนโตรซิลฮีโมโครม (Nitrosylhemochrome) ที่มีสีแดงคงทนในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (เยาวลักษณ์, 2536) การเติมสารประกอบไนเตรทและไนไตรท์ ในปริมาณที่มากอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค เนื่องจากสารกลุ่มเอมีน (amine) ในเนื้อสัตว์ทำปฏิกิริยากับสารประกอบไนไตรท์ทำให้เกิดเป็นสารประกอบสารไนโตรซามีน (nitrosamine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้ จึงไม่เหมาะสมกับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ ในปัจจุบันที่นิยมอาหารจากแหล่งธรรมชาติ ดังนั้นจึงได้ศึกษาความเป็นไปได้ ในการใช้สารประกอบไนเตรทและไนไตรท์จากแหล่งธรรมชาติเติมลงไปในแฮม

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พลาสติกเป็นนวัตกรรมที่เกิดจากการประยุกต์ใช้กระแสไฟฟ้าแรงดันสูงในด้านอาหารและ อื่น ๆ เช่น การชะลอการเน่าเสียของผักและผลไม้ การยืดอายุการเก็บรักษาขนมปัง หรืออาหารแปรรูป การเพิ่มประสิทธิภาพในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การบำบัดน้ำเสีย การเพิ่มประสิทธิภาพในเครื่องยนต์ เป็นต้น สำหรับการใช้พลาสติกในผลิตภัณฑ์ เนื้อสัตว์นิยมใช้เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและทำให้อาหารเน่าเสีย จากรายงานวิจัย ก่อนหน้านี้ Huang M. et al. (2019) ศึกษาการใช้พลาสติกแบบ DBD 85 kV 60 วินาที กับเนื้อหมูสดซึ่งบรรจุแบบดัดแปรบรรยากาศ (modified atmospheric atmosphere packaging, MAP) ของก๊าซผสมระหว่างก๊าซออกซิเจนกับก๊าซไนโตรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์

(60:20:20) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันที่ 4 และวันที่ 8 มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลง และมีค่า TBARS และปริมาณสารคาร์บอนิล (carbonyl) สูงในวันที่ 8 และวันที่ 12 ส่วน Wang X. et al. (2021) ศึกษาการใช้พลาสมาแบบ DBD ในเนื้อวัวบดละเอียดที่เก็บรักษาในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แรงดันไฟฟ้ามีผลต่อคุณภาพเนื้อวัวบดมากกว่าค่าความถี่ ซึ่งค่าสีแดง (a*) มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า metmyoglobin reducing activity (MRA) และค่า a* มีความสัมพันธ์เชิงลบกับสาร metmyoglobin และค่า TBARS การใช้พลาสมาจึงมีผลต่อ สีแดงของเนื้อ ปริมาณ Mb (Myoglobin) MRA และการออกซิเดชันของเนื้อระหว่างการรักษาอย่างมีนัยสำคัญ และเร่งการเปลี่ยนสีและการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อสัตว์ และ Abdel-Naeem H.H. et al. (2022) ศึกษาการใช้พลาสมาแบบ DBD 20 kV กับเนื้ออกไก่ในสภาวะที่มีก๊าซออกซิเจน และก๊าซอาร์กอนที่ระยะเวลา 3 และ 5 นาที ทุกตัวอย่างทดลองมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลง การใช้พลาสมาในทุกตัวอย่างช่วยปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสยกเว้นลักษณะปรากฏและสีของตัวอย่างในสภาวะที่มีก๊าซออกซิเจน การใช้ก๊าซอาร์กอนร่วมกับพลาสมาช่วยเนื้อมากกว่าการใช้ก๊าซออกซิเจนร่วมกับพลาสมา

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการใช้พลาสมาในผลิตภัณฑ์หม่อมเพื่อใช้เป็นแนวทางในการใช้สารไนโตรเจนจากพลาสมาเป็นแหล่งธรรมชาติ การสร้างพลาสมาทำให้เกิดการออกซิไดซ์โมเลกุลของออกซิเจนและไนโตรเจนในอากาศเกิดกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ เช่น NO, NO₂, N₂O₄ และ N₂O₃ เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้เกิดกรดไนตริก (nitric acid) และกรดไนตริก (nitrous acid) สารประกอบไนโตรเจนเมื่อสลายตัวเป็นสารประกอบไนตริกออกไซด์ จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบไมโอโกลบิน (myoglobin) ให้เกิดสีแดงที่คงทนของสารประกอบไนโตรซิลไมโอโครโมเจน (nitrosylmyochromogen) Luo et al. (2019) ดังสมการ



สารไนโตรริกออกไซด์ (NO) จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบไนโตรซิลโมโอโครโมเจน (nitrosylmyochromogen) ทำให้เนื้อสัตว์เกิดสีแดงที่คงทน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

1) วัตถุดิบและสารเคมี

- วัตถุดิบสำหรับทำผลิตภัณฑ์แฮม ได้แก่ เนื้อหมูสันนอก หนังหมู กระเทียมป่น น้ำตาล ผงชูรส ข้าวเจ้าสุก โซเดียมอีริทอร์เบท โซเดียมคลอไรด์

- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์สารไนโตรท์ ได้แก่ กรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 15 สารซัลฟานิลาไมด์ (Sulfanilamide) สารประกอบเบนวันเนฟทิล เอทิลีน ไดไฮโดรคลอไรด์ $\{(N-(1 \text{ naphthyl})\text{-Ethylenediamine dihydrochloride})\}$ สารมาตรฐานโซเดียมไนไตรท์ สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) สารละลายแป้งความเข้มข้นร้อยละ 1 สารละลายอิมิตัวโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) สารคลอโรฟอร์ม

- อาหารเลี้ยงเชื้อ PCA (Plate Count Agar : HiMedia Laboratories, India) อาหารเลี้ยงเชื้อ MRS Agar (Lactobacillus MRS Broth : HiMedia Laboratories, India)

2) วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ ได้แก่

- เครื่องกำเนิดพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ (dielectric barrier discharge, DBD) มีลักษณะเป็นกล่องกระจกสี เหล็กมกกว้างคูณยาวขนาด 40 x 30 เซนติเมตรครอบอุปกรณ์ภายใน ภายในประกอบด้วยแผ่นอิเล็กโทรดขนาด 15x20 ซม. เป็นแหล่งปลดปล่อยพลาสมา

- เครื่องวัดค่า pH (pH mater; METTLER TOLEDO รุ่น Five Easy)

- เครื่องวัดค่าสี (Color meter, Hunter Lab; Color Quest XE, U.S.A)

- หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave; STURDY SA-300H, Taiwan)

- ตู้บ่มเพาะเชื้อ (incubator; BINDER REDLINE Model RE 53 (230V), Germany)

- ตู้เขี่ยเชื้อ (laminar flow; Bosstech Thailand model no HVRT 120 S)

- ตู้อบ (hot air oven; Memmert UF 30 115 VOLT, Germany)

- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath; Schtartz DIN 40050-IP 20)

- ไมโครเวฟ (microwave; LG model MS 2127 CW, Thailand)

- เครื่องเขย่าหลอด (vortex mixer, GENIE 2; Scientific Industries)

3) การเตรียมเนื้อหมู ล้างเนื้อหมูสันนอกด้วยน้ำสะอาด แล้เอาเฉพาะเนื้อแดงโดยแยก ฟังผัดและไขมันออก จากนั้นหั่นเนื้อหมูเป็นชิ้นเล็ก และบดเนื้อหมูให้ละเอียดนานประมาณ 5±1 นาที นำเนื้อหมือบดประมาณ 40 กรัมต่อสิ่งทดลอง เกลี่ยแบนหนาประมาณ 0.5-0.8

ชม.บนแผ่นกระจก และวางแผ่นอิเล็กโทรดบนชั้นห่างจากแผ่นกระจกตลอดเชื้อ ที่มีวัตถุประสงค์ประมาณ 1 นิ้วเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผ่านให้พลาสมา แต่สิ่งทดลองใช้กำลังไฟฟ้าขนาด 15 kV ระยะเวลา 40, 50 และ 60 นาที ในสภาวะบรรยากาศ (air plasma) ทำ 3 ซ้ำการทดลอง

4) การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเนื้อหุบุดที่ผ่านพลาสมา โดยได้เตรียมหาปริมาณกรดแล็กติก วัดความเป็นกรด-ด่างด้วย วัดค่าสี L^* , a^* และ b^* และหาปริมาณไนโตรเจน ด้วยวิธี AOAC (1990) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design ; CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range (DMRT) ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแล็กติก ด้วยวิธี AOAC (2000)

5) การผลิตแทนมจากเนื้อหุบุดโดยใช้พลาสมา เริ่มจากการเตรียมส่วนผสมหมักหมกกระเทียมป่น น้ำตาล ผงชูรส ข้าวเจ้าสุก และโซเดียมอิริทอร์เบท ร้อยละ 35, 8, 1, 0.3, 8 และ 0.5 ของน้ำหนักเนื้อหุบุดตามลำดับ ล้างเนื้อหุบุดด้วยน้ำสะอาด แล้วเอาเฉพาะเนื้อแดง หั่นเป็นชิ้นและบดหยาบ แบ่งออกเป็น 2 สิ่งทดลอง ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 1 ตัวอย่างควบคุมเนื้อหุบุดที่ไม่ผ่านพลาสมา เติมเกลือไนโตรเจน ร้อยละ 2.2 เปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่ 2 เนื้อหุบุดที่ผ่านพลาสมาในสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 1 เติมเกลือสินเธาว์ป่นร้อยละ 2.2 แทนการเติมเกลือไนโตรเจน นวดผสมส่วนผสมทั้งหมดจนเหนียว แต่สิ่งทดลองบรรจุในถุงพลาสติกชนิดร้อนขนาด 4x6 นิ้ว ในปริมาณ 8 ± 1 กรัม และมัดให้แน่น บ่มที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 5 องศาเซลเซียส)

6) การวิเคราะห์คุณภาพ ทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ ผลิตภัณฑ์แทนมระหว่างกระบวนการหมักที่ระยะเวลา 0, 12, 24, 36, 48, 60 และ 72 ชั่วโมง ได้แก่ วัดค่าสี L^* , a^* และ b^* และหาปริมาณไนโตรเจน ด้วยวิธี AOAC (1990) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range (DMRT) ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแล็กติก

7) การศึกษาลักษณะความชอบ ทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แทนม ทางด้านลักษณะ = ปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ด้วยวิธี 9 Point Hedonic Scale หลัง 72 ชั่วโมง โดยใช้ผู้ทดสอบชิมระดับห้องปฏิบัติการจำนวน 50 คน วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design; RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range (DMRT) ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4. ผลการวิจัย

1) ผลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเนื้อหมูปอดที่ผ่านพลาสติก

จากตารางที่ 1 ค่า pH ของตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผ่านกระบวนการพลาสติกไม่แตกต่างกับเนื้อหมูปอดที่ผ่านกระบวนการให้พลาสติกที่ระยะเวลา 40 และ 50 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื้อหมูปอดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสติกที่ระยะเวลา 60 นาที มีค่า pH 5.86 มากกว่าทุกตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากที่ระยะเวลาที่นานจุลินทรีย์สามารถสร้างสารประกอบอินทรีย์จึงทำให้ค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณกรดแล็กติกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยปริมาณกรดแล็กติกอยู่ในช่วงร้อยละ 0.12-0.15 สำหรับค่า pH ของทุกตัวอย่างอยู่ในช่วง 5.66-5.86 เป็นไปตามมาตรฐานของ มกอช. 2547 (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2547) ที่กำหนดให้เนื้อหมูที่มีคุณภาพมีค่าความ pH ไม่ต่ำกว่า 5.7 หลังฆ่า 1 ชั่วโมง หรือ มีความเป็นกรด-ด่าง ไม่เกิน 6.2 หลังฆ่า 24 ชั่วโมง วัตถุประสงค์เนื้อสัตว์ในการทดลองนี้ถือว่าปริมาณกรดแล็กติกสูง เนื่องจากเนื้อสัตว์ที่มีค่า pH อยู่ในช่วง 5.3-5.6 ภายหลังจากถูกฆ่าจะทำให้กล้ามเนื้อเกร็งตัวมากทำให้กลายเป็นกล้ามเนื้อพีเอชอี (Pale soft exudative, PSE) (เขาวลักษณะ, 2536) สำหรับค่าความสว่างทุกตัวอย่างทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนค่าสีแดง (a^*) ของตัวอย่างทดลองที่ใช้พลาสติกน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และค่าสีเหลือง (b^*) ของตัวอย่างควบคุมและใช้พลาสติก 50 นาที มีค่ามากที่สุดซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของตัวอย่างควบคุม ($6.51 \pm 0.57 \log \text{CFU/g}$) และเนื้อหมูปอดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสติกลดลงตามระยะเวลาที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสติก ($4.12-4.57 \log \text{CFU/g}$) ตามมาตรฐาน มกอช. 2547 กำหนดคุณภาพเนื้อสุกรมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 5×10^5 โคโลนี ต่อตัวอย่าง 1 กรัม ($5.69 \log \text{CFU/g}$) ในการทดลองนี้วัตถุประสงค์เนื้อหมูตัวอย่างควบคุมมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐานเล็กน้อยโดยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่นรสในวัตถุประสงค์ สำหรับจำนวนจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแล็กติกของเนื้อหมูปอดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสติกที่ระยะเวลา 60 นาที ($3.96 \log \text{CFU/g}$) มีปริมาณลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแล็กติกของเนื้อหมูปอดของตัวอย่างควบคุม ($4.07 \log \text{CFU/g}$)

จากการทดลองเนื้อหมูปอดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสติกที่ระยะเวลา 60 นาที เหมาะสมที่จะนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไปเนื่องจากมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแล็กติกลดลง

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ของเนื้อหมูบดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสมาที่ระยะเวลาต่างกัน

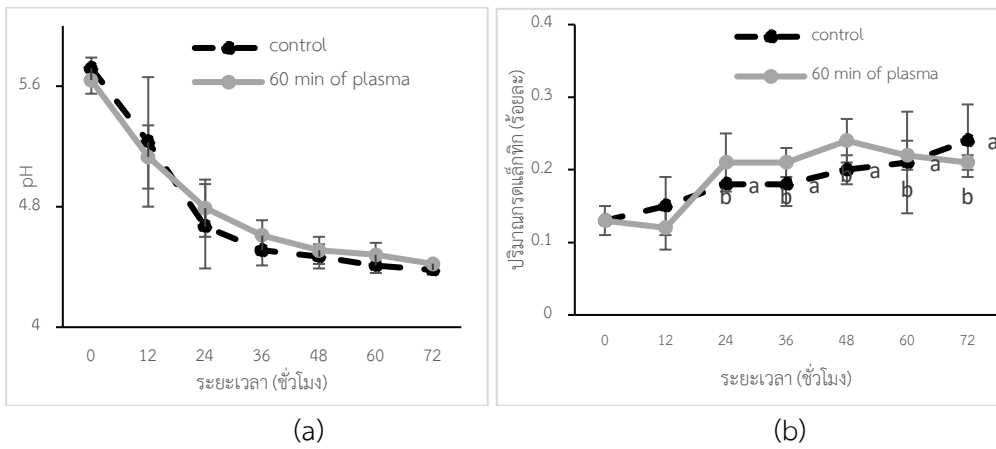
สมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์	ตัวอย่างควบคุม	พลาสมา 15 kV		
		40 นาที	50 นาที	60 นาที
ค่า pH	5.71 ^b ± 0.10	5.66 ^b ± 0.01	5.66 ^b ± 0.08	5.86 ^a ± 0.12
กรดแล็กติก (ร้อยละ) ^{ns}	0.12 ± 0.03	0.12 ± 0.06	0.12 ± 0.04	0.15 ± 0.04
ค่าความสว่าง (L*) ^{ns}	60.37 ± 3.27	59.76 ± 1.07	60.73 ± 2.31	59.07 ± 3.53
ค่าสีแดง (a*)	5.45 ^a ± 0.96	3.53 ^b ± 0.63	3.66 ^b ± 1.02	3.87 ^b ± 0.27
ค่าสีเหลือง (b*)	15.96 ^{ab} ± 0.32	15.75 ^{bc} ± 0.45	16.14 ^a ± 0.56	15.55 ^c ± 0.67
จุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)	6.51 ± 0.57	4.57 ± 0.05	4.29 ± 0.89	4.12 ± 0.25
จุลินทรีย์ที่สร้างกรดแล็กติก (log CFU/g)	4.07 ± 0.65	4.06 ± 0.62	4.10 ± 0.63	3.96 ± 0.55

หมายเหตุ ^{ns} ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

^{a, b, c, ...} ค่าเฉลี่ยของอักษรในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

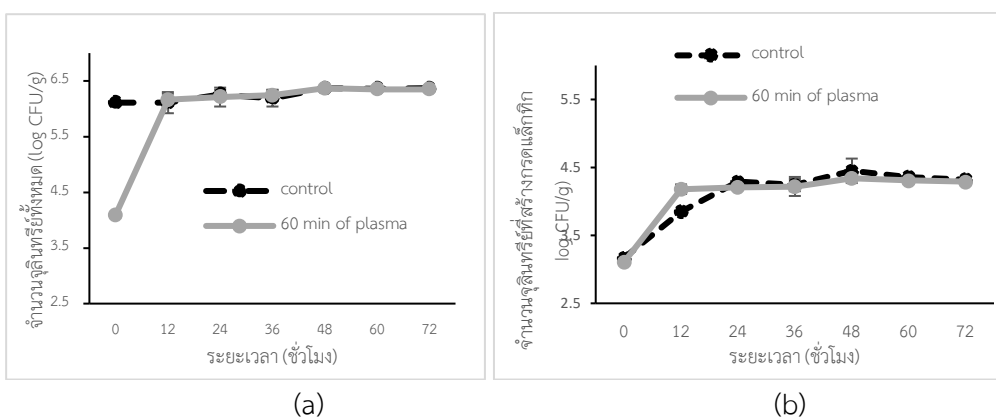
2) ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ ผลิตภัณฑ์แฮมระหว่างกระบวนการหมัก

จากรูปที่ 1 (a) แฮมมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ที่ลดลงทั้งหมดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ตัวอย่างควบคุมที่ 72 ชั่วโมงมีค่า pH 4.38 ส่วนแฮมที่ผ่านกระบวนการให้พลาสมาที่ระยะเวลา 60 นาที ที่ 72 ชั่วโมงมีค่า pH 4.42 สอดคล้องกับ มอก. (2547) เรื่อง แฮม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) กำหนดให้ผลิตภัณฑ์แฮมสุดท้ายต้องมีค่า pH ไม่เกิน 4.5 จากรูปที่ 1 (b) ปริมาณกรดแล็กติกของตัวอย่างแฮมควบคุม และแฮมที่ผ่านพลาสมาบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรดแล็กติกต่ำอยู่ในช่วง 0.12-0.24 แฮมสุดควบคุมมีปริมาณกรดแล็กติกสูงที่สุดเมื่อหมักถึง 72 ชั่วโมง (3 วัน) ปริมาณกรดแล็กติกที่เวลา 0-12 ชั่วโมงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ระยะเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณกรดแล็กติกเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลา 24-72 ชั่วโมง (p≤0.05) ปริมาณกรดแล็กติกที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแล็กติกเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (a) และปริมาณกรดแล็กติก (b) ของแฮมที่ใช้เนื้อหมูบดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสมา

จากรูปที่ 2 (a) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในแฮมที่ใช้เนื้อหมูบดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสมาที่ระยะเวลา 60 นาทีน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมในช่วงการหมักที่ 0-12 ชั่วโมง โดยจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มสูงขึ้นใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมในช่วง 24-72 ชั่วโมง ส่วนแฮมที่ใช้เนื้อหมูบดผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสมาที่ระยะเวลา 60 นาที (รูปที่ 2 (b)) มีปริมาณจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างกรดแล็กติกน้อยกว่าแฮมที่ใช้เนื้อหมูบดที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสมา



รูปที่ 2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (a) และจำนวนจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแล็กติก (b) ของแฮมที่ใช้เนื้อหมูบดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสมา

แหนมที่ใช้เนื้อหมูบดที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสติกและเติมเกลือไนไตรท์และแหนมที่ใช้เนื้อหมูบดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสติก 60 นาที มีปริมาณโซเดียมไนไตรท์เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการหมักแหนมเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยปริมาณโซเดียมไนไตรท์ไม่เกิน 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามมาตรฐานของแหนม มอก. 2547

ตารางที่ 2 ค่าสี ปริมาณโซเดียมไนไตรท์ และคะแนนความชอบของแหนมที่ใช้เนื้อหมูบดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสติก

สิ่งทดลอง	ค่าสี		ปริมาณโซเดียมไนไตรท์ (mg/kg)		
	L*	a*	b*	0 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง
1	54.15 ^{ns} ± 3.28	9.89 ^{ns} ± 2.17	17.34 ^{ns} ± 4.77	14.58 ^b ± 0.99	28.50 ^a ± 5.20
2	51.61 ± 6.31	9.04 ± 1.41	18.78 ± 2.72	18.53 ^b ± 2.39	33.07 ^a ± 0.52

หมายเหตุ ^{ns} ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

^{a, b, c, ...} ค่าเฉลี่ยของอักษรในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

สิ่งทดลองที่ 1 แหนมตัวอย่างควบคุมหมักที่อุณหภูมิห้อง และเติมเกลือไนไตรท์ร้อยละ 2.2

สิ่งทดลองที่ 2 แหนมที่ใช้เนื้อหมูบดที่ผ่านกระบวนการให้พลาสติก 60 นาที

และเติมเกลือสินเธาว์ปนร้อยละ 2.2

3) ผลการศึกษาลักษณะความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แหนม

จากตารางที่ 2 ค่าสี L* a* และ b* ของแหนมทุกตัวอย่าง และลักษณะความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แหนมทุกตัวอย่างทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) จากรายงาน Deesanam et al. (2019) ผลิตภัณฑ์แหนมที่เตรียมจากเนื้อหมูบดที่ใช้พลาสติกแรงดันไฟฟ้า 15 kV 10 นาที และหมักในสภาวะอุณหภูมิ 30 และ 35 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี ความแน่นเนื้อ กลิ่นรส รสชาติ รสเปรี้ยว และความชอบรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ส่วนการศึกษาของ Yong et al. (2019) ในการใช้พลาสติกกับผลิตภัณฑ์เนื้อ Jerky มีผลทำให้การยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้านรสชาติ กลิ่น และความชอบลดลง

5. สรุปและอภิปรายผล

การใช้พลาสมาด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดีสชาร์จ (DBD) ขนาด 15 kV ในเนื้อหมูปดที่ระยะเวลา 40-60 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในเนื้อหมูปดโดยมีค่า pH และปริมาณโซเดียมไนไตรท์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์แทนมที่ใช้เนื้อหมูปดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยพลาสมา 60 นาที มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแล็กติกก็น้อยกว่าตัวอย่างควบคุม มีปริมาณโซเดียมไนไตรท์และการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยตามแผนบูรณาการงานวิจัยและนวัตกรรมของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล และผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน

7. เอกสารอ้างอิง

- เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศธิษฐ์. (2536). เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร. 175 น.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2547). เนื้อสุกร. *มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช. 6000-2547*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). แหนม. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 1219-2547* กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- Abdel-Naeem H.H., Ebaid E.M., Khalel K.H., Imre K., Morar A., Herman V. and EL-Nawawi F.(2022). Effect of in-package high voltage dielectric barrier discharge on microbiological, color and oxidation properties of pork in modified atmosphere packaging during storage. *LWT - Food Science and Technology*, 165: 113739.
- AOAC, *Official Methods of Analysis*. 15th The association of Analytical Chemists. Washing D, C, (1990). AOAC, *Official Methods of Analysis*. 17th The association of Analytical Chemists. Washing D, C, (2000), 1008 p.

- Deesanam N., Chomsri N., Dechthummarong C. and Thonglek V. (2019). Effect of Fermentation Temperatures on Quality of Naem Made from Raw Materials Treated with Plasma. *International Journal of Plasma Environmental Science & Technology*, 12(2). 59-63.
- Huang M., Wang J., Zhuang H., Yan W., Zhao J. and Zhang J. (2019). Effect of in-package high voltage dielectric barrier discharge on microbiological, color and oxidation properties of pork in modified atmosphere packaging during storage. *Meat Science*, 149: 107-113.
- Luo, Ji., Yan W., Nasiru M. M., Zhuang H., Zhou G. and Zhang J. (2019). Evaluation of physicochemical properties and volatile compounds of Chinese dried pork loin curing with plasma-treated water brine. *Scientific reports*, 9:13793 | <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50351-5>.
- Wang X., Wang Z., Zhuang H, Muhammad Nasiru M.M., Yuan Y., Zhang J., Yan W. (2021). Changes in color, myoglobin, and lipid oxidation in beef patties treated by dielectric barrier discharge cold plasma during storage. *Meat Science*, 176: 108456.
- Yong, H.l., Lee, S. H., Kim, S. Y., Park, S., Park, J., Choe, W., and Jo, C. (2019). Color development, physiochemical properties, and microbiological safety of pork jerky processed with atmospheric pressure plasma. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 53: 78-84.

ผลของแคลเซียมคาร์ไบด์ ต่อการพัฒนาช่อดอกของว่านแสงอาทิตย์

รุ่งนภา ช่างเจรจา^{1*} สันติ ช่างเจรจา¹

¹ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
202 หมู่ 17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง

E-mail:changjeraja@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 08-3203-4040

บทคัดย่อ

ผลของแคลเซียมคาร์ไบด์ ต่อการพัฒนาช่อดอกของว่านแสงอาทิตย์ ศึกษาในช่วงเดือน มีนาคม-มิถุนายน 2565 ณ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) มี 5 กรรมวิธีๆ ละ 10 ซ้ำ โดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ ที่ระดับ 0, 100, 200, 300 และ 400 กรัมต่อหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ 10 หัว บ่มนาน 48 ชั่วโมง พบว่า หัวพันธุ์ที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์มีการงอกของช่อดอกเร็วกว่าหัวพันธุ์ที่ไม่ได้บ่ม หัวพันธุ์ที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 400 กรัมต่อหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ 10 หัว มีจำนวนดอกต่อช่อ มากที่สุด หัวพันธุ์ที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 100 กรัมต่อหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ 10 หัว มีเส้นผ่าศูนย์กลางช่อดอกมากกว่า หัวพันธุ์ที่ไม่ได้บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ และบ่มด้วย แคลเซียมคาร์ไบด์ 200 กรัม และ 400 กรัม หัวพันธุ์ที่ไม่ได้บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ และหัวพันธุ์ ที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 400 กรัมต่อหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ 10 หัว มีความยาวก้านช่อดอก มากกว่ากรรมวิธีอื่น ในด้านเส้นผ่าศูนย์กลางก้านช่อดอก พบว่าไม่มีความแตกต่าง ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ : แคลเซียมคาร์ไบด์ ว่านแสงอาทิตย์

Effect of Calcium Carbide on Inflorescence Development of Blood Lily (*Haemanthus Multifolus*)

Rungnapa Changjeraja ^{1*} Sunti Changjeraja ¹

¹Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang
202 Moo17 Tambon Pichai Amphoe Mueang, Lampang

E-mail:changjeraja@hotmail.com, 08-3203-4040

Abstract

The effect of calcium carbide on inflorescence development of the blood lily (*Haemanthus multifolus*) was studied at Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, during March to June 2022. The experimental design was Completely Randomized Design with 5 treatments, 10 replications, i.e. 0, 100, 200, 300 and 400 g per 10 bulbs of the blood lily, incubated for 48 hours. The result showed that the bulbs incubated with calcium carbide showed faster inflorescence than unincubated bulbs. The bulbs incubated with calcium carbide at 400 g per 10 bulbs of blood lily had the highest number of flowers per inflorescence. The bulbs incubated with calcium carbide 100 g per 10 bulbs had a greater inflorescence diameter than bulbs which were not incubated with calcium carbide and bulbs incubated with calcium carbide at 200 g and 400 g. The bulbs that were not incubated with calcium carbide and the bulbs incubated with calcium carbide at 400 g per 10 cultivars had longer flower stalks than other treatments, while the diameter of the peduncle found that there was no statistically significant difference.

Keywords: calcium carbide, blood lily, *Haemanthus multifolus*

1. บทนำ

ว่านแสงอาทิตย์ (*Haemanthus spp.*) ชื่อสามัญ blood lily หรือ paint brush มีหัวแบบ tunicate bulb (Bruggerman, 1962) มีลักษณะกลม ประกอบด้วยฐานหัวซึ่งเป็นลำต้นแปรรูป มีสีขาวถึงสีน้ำตาลอ่อน ซ้อนกันถี่ ลำต้นส่วนที่เหนือฐานหัวขึ้นมาเป็นลำต้นปกติ (Bailey, 1961) ใบมีขนาดใหญ่ ยาว 12-15 นิ้ว กว้างประมาณ 3 นิ้ว เส้นกลางใบขนาดใหญ่ มีเส้นใบแขนงขนาดเล็ก ขอบใบมีไขเคลือบเป็นมัน (Gail, 1973) ช่อดอกเจริญเติบโตออกมาจากหัวที่อยู่ใต้ดิน ก้านช่อดอกกลมหรือมีรูปร่างสามเหลี่ยม เรียวจากโคนไปหาปลาย มีลักษณะอวบ แข็งแรง โคนก้านช่อดอกมีสีขาวจุดสีแดงกระจาย ส่วนกลางและปลายมีสีเขียวอ่อนถึงแก่ช่อดอกเป็นแบบ umbel มีลักษณะกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง ช่อดอก 10-15 เซนติเมตร ประกอบด้วยดอกย่อย 115 ดอก ดอกย่อยบานจากด้านนอกของช่อดอกเข้าไปด้านใน ช่อดอกบานอยู่กับต้นนาน 2 สัปดาห์ (Eliovson and Reed, 1968)

แคลเซียมคาร์ไบด์เป็นสารเคมีชนิดหนึ่ง มีสูตรเคมีคือ CaC_2 มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวหรือหากมีสิ่งเจือปนก็จะมีสีเทาหรือน้ำตาลอ่อน แคลเซียมคาร์ไบด์ผลิตขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างหินปูน กับถ่านโค้ก ภายในเตาอาร์คที่อุณหภูมิ 2200 องศาเซลเซียส เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซอะเซทิลีน (Acetylene, C_2H_2) ซึ่งก๊าซอะเซทิลีนนั้นเป็นก๊าซที่ติดไฟให้ความร้อนและแสงสว่างมาก จึงถูกนำไปใช้งานหลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมเชื่อมโลหะ ใช้เป็นตะเกียงส่องสว่างในเหมืองใต้ รวมถึงใช้ในการผลิตพลู (ภัณฑิลา, 2557) แคลเซียมคาร์ไบด์จะปลดปล่อยแก๊สอะเซทิลีน ซึ่งมีสมบัติเร่งการสุกของผลไม้คล้ายกับ เอทิลีน (อภิตา, 2556) โดยทั่วไปนิยมใช้ถ่านแก๊สหรือแคลเซียมคาร์ไบด์ในการเร่งการสุกของผลไม้ อัตราส่วน 10 กรัม ต่อผลไม้ 3-5 กิโลกรัม ซึ่งแคลเซียมคาร์ไบด์จะทำปฏิกิริยากับถ่านแก๊สได้เป็นแก๊สอะเซทิลีน ซึ่งมีสมบัติเร่งการสุกของผลไม้ได้ คล้ายกับเอทิลีนที่ช่วยเร่งให้ผลไม้สุกเร็วขึ้น (อภิตา, 2556) เอทิลีน จัดเป็นฮอร์โมนพืชที่มีผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ในพืชรวมทั้งการสุกของผลไม้ การกระตุ้นให้เกิดดอก การสูญเสียคลอโรฟิลล์ การหลุดร่วงของใบ การหุบของใบ ความผิดปกติทางสรีรวิทยา การแตกหน่อ การเกิดน้ำตาล (browning) (วัฒนา และสมโภชน์, 2563) ในการผลิตสับปะรด มีการใช้สารเอทิลีนเพื่อชักนำการออกดอกสับปะรด (จินดารัฐ, 2541) กระตุ้นการเสื่อมชรา โดยพบว่าทำให้เอทิลีน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร แก่สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียหลังบังคับการออกดอก 18 สัปดาห์ ทำให้สับปะรดสามารถเก็บเกี่ยวได้เร็วขึ้นประมาณ 7 วัน (สุพจน์, 2550) และการให้เอทิลีนความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรก่อนการเก็บเกี่ยว สามารถเร่งให้เปลือกผลสับปะรดมีสีเหลืองเร็วขึ้น และสีเนื้อเหลืองมากกว่าสับปะรดที่ไม่ได้รับเอทิลีน (ณัฐกานต์, 2556) ว่านแสงอาทิตย์เป็นไม้ดอกประเภทหัว ที่มีอัตราการงอกไม่พร้อมกันเนื่องจากปัจจัยภายในหัวพันธุ์

การใช้แคลเซียมคาร์ไบด์บ่มหัวพันธุ์เป็นวิธีการหนึ่งที่จะกระตุ้นการงอกให้พร้อมกันแต่เนื่องจากยังไม่มียานวิจัยที่สามารถบอกความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกระตุ้นการออกดอกที่เหมาะสมและมีอัตราการงอกที่สม่ำเสมอ โดยไม่มีผลกระทบต่อพัฒนาของช่อดอกว่านแสงอาทิตย์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแคลเซียมคาร์ไบด์ ต่อการพัฒนาช่อดอกว่านแสงอาทิตย์

2. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ว่านแสงอาทิตย์ใช้มากในงานจัดสวนสามารถปลูกได้ดีในกระถาง มีศักยภาพในการใช้เป็นไม้ตัดดอกได้ดี ว่านแสงอาทิตย์เป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นและให้ดอกในช่วงฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงที่มีการใช้ประโยชน์จากไม้ดอกน้อย ทำให้การผลิตดอกเป็นการค้าไม่เป็นที่นิยม ส่วนในช่วงฤดูหนาว ซึ่งตลาดมีความต้องการไม้ดอกค่อนข้างมาก แต่ไม้ดอกของไทยมักไม่มีจำหน่ายเนื่องจากไม่ใช่ฤดูการออกดอก ดังนั้นการวิจัยเพื่อหาแนวทางในการกระตุ้นการออกดอกนอกฤดู จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มแนวทางการผลิตไม้ดอกเป็นการค้า ซึ่ง โสระยา และคณะ, (2554) ได้มีการศึกษาการกระตุ้นการงอกของหัวพันธุ์ปทุมมาและกระเจียว โดยการบ่มหัวพันธุ์ปทุมมาและกระเจียว โดยทดลองใช้ ปริมาณของสารแคลเซียมคาร์ไบด์ 2 ระดับ คือ 200 และ 400 กรัม และระยะเวลาการรมแคลเซียมคาร์ไบด์ 3 ระยะ คือ 1 2 และ 4 สัปดาห์ พบว่า หลังจากปลูกปทุมมาปลูก 5 เดือน หัวปทุมมาพันธุ์เชียงใหม่พิงค์ที่มีการบ่มด้วยสารแคลเซียมคาร์ไบด์ 200 กรัม ต่อ 150 หัว นาน 1 สัปดาห์ และการไม่บ่มหัวพันธุ์ มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่าการบ่มหัวพันธุ์ด้วยวิธีการอื่น การได้รับแคลเซียมคาร์ไบด์ 200 กรัม นาน 1 สัปดาห์ทำให้หัวพันธุ์ ของปทุมมางอกเร็วที่สุด ตั้งแต่เดือนที่ 2 โดยมีการงอกของหัวพันธุ์ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกระเจียวพันธุ์ Golden Reign พบว่ากรรมวิธีที่ให้หัวพันธุ์งอกเร็วและมากที่สุด คือ การได้รับ 200 กรัม บ่มเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ที่ให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุดตั้งแต่เดือนแรก เมื่อเทียบกับ กรรมวิธีอื่นๆ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาในช่วงเดือนมีนาคม-มิถุนายน 2565 ณ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) มี 5 กรรมวิธีๆ ละ 10 ซ้ำ โดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ที่ระดับ 0, 100, 200, 300 และ 400 กรัมต่อหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ 10 หัว โดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ชนิดก้อน บ่มหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ในถุงพลาสติกปิดสนิท 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นปลูกว่านแสงอาทิตย์ลงในกระถางพลาสติก ขนาด 10 นิ้ว ใช้ดินผสม (ดิน+แกลบดิบ+ขี้เถ้าแกลบ อัตรา 2:1:2)

การบันทึกผลการทดลอง ได้แก่ จำนวนวันที่ใช้ในการออกดอกโดยนับตั้งแต่วันที่ ปลูกจนถึงวันที่ ดอกย่อยดอกแรกบาน จำนวนดอกต่อช่อ ขนาดช่อดอก ความยาวก้านช่อดอก เส้นผ่านศูนย์กลาง ก้านช่อดอก

4. ผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของแคลเซียมคาร์ไบด์ ต่อการพัฒนาช่อดอกว่านแสงอาทิตย์ โดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ที่ระดับ 0, 100, 200, 300 และ 400 กรัมต่อหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ 10 หัว บ่มนาน 48 ชั่วโมง พบว่าหัวพันธุ์ที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์มีการงอกของช่อดอก (เฉลี่ย 32.83-34.83 วันหลังปลูก) เร็วกว่าหัวพันธุ์ที่ไม่ได้บ่ม (เฉลี่ย 40.83 วันหลังปลูก) หัวพันธุ์ที่ บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 400 กรัมต่อหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ 10 หัว มีจำนวนดอกต่อช่อมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 181.83 ดอกต่อช่อ หัวพันธุ์ที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 100 กรัมต่อหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ 10 หัว มีเส้นผ่าศูนย์กลางช่อดอกมากกว่า หัวพันธุ์ที่ไม่ได้ บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ โดยมีค่าเฉลี่ย 11.21 เซนติเมตร ส่วนความยาวก้านช่อดอก หัวพันธุ์ที่ไม่ได้บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ และหัวพันธุ์ที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 400 กรัมต่อหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ 10 หัว มีความยาวก้านช่อดอกมากกว่ากรรมวิธีอื่น แต่ในด้านเส้นผ่าศูนย์กลางก้านช่อดอก พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ดังตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คุณภาพช่อดอกว่านแสงอาทิตย์หลังผ่านการบ่มโดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ในระดับความเข้มข้น แตกต่างกัน

ความเข้มข้น ของแคลเซียม คาร์ไบด์ (กรัม)	จำนวนวันที่ ใช้ในการออก ดอก (วัน)	จำนวนดอก ต่อช่อ (ดอก)	เส้นผ่าศูนย์กลาง ช่อดอก (เซนติเมตร)	เส้นผ่าศูนย์กลาง ก้านช่อดอก (เซนติเมตร)	ความยาว ก้านช่อดอก (เซนติเมตร)
0	40.83a	153.50bc	8.11d	1.25	22.08a
100	33.50b	119.33d	11.21a	0.95	14.31bc
200	32.83b	138.00c	9.75bc	1.09	10.46c
300	34.17b	159.00b	10.72ab	1.17	19.18ab
400	34.83b	181.83a	9.29cd	1.24	19.71a
F-test	*	*	*	ns	*
C.V.%	12.34	10.25	10.27	16.73	22.58

หมายเหตุ : ns - ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

: * มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.05$)

5. สรุปและอภิปรายผล

สรุป

การบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 100 กรัมต่อหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ 10 หัว ทำให้มีการพัฒนา ของช่อดอกเร็วกว่าหัวพันธุ์ที่ไม่ได้บ่ม โดยไม่มีผลต่อคุณภาพช่อดอก

อภิปรายผล

จากการศึกษาผลของแคลเซียมคาร์ไบด์ ต่อคุณภาพช่อดอกว่านแสงอาทิตย์ โดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ที่ระดับ 0, 100, 200, 300 และ 400 กรัมต่อหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ 10 หัว บ่มนาน 48 ชั่วโมง พบว่า หัวพันธุ์ที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์มีการพัฒนาของช่อดอก เร็วกว่าหัวพันธุ์ที่ไม่ได้บ่ม ส่วนความยาวก้านช่อดอก หัวพันธุ์ที่ไม่ได้บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ และหัวพันธุ์ที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 400 กรัมต่อหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ 10 หัว ในส่วนของหัวพันธุ์ที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 400 กรัมต่อหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ 10 หัว มีจำนวนดอกต่อช่อมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 181.83 ดอกต่อช่อ หัวพันธุ์ที่บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 100 กรัมต่อหัวพันธุ์ว่านแสงอาทิตย์ 10 หัว มีเส้นผ่าศูนย์กลางช่อดอกมากกว่า หัวพันธุ์ที่ไม่ได้บ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ โดยมีค่าเฉลี่ย 11.21 เซนติเมตรมีความยาวก้านช่อดอกมากกว่ากรรมวิธีอื่น แต่ในด้านเส้นผ่าศูนย์กลางก้านช่อดอก พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ สอดคล้องกับงานวิจัยของหัตถชัย, (2559) ที่พบว่า การรมแคลเซียมคาร์ไบด์ระดับความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถชักนำให้สับปะรดสี *Guzmania 'Amaranth'* และ *Guzmania 'Amaranth new'* ออกดอกได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ต้นที่ไม่ได้รับสารไม่มีการออกดอก และการชักนำสับปะรดสีด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ทุกระดับความเข้มข้น ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อการพัฒนาของช่อดอก และขนาดของช่อดอก ระยะเวลาเกิดตาดอก จำนวนวันดอกแรกและดอกสุดท้ายบาน เส้นผ่าศูนย์กลางของช่อดอกเมื่อดอกแรกและดอกสุดท้ายบาน และความยาวของช่อดอก เช่นเดียวกับการศึกษาผลของแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อการออกดอกและคุณภาพผลของสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี มีการชักนำให้เกิดดอกโดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์อัตรา 250 กรัมผสมน้ำ 20 ลิตร หยอดให้ต่อต้น ปริมาณ 80 มิลลิลิตร พบว่า ต้นที่มีการใช้สารละลายแคลเซียมคาร์ไบด์ มีการออกดอก 100 เปอร์เซ็นต์ และมีการพัฒนาของดอกเร็วที่สุด (ฉัตรชัย และศิริวรรณ, 2557) การศึกษาการรมหัวพันธุ์เพื่อกระตุ้นการงอกของปทุมมา ผลของการรมหัวพันธุ์ต่อการกระตุ้นการงอกของปทุมมาเชียงใหม่พิงค์ พบว่าการรมด้วยแก๊สอะเซทิลีนจากแคลเซียมคาร์ไบด์ 100 และ 200 กรัมต่อ 150 หัว นาน 2 สัปดาห์ ช่วยกระตุ้นการงอกของหัวพันธุ์ได้ไวกว่าหัวพันธุ์ที่ผ่านการรมควัน และกรรมวิธีควบคุมประมาณ 3 – 4 สัปดาห์ โดยพบว่าความเข้มข้นของ

คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างในหัวที่ผ่านการรมด้วยควัน และแก๊สอะเซทิลีนจาก แคลเซียมคาร์ไบด์มีปริมาณน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุม (โสระยาและคณะ, 2554)

6. เอกสารอ้างอิง

จินดารัฐ วีระวุฒิ. (2541). สับปะรดและสรีรวิทยาการเจริญเติบโตของสับปะรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 196 น.

ฉัตรชัย รัตนวิชัย และศิริวรรณ แดงน้ำ. (2557). การศึกษาผลของแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อการออกดอกและคุณภาพผลของสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี. แก่นเกษตร 42 (ฉบับพิเศษ3): 33-38.

ณัฐกานต์ พวงซ้อน. (2556). การใช้เอทิลฟอนเพื่อเร่งการพัฒนาสีผลสับปะรดปัตตาเวีย. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

ภักดีลา อุดร. (2557). การใช้สารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายเอทิลีนบ่มผลไม้. <http://biology.ipst.ac.th>.

วัฒนา อัจฉริยะโพธา และ สมโภชน์ น้อยจินดา. (2563). 1-methylcyclopropene (1-MCP) : สารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในผัก ผลไม้ และดอกไม้สด. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 วารสารวิจัยและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี; 1(1): 10-26.

สุพจน์ เชื้อกุลา. (2550). ผลของระยะเวลาการพ่นเอทิลฟอนต่อคุณภาพผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย และกิจกรรมของเอนไซม์ซูโครสฟอสเฟตซินเทส. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์/กรุงเทพฯ. DOI : [ps://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail? Resolve_Doi=10.14457/KU.the.2007.998](https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail? Resolve_Doi=10.14457/KU.the.2007.998)

โสระยา ร่วมรังษี ตฤณ สมานิตย์ ชูสุรัตน์ สีนธพ และชมัยพร อนุวงศ์. (2554). การรมหัวพันธุ์เพื่อกระตุ้นการงอกของปทุมมา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 42(3) (ฉบับพิเศษ1): 59-62.

หัตถ์ชัย กลีโอฟาร. (2559). การชักนำการออกดอกของ *Guzmania 2* สายพันธุ์โดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ 10(1): 78-86.

อภิธา บุญศิริ. (2556). การบ่ม. หน้า 125-158. ใน: รัชชัย รัตน์ขเลศ วิลาวลัย คำปวน และ ชีรนุช เจริญกิจ (บก.). มะม่วง-การผลิตและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา, กรุงเทพฯ. 836 หน้า

Bailey, L.H. (1961). *The Standard Cyclopedia of Horticulture*. Vol.1. The Macmillan Co., New York. 1,175 pp.

Bruggeman, L. (1962). *Tropical Plants and their Cultivation*. Thames and Hudson, London. 271 pp.

Eliovson S. and Reed A.W. (1968). *Bulbs for The gardener*. (pp143). A.H. & A. W. Reed, Wellington

Gail, K.W. (1973). *How to grow Bulbs*: Lane Publishing Co., California.

ผลของไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่อการงอก และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนถั่วลันเตา

ชิตี ศรีตันทิพย์^{1*} ช่อผกา วงศ์สอน¹ ปริญญาวัตติ ศรีตันทิพย์¹ และ วิษณุ ทองเล็ก²

¹ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.เมือง จ.ลำปาง 52000

² สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

*E-mail, Chiti@rmutl.ac.th เบอร์โทร 0813869954

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการแช่เมล็ดร่วมกับการใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่อการงอกของเมล็ด และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนถั่วลันเตา วางแผนการทดลองแบบ 2x4 แฟคทอเรียล โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัย A คือระยะเวลาการแช่ 12 และ 24 ชั่วโมง และปัจจัย B คือน้ำที่ผ่านการปั๊มด้วยเครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์ (MNBs) ที่ระยะเวลา 0, 5, 10 และ 15 นาที โดยนำเมล็ดถั่วลันเตามาแช่ในน้ำที่ผ่านการปั๊มด้วยเครื่อง MNBs ตามกรรมวิธีที่กำหนด จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์มาเพาะลงบนกระดาษเพาะ และวางไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิห้อง ผลการทดลองพบว่า การแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ถั่วลันเตามีความงอกเร็วขึ้น ทำให้อัตราการงอกของเมล็ดที่อายุ 7 วัน และการเจริญเติบโตของต้นอ่อน สูงกว่าการแช่เมล็ดระยะเวลา 12 ชั่วโมง และการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 - 15 นาที ทำให้ถั่วลันเตามีเวลาในการงอกเร็วขึ้น รวมถึงมีอัตราการงอก และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 นาที โดยการใช้ที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 10 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ช่วยลดเวลาในการงอก ทำให้อัตราการงอกเมล็ด ความสูงของต้นอ่อน ความยาวของใบ และการสะสมน้ำหนักสดของต้นอ่อนสูงกว่ากรรมวิธีอื่น

คำสำคัญ : ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ความงอก การเจริญเติบโต ต้นอ่อนถั่วลันเตา

Effect of Micro/Nano bubbles on the germination and Growth of Pea Sprouts

Chiti Sritontip^{1*}, Chorpaka Wongsorn¹,
Parinyawadee Sritontip¹ and Vishnu Thonglek²

¹ Agricultural Technology Research Institute,
Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang 52000

² Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang, Chiang Mai 50300

**E-mail, Chiti@rmutl.ac.th Telephone number 0813869954

Abstract

This study's goal was to examine how seed soaking duration and micro/nanobubbles (MNBs) application affected the emergence and development of pea sprouts. The experimental design was 2x4 factorial in CRD. Factor A was the seed soaking time at 12 and 24 hours, and factor B was the time to treat water through the MNBs generator at 4 periods of 0, 5, 10, and 15 minutes. The seed was to soak in water pumped with a MNBs machine according to each treatment. Then bring the seeds to germinate on top of the paper method and keep them in a temperature room. The results showed that a 24-hour seed soaking period produced a faster day to emergence, a higher seed germination rate at 7 days, and higher sprout growth in peas than a 12-hour seed soaking period. The use of MNBs with a generating period of 5–15 minutes resulted in the fastest day to emergence rate, an increased germination rate, and sprout growth. Moreover, using 10 minutes of water through the MNBs generator combined with a 24-hour seed soaking period reduced the number of days to emergence rate, enhanced the germination rate, increased sprout height and leaf length, and increased the accumulation of fresh weight in the sprouts compared to other treatments.

Keywords: Micro/Nano bubbles, Germination, Growth, Pea sprout

1. บทนำ

การผลิตพืชไมโครกรีน เป็นทางเลือกสำหรับผู้รักสุขภาพ ปลอดภัยจากสารเคมีที่เป็นพิษ มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ไมโครกรีนอุดมด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งช่วยลดสารพิษหรืออนุมูลอิสระ ระยะการบริโภคของพืชไมโครกรีน เป็นช่วงที่เพิ่งจะมีใบจริงคู่แรก ปัจจัยสำคัญของการเพาะต้นอ่อนคือปัญหาความงอก ซึ่งมีรายงานการใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ เพื่อกระตุ้นการงอกของเมล็ดในพืชหลายชนิด ทั้งยังช่วยส่งเสริมกิจกรรมทางสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิต และช่วยเพิ่มสารประกอบฟีนอลิก โดยไมโคร/นาโนบับเบิลส์เป็นวิธีการทำให้เกิดฟองก๊าซขนาดเล็กในวัสดุหรือสารตัวกลาง เช่น น้ำ ลักษณะของฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีขนาดตั้งแต่ 50 - 200 ไมโครเมตร ที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มจำนวนออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้นาน ลักษณะของฟองอากาศขนาดที่เล็กมากนี้ สามารถกระจายตัวในน้ำได้อย่างหนาแน่น (Oshita and Liu, 2013) ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เทคโนโลยีฟองอากาศขนาดไมโคร/นาโนบับเบิลส์ในการกระตุ้นการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตของต้นกล้า และสารประกอบฟีนอลิกของต้นอ่อนถั่วลันเตา

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ต้นอ่อนถั่วลันเตา (ถั่วเหมียว) เป็นหนึ่งในผักไมโครกรีนที่ได้รับความนิยมในกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพ เนื่องจากมีสารอาหารที่มีประโยชน์ และมีสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งมีหน้าที่ยับยั้งการสร้างและกำจัดอนุมูลอิสระต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคได้ ซึ่งจากการศึกษาของกรรณิกา บุญพาธรรม และดนุพง เกษไธสง (2560) ที่ทำการการประเมินผลผลิตและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผักไมโครกรีน 13 ชนิด พบว่าต้นอ่อนถั่วลันเตามีสารพฤกษเคมีได้แก่ แอนโทไซยานินรวมและแคโรทีนอยด์สูงที่สุด เหมาะสำหรับปลูกเป็นผักสดสำหรับรับประทานในครัวเรือนหรือจำหน่าย โดยผักงอก ต้นอ่อน หรือผักไมโครกรีน เป็นผลผลิตที่เกิดจากการนำเมล็ดผักมาเพาะให้งอก และเจริญเติบโตหลังจากงอกออกมาแล้ว ใบเลี้ยงคลี่เต็มที่มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 7-14 วันหลังเพาะ นิยมรับประทานส่วนที่อยู่เหนือดิน เป็นทางเลือกของผู้บริโภคในตลาดอาหารปลอดภัย และผู้ที่รักสุขภาพ เนื่องจากมีความปลอดภัย มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งช่วยลดสารพิษหรืออนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ช่วยต้านการอักเสบ สามารถลดภาวะของโรคต่าง ๆ (กรรณิกา บุญพาธรรม และดนุพง เกษไธสง, 2560)

ในการผลิตผักไมโครกรีน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือความงอกของเมล็ด เนื่องจากมีผลถึงต้นทุนการผลิตและผลตอบแทนที่ได้ ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความงอกคือ น้ำ ออกซิเจน และอุณหภูมิที่เหมาะสม ซึ่งปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีฟองอากาศขนาดไมโคร/นาโนบับเบิลส์

ในการกระตุ้นการงอกของเมล็ด และมีการวิจัยก่อนหน้า พบว่า น้ำนาโนบับเบิลส์ ช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองเก่าที่เก็บรักษาไว้ 1 ปี ทำให้มีเวลาในการงอกเร็วกว่าน้ำเปล่า (สลาลีวัลย์ แน่นแพ้น, 2562) และการใช้น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ที่เวลา 5 - 15 นาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีผลทำให้เมล็ดข้าวโพดหวานมีอัตราการงอกสูงกว่าน้ำเปล่า (ชิตี ศรีตันทิพย์ และคณะ, 2564) เช่นเดียวกับจักรพงษ์ กางโสภา และคณะ (2565) รายงานว่าการไพร้มเมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิลส์สามารถยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์คะน้า ทำให้เมล็ดพันธุ์คะน้ามีการงอกที่ดี และทำให้ความเร็วในการงอกสูงขึ้น โดยไมโคร/นาโนบับเบิลส์เป็นวิธีการทำให้เกิดฟองก๊าซขนาดเล็กในวัสดุหรือสารตัวกลาง เช่น น้ำ ลักษณะของฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีขนาดตั้งแต่ 50 - 200 ไมโครเมตร ที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มจำนวนออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้นาน ลักษณะของฟองอากาศขนาดที่เล็กมากนี้ สามารถกระจายตัวในน้ำได้อย่างหนาแน่น จึงมีผลช่วยการกระตุ้นการงอกของเมล็ด เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศเข้าสู่เมล็ดได้ดีกว่าน้ำเปล่า (Oshita and Liu, 2013) รวมถึงยังส่งเสริมกิจกรรมทางสรีรวิทยาของพืช ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดี เนื่องจากน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ทำให้เมล็ดพันธุ์มีการดูดน้ำได้อย่างรวดเร็ว และน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์มีปริมาณออกซิเจนสูงกว่าน้ำปกติ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มกระบวนการทางชีวเคมี และสรีรวิทยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในเมล็ด ส่งเสริมให้มีการสร้างพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการหายใจ (McDonald, 1999; Krainart et al., 2015) ดังนั้นการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าจึงเกิดได้ดีขึ้น

นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการเพิ่มศักยภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ด้วย เนื่องจากการใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ จากการยุบตัวของอากาศ ซึ่งจะอยู่ในน้ำ ทำให้พืชมีกลไกการป้องกันตัวเองด้วยการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นมา สอดคล้องกับการศึกษาของ สลาลีวัลย์ แน่นแพ้น (2562) ซึ่งรายงานว่าเมื่อกระตุ้นความงอกของเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองด้วยน้ำนาโนบับเบิลส์ ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มสูงกว่าชุดควบคุม โดยพืชสร้างขึ้นเพื่อต่อต้านปริมาณของสารอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของเกศรา แก้วก้อน และคณะ (2566) ที่รายงานว่าการใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ทำให้เกิดอนุมูลอิสระในสารละลายธาตุอาหาร จึงส่งผลให้พืคลูความีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในส่วนของใบ ลำต้น ราก และหน่อสูงขึ้นกว่ากรรมวิธีควบคุม

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วางแผนการทดลองแบบ 2x4 แฟคทอเรียลโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in CRD; Completely randomized design) ปัจจัย A คือระยะเวลาการแช่ 12 และ 24 ชั่วโมง และปัจจัย B คือน้ำที่ผ่านการปั๊มฟองอากาศขนาดไมโครนาโนที่ระยะเวลา 0, 5, 10 และ 15 นาที ทำการทดลองกรรมวิธีละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

ทำการนับเมล็ดถั่วลิ้นเต่า จำนวน 50 เมล็ด ใส่ลงในถุงผ้าแก้ว แล้วนำเมล็ดถั่วลิ้นเต่า มาแช่ในน้ำที่ผ่านการปั๊มด้วยเครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์ตามกรรมวิธีที่กำหนด โดยทำการ แช่เมล็ดพันธุ์ในกรรมวิธีที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงก่อน แล้วทำการแช่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง (เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์กรรมวิธีที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง แช่ผ่านไป 12 ชั่วโมง) เพื่อให้ระยะเวลา การแช่เมล็ดพันธุ์เสร็จสิ้นพร้อมกัน จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์มาเพาะลงในกล่องพลาสติกใส ขนาด 10 x 10 เซนติเมตร โดยวิธีการเพาะเมล็ดบนกระดาษ (Top of paper; TP) โดยใช้กระดาษเพาะจำนวน 6 ชั้น ตามวิธีของ ISTA (2011) นำกล่องเมล็ดพันธุ์ที่เพาะมาวางไว้ในห้องทดลอง อุณหภูมิเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 61% โดยไม่ปิดฝากล่อง ทำการให้น้ำตามกรรมวิธี แก่เมล็ดพันธุ์ โดยให้ตอนเช้าและเย็น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทุกวัน

การบันทึกข้อมูล 5 ส่วน คือ ความงอกของเมล็ด ได้แก่ อัตราการงอก จำนวนวันที่เมล็ดมี รากงอก และเวลาเฉลี่ยในการงอก การเจริญเติบโตของต้นอ่อน ที่อายุ 10 วัน ได้แก่ ความยาวราก (เซนติเมตร) ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น (มิลลิเมตร) ความกว้างและความยาวของใบ (เซนติเมตร) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นอ่อน (กรัม) โดยจะเก็บผลผลิตหลังการเพาะเมล็ด 10 วัน นำมาชั่งน้ำหนักสดจำนวน 5 ต้นแล้วหาค่าเฉลี่ยต่อต้น ส่วนการหาน้ำหนักแห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมง การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อน โดยใช้วิธีการของ Weterhouse (2005) และการบันทึกค่าคุณสมบัติของน้ำ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า และความเป็นกรด - ด่าง

ในการทดลองใช้เครื่องไมโครนาโนบับเบิลส์ พัฒนาโดยศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการ ด้านการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าแรงสูงพลาสมาและไมโครนาโนบับเบิลส์เพื่อการเกษตรและการประมงชั้น สูง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เครื่องที่ใช้โมเดล KVM10 อัตราการไหลของน้ำ 1.7 ลิตรต่อนาที การไหลของฟองอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที กำลังไฟฟ้า 240 วัตต์ อัตราการไหลของอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที มีขนาดฟองอากาศเฉลี่ยขนาด 660 นาโนเมตร และจำนวนฟองอากาศประมาณ 58,063,100 particle/ml วัดโดยเครื่องเครื่องวิเคราะห์ การกระจายขนาดอนุภาคแบบกระเจิงด้วยเลเซอร์ (Horiba-960A, Japan) (Thonglek, 2017; Yoshikawa and Thonglek, 2017)

4. ผลการวิจัย

4.1 ความงอกของเมล็ด

เมื่อพิจารณาปัจจัย A ระยะเวลาการแช่เมล็ดถั่วลันเตา ที่อายุ 7 และ 10 วัน พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่อายุ 7 วัน พบว่า การแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ถั่วลันเตามีความงอกของเมล็ดสูงที่สุด เฉลี่ย 51.00 เปอร์เซ็นต์ และที่อายุ 10 วัน พบว่า การแช่เมล็ดระยะเวลา 12 ชั่วโมง ทำให้ถั่วลันเตามีความงอกของเมล็ดสูงที่สุด เฉลี่ย 73.13 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาปัจจัย B การใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ที่อายุ 7 วัน พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 - 15 นาที ทำให้เมล็ดถั่วลันเตามีความงอกสูงกว่าการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 นาที และที่อายุ 10 วัน พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 10 นาที ทำให้เมล็ดถั่วลันเตามีความงอกสูงที่สุด เฉลี่ย 75.00 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัยที่อายุ 7 - 10 วัน พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเช่นเดียวกัน โดยที่อายุ 7 วัน พบว่าการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 10 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ถั่วลันเตามีความงอกสูงที่สุด เฉลี่ย 61.00 เปอร์เซ็นต์ และที่อายุ 10 วัน พบว่าการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 - 15 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ดระยะเวลา 12 ชั่วโมง และการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 10 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดถั่วลันเตามีความงอกสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 72.50 - 77.50 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1)

4.2 จำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก

เมื่อพิจารณาปัจจัย A ระยะเวลาการแช่เมล็ดถั่วลันเตา พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การแช่เมล็ดระยะเวลา 12 ชั่วโมง มีจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอกมากกว่าการแช่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง และพิจารณาปัจจัย B พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่ การใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 นาที ทำให้จำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอกมากกว่าการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 - 15 นาที ขณะที่ปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัย พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ด 12 ชั่วโมง มีจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอกมากกว่ากรรมวิธีอื่น (ตารางที่ 1)

4.3 เวลาเฉลี่ยในการงอก

เมื่อพิจารณาปัจจัย A ระยะเวลาการแช่เมล็ดถั่วลันเตา พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าการแช่เมล็ด 12 ชั่วโมงและเมื่อพิจารณาปัจจัย B การใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs

พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 - 15 นาที ทำให้ถั่วลันเตามีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 นาที รวมถึงปฏิสัมพันธ์ของทั้งสอง พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 - 10 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ด 24 ชั่วโมง ทำให้ถั่วลันเตามีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่ากรรมวิธีอื่น (ตารางที่ 1)

4.2 การเจริญเติบโตของต้นอ่อน

เมื่อพิจารณาปัจจัย A ระยะเวลาการแช่เมล็ดถั่วลันเตา พบว่าความสูงของต้นอ่อน เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และความกว้างของใบ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการใช้เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ต้นอ่อนถั่วลันเตามีความสูงของต้นอ่อน เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น และความกว้างของใบสูงกว่าการแช่เมล็ดที่ 12 ชั่วโมง ส่วนความยาวของใบและความยาวราก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อพิจารณาปัจจัย B การใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs พบว่าความสูงของต้นอ่อน เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ความกว้างของใบ ความยาวของใบ และความยาวราก มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 10 นาที ทำให้ถั่วลันเตามีความสูงของต้นอ่อน ความกว้างและความยาวใบสูงที่สุด ขณะที่การใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 10 และ 15 นาที ทำให้ถั่วลันเตามีความยาวรากสูงที่สุด และการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 15 นาที ทำให้ถั่วลันเตามีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นสูงที่สุด ส่วนปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัย พบว่าความสูงของต้นอ่อนมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 - 10 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ถั่วลันเตามีความสูงของต้นอ่อนสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 21.97 - 22.95 เซนติเมตร และความยาวของใบมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 10 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ด ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ความยาวของใบสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 1.14 เซนติเมตร แต่เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ความกว้างของใบ และความยาวราก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2)

4.3 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นอ่อน

เมื่อพิจารณาปัจจัย A ระยะเวลาการแช่เมล็ดถั่วลันเตา พบว่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยน้ำหนักสดมีค่าเฉลี่ย 5.58 - 5.71 กรัมต่อ 5 ต้น ส่วนน้ำหนักแห้งมีค่าเฉลี่ย 0.55 - 0.59 กรัมต่อ 5 ต้น และเมื่อพิจารณาปัจจัย B การใช้

ที่ผ่านเครื่อง MNBs พบว่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยน้ำหนักสดมีค่าเฉลี่ย 5.36 – 6.09 กรัมต่อ 5 ต้น ส่วนน้ำหนักแห้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.54 – 0.60 กรัมต่อ 5 ต้น ขณะที่ปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัย พบว่าน้ำหนักสดของต้นอ่อนมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 10 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้มีน้ำหนักสดของต้นอ่อนสูงที่สุด เฉลี่ย 6.48 กรัมต่อ 5 ต้น แต่น้ำหนักแห้งของต้นอ่อนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3)

4.4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

เมื่อพิจารณาปัจจัย A ระยะเวลาการแช่เมล็ดถั่วลิสงเตา พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย 36.34 – 41.08 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และเมื่อพิจารณาปัจจัย B การใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย 35.30 – 42.37 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม รวมถึงปฏิสัมพันธ์ของปัจจัย A และปัจจัย B พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 33.22 – 45.72 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (ตารางที่ 3)

4.5 ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด - ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า

ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ พบว่าที่ระยะเวลา 0 นาที มีค่าต่ำที่สุด เฉลี่ย 5.69 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs ที่ระยะเวลา 5 - 15 นาที พบว่าค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลา 15 นาที ทำให้น้ำมีปริมาณออกซิเจนสูงที่สุด เฉลี่ย 7.31 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) พบว่าระยะเวลา 0 นาที มีค่าต่ำที่สุด เฉลี่ย 29.65 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร แต่เมื่อใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 นาที ทำให้น้ำมีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด เฉลี่ย 32.80 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ส่วนค่าความเป็นกรด - ด่าง พบว่าการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 - 15 นาที มีความเป็นกลางโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 7.07 – 7.21 (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 1 ผลของระยะเวลาในการแช่เมล็ด การใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัยต่ออัตราการงอกและระยะเวลาการงอก

กรรมวิธี	ความงอกของเมล็ด (%)		จำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก (วัน)	เวลาเฉลี่ยในการงอก (วัน)
	7 วัน	10 วัน		
ปัจจัย A				
ระยะเวลาแช่เมล็ด 12 ชั่วโมง	39.50 ^b	73.13 ^a	5.22 ^a	2.61 ^a
ระยะเวลาแช่เมล็ด 24 ชั่วโมง	51.00 ^a	66.50 ^b	3.66 ^b	1.83 ^b
F-test	**	**	**	**
ปัจจัย B				
MNBs 0 นาที	36.75 ^b	65.75 ^b	5.20 ^a	2.60 ^a
MNBs 5 นาที	46.75 ^a	70.75 ^{ab}	4.23 ^b	2.11 ^b
MNBs 10 นาที	50.50 ^a	75.00 ^a	4.21 ^b	2.11 ^b
MNBs 15 นาที	47.00 ^a	67.75 ^b	4.13 ^b	2.06 ^b
F-test	*	**	**	**
ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัย A และ ปัจจัย B				
MNBs 0 นาที + แช่ 12 ชม.	23.50 ^c	61.50 ^c	6.61 ^a	3.30 ^a
MNBs 5 นาที + แช่ 12 ชม.	41.50 ^b	77.50 ^a	5.23 ^b	2.61 ^b
MNBs 10 นาที + แช่ 12 ชม.	40.00 ^b	77.50 ^a	5.16 ^b	2.58 ^b
MNBs 15 นาที + แช่ 12 ชม.	53.00 ^{ab}	76.00 ^a	3.86 ^{cd}	1.94 ^{cd}
MNBs 0 นาที + แช่ 24 ชม.	50.00 ^{ab}	70.00 ^{ab}	3.80 ^{cd}	1.90 ^{cd}
MNBs 5 นาที + แช่ 24 ชม.	52.00 ^{ab}	64.00 ^{bc}	3.26 ^d	1.61 ^d
MNBs 10 นาที + แช่ 24 ชม.	61.00 ^a	72.50 ^a	3.26 ^d	1.63 ^d
MNBs 15 นาที + แช่ 24 ชม.	41.00 ^b	59.50 ^c	4.37 ^{bc}	2.19 ^{bc}
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	18.81	7.34	14.52	14.59

หมายเหตุ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

* หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษชนิดเดียวกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ตารางที่ 2 ผลของระยะเวลาในการแช่เมล็ด การใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อน

กรรมวิธี	ความสูง ของต้นอ่อน (ซม.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง กลางของลำ ต้น (มม.)	ความกว้าง ของใบ (ซม.)	ความยาว ของใบ (ซม.)	ความยาว ของราก (ซม.)
ปัจจัย A					
ระยะเวลาแช่เมล็ด 12 ชั่วโมง	19.12 ^b	1.88 ^b	0.62 ^b	0.96	11.05
ระยะเวลาแช่เมล็ด 24 ชั่วโมง	20.40 ^a	1.95 ^a	0.72 ^a	1.01	10.51
F-test	*	*	**	ns	ns
ปัจจัย B					
MNBs 0 นาที	18.07 ^c	1.85 ^c	0.58 ^c	0.90 ^b	9.19 ^b
MNBs 5 นาที	20.64 ^{ab}	1.89 ^{bc}	0.64 ^{bc}	0.95 ^b	10.38 ^{ab}
MNBs 10 นาที	21.16 ^a	1.93 ^{ab}	0.75 ^a	1.08 ^a	11.99 ^a
MNBs 15 นาที	19.17 ^{bc}	1.99 ^a	0.71 ^{ab}	1.00 ^{ab}	11.56 ^a
F-test	**	**	**	**	**
ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัย A และ ปัจจัย B					
MNBs 0 นาที + แช่ 12 ชม.	16.63 ^d	1.76	0.51	0.80 ^c	9.13 ^c
MNBs 5 นาที + แช่ 12 ชม.	19.32 ^{bc}	1.87	0.55	0.97 ^b	10.07 ^b
MNBs 10 นาที + แช่ 12 ชม.	19.38 ^{bc}	1.91	0.70	1.02 ^{ab}	12.39 ^{ab}
MNBs 15 นาที + แช่ 12 ชม.	21.14 ^{ab}	1.98	0.72	1.04 ^{ab}	12.63 ^{ab}
MNBs 0 นาที + แช่ 24 ชม.	19.50 ^{bc}	1.94	0.65	1.00 ^{ab}	9.26 ^{ab}
MNBs 5 นาที + แช่ 24 ชม.	21.97 ^a	1.91	0.72	0.94 ^{bc}	10.70 ^{bc}
MNBs 10 นาที + แช่ 24 ชม.	22.95 ^a	1.95	0.81	1.14 ^a	11.60 ^a
MNBs 15 นาที + แช่ 24 ชม.	17.20 ^{cd}	1.99	0.70	0.95 ^b	10.50 ^b
F-test	**	ns	ns	*	ns
C.V. (%)	8.00	3.70	12.50	10.18	15.90

หมายเหตุ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

* หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq 0.05$)

** หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P\leq 0.01$)

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษชนิดเดียวกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ตารางที่ 3 ผลของระยะเวลาในการแช่เมล็ด การใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัยต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของต้นอ่อน

กรรมวิธี	น้ำหนักสด (กรัม/ 5 ต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ 5 ต้น)	สารประกอบฟีนอลิก (มิลลิกรัม/ 100 กรัม)
ปัจจัย A			
ระยะเวลาแช่เมล็ด 12 ชั่วโมง	5.58	0.55	41.08
ระยะเวลาแช่เมล็ด 24 ชั่วโมง	5.71	0.59	36.34
F-test	ns	ns	ns
ปัจจัย B			
MNBs 0 นาที	5.36	0.54	39.75
MNBs 5 นาที	5.67	0.54	37.41
MNBs 10 นาที	6.09	0.60	35.30
MNBs 15 นาที	5.63	0.59	42.37
F-test	ns	ns	ns
ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัย A และ ปัจจัย B			
MNBs 0 นาที + แช่ 12 ชม.	5.01 ^c	0.56	45.72
MNBs 5 นาที + แช่ 12 ชม.	5.46 ^{bc}	0.52	41.60
MNBs 10 นาที + แช่ 12 ชม.	5.70 ^{abc}	0.55	34.64
MNBs 15 นาที + แช่ 12 ชม.	6.17 ^{ab}	0.59	42.35
MNBs 0 นาที + แช่ 24 ชม.	5.70 ^{abc}	0.52	33.77
MNBs 5 นาที + แช่ 24 ชม.	5.87 ^{abc}	0.56	33.22
MNBs 10 นาที + แช่ 24 ชม.	6.48 ^a	0.66	35.96
MNBs 15 นาที + แช่ 24 ชม.	5.10 ^c	0.60	42.39
F-test	**	ns	ns
C.V. (%)	9.97	17.56	15.60

หมายเหตุ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

** หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P\leq 0.01$)

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษชนิดเดียวกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ตารางที่ 4 ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรด - ด่าง

กรรมวิธี	DO (mg/L)	EC (mS/cm)	pH
MNBs 0 นาที	5.69	29.65	7.21
MNBs 5 นาที	6.43	32.80	7.16
MNBs 10 นาที	6.76	32.00	7.16
MNBs 15 นาที	7.31	32.00	7.07

5. สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาผลของไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่ออัตราการงอกและระยะเวลาการงอกของเมล็ดถั่วลันเตา พบว่าการแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ถั่วลันเตามีเวลาในการงอกและจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วกว่าการแช่เมล็ดระยะเวลา 12 ชั่วโมง รวมถึงทำให้อัตราการงอกของเมล็ดที่อายุ 7 วัน การเจริญเติบโตด้านความสูงต้นอ่อน เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความกว้างของใบสูงกว่าการแช่เมล็ดระยะเวลา 12 ชั่วโมง สอดคล้องกับสุชาติ ธัญโต (2565) รายงานว่าการแช่เมล็ด 24 ชั่วโมงทำให้มะเขือเทศงอกเร็วขึ้น ซึ่งการใช้ระยะเวลาการแช่เมล็ดพันธุ์ที่นาน อาจช่วยให้น้ำและออกซิเจนเข้าสู่เมล็ดได้มากยิ่งขึ้น มีผลกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ hydrolytic ที่ย่อยสลายอาหารสะสมภายในเมล็ดได้มากยิ่งขึ้น (Mahakham et al., 2016) และพบว่าการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 - 15 นาที ทำให้การงอก และจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วกว่าการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 นาที รวมถึงมีอัตราการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ทำให้ความสูงของต้นอ่อน เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ความกว้างใบ ความยาวของราก เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 นาที ซึ่งชิตี ศรีตันทิพย์และคณะ (2561) รายงานว่า การให้น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์มีผลทำให้การงอกของต้นอ่อนค่าน้ำเร็วกว่าน้ำเปล่า และมีผลทำให้ต้นกล้าเจริญเติบโตได้ดีโดยเฉพาะการเจริญเติบโตของราก เนื่องจากน้ำไมโครนาโนบับเบิลส์มีปริมาณของออกซิเจนสูงกว่าน้ำเปล่า สามารถกระตุ้นกลไกทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ดโดยสามารถเพิ่มอัตราการงอกของข้าวบาร์เลย์เพิ่มขึ้น 15-25 % (Liu et al., 2013) ขณะที่ปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัย พบว่าการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs 10 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้อัตราการงอกเมล็ด ความสูงของต้นอ่อน ความยาวของใบ ความยาวราก และการสะสมน้ำหนักรากของต้นอ่อนสูงที่สุด สอดคล้องกับสลาลีวัลย์ แน่นแพ้น (2562) พบว่า น้ำนาโนบับเบิลส์สามารถเพิ่มอัตราการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าของดาวเรืองได้ ซึ่ง Oshita and Liu, (2013) รายงานการใช้ไมโครนาโนบับเบิลส์ ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศเข้าสู่เมล็ดได้ดีกว่าน้ำเปล่า

ช่วยส่งเสริมกิจกรรมทางสรีรวิทยาของพืช ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีโดยออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการทางชีวเคมี และสรีรวิทยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดเพิ่มขึ้น ส่งเสริมให้มีการสร้างพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการหายใจ จึงส่งผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า (McDonald, 1999; Krainart et al., 2015) ขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของต้นอ่อน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการสกัดมีปริมาณจำกัด จึงอาจมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ดังนั้นจึงควรทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มจำนวนเมล็ดในการทดลอง เพื่อให้ได้ปริมาณตัวอย่างที่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้าน การประยุกต์ใช้ไฟฟ้าแรงสูงพลาสมา และไมโครนา โนบับเบิลส์เพื่อการเกษตรและการประมงขั้นสูง และ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่สนับสนุนงบประมาณและการดำเนินโครงการ

7. เอกสารอ้างอิง

- กรรณิกา บุญพาธรรม และ ดนุพล เกษไชสง. (2560). การประเมินผลผลิตและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผักไมโครกรีน 13 ชนิด. *วารสารแก่นเกษตร*, 45 (1) ฉบับพิเศษ, 368-373.
- จักรพงษ์ กางโสภา, อรัญญา สิงโสภา, นรารัตน์ทาวงศ์ และ สุริมาศ จันทะอินทร์. (2565). ไมโครนาโนบับเบิล : การไพรม์เมล็ดร่วมกับ *Trichoderma asperellum* ต่อความงอก ความแข็งแรง และการเจริญเติบโตของต้นกล้าคะน้า. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, ปีที่ 27 (ฉบับที่ 2) 1083-1101.
- ชิตี ศรีตันทิพย์, วิเชียร ผลแสง, วิษณุ ทองเล็ก, ชาญชัย เดชธรรมรงค์, และ คิโยชิ โยชิคาวา. (2561). การประยุกต์ใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าคะน้า. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 49 (1) (พิเศษ), 37-41.
- ชิตี ศรีตันทิพย์, สุชาดา อิชูโต, ปิยะดา วงศ์กระโซ่, ปริญญาวดี ศรีตันทิพย์, วิษณุ ทองเล็ก และ ชาญชัย เดชธรรมรงค์. (2564). ผลของไมโคร/นาโนบับเบิลส์และพลาสมาไฟฟ้าแรงดันสูงต่อการงอกและการเจริญเติบโตของทานตะวัน. *รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 7 (รูปแบบออนไลน์) ระหว่างวันที่ 12-14 พฤษภาคม 2564 ผ่านระบบ Microsoft Teams*. 540-548.
- สลาลีวัลย์ แนนแพน. (2562). *ผลของการกระตุ้นการงอกด้วยน้ำนาโนบับเบิลส์ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าดาวเรืองฝรั่งเศส* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต].

<https://ethesis.lib.ku.ac.th/dspace/bitstream/123456789/506/1/6024100761.pdf>.

- Krainart, C., Siri B. and Vichitphan, K. (2015). Effects of Accelerated Aging and Subsequent Priming on Seed Quality and Biochemical Change of Hybrid Cucumber (*Cucumis sativa* Linn.) Seeds. *International Journal of Agricultural Technology*. Vol.11(1):165-179.
- Liu, S., Kawagoe, Y., Makino, Y., & Oshita, S. (2013). Effects of nanobubbles on the physico-chemical properties of water: The basis for peculiar properties of water containing na-nobubbles. *Chemical Engineering Science*. 93, 250-256.
- M. B. McDonald, "Seed Deterioration: Physiology Repair and Assessment," *Seed Science and Technology*, Vol. 27, No. 1, 1999, pp. 177-237.
- Mahakham, W., Teerakulpisut, P., Maensiri, S., Phumying, S., & Sarmah, A. K. (2016). Environmentally benign synthesis of phytochemical capped gold nanoparticles as nanopriming agent for promoting maize seed germination. *Sci. Total Environ*. 573, 1089–1102.
- Oshita, S., & Liu, S. (2013). Nanobubble characteristics and its application to agriculture and foods. Proceedings of AFHW 2013. *International Symposium on Agri-Foods for Health and Wealth. August 5-8, 2013*, Golden Tulip Sovereign Hotel, Bangkok, Thailand.
- Thonglek, V. (2017). Evolution of Micro/Nano Bubbles Distributions. *In the 2nd International Symposium on Application of High-voltage, Plasmas & Micro/Nano Bubbles to Agriculture and Aquaculture (RMUTL ISHPMNB 2017). 26 – 27 July 2017*, Rajamangla University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand.
- Weterhouse, A.L. (2005). Determination of total phenolics. In R.E. Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith & P. Sporns (Eds.), *Handbook of food analytical chemistry, pigments, colorants, flavors, texture and bioactive food components volume 1* (pp. 463-470). John Wiley and Sons.
- Yoshikawa, K. and V. Thonglek. (2017). Research and Development of a Simple Detector of Nanobubble Density through Spectroscopic Meth. *In the 2nd*

International Symposium on Application of High-voltage, Plasmas & Micro/Nano Bubbles to Agriculture and Aquaculture (RMUTL ISHPMNB 2017).
26 – 27 July 2017, Rajamangla University of Technology Lanna, Chiang Mai,
Thailand.

ผลของรูปแบบกล้าเชื้อผสมแบคทีเรีย และยีสต์ต่อคุณลักษณะการหมักของสั่วเหลือง

นือร โฉมศรี^{1*} และ กมลวรรณ มโนวรรณ¹

¹ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ที่อยู่ 202 หมู่ 17 ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง รหัสไปรษณีย์ 52000

*E-mail: niornchomsri@mult.ac.th , 0820345886

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของจุลินทรีย์ผสมที่มีต่อกระบวนการหมักของสั่วเหลือง ทำการทดลองโดยใช้แหล่งอาหารตั้งต้นเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติก การเติมกล้าเชื้อกล้าเชื้อยีสต์ การเติมกล้าเชื้อผสมของแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติกและยีสต์ และแหล่งอาหารตั้งต้นที่ไม่เติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ ผลการศึกษาที่พบว่า แบคทีเรียผลิตกรดแล็กติกและยีสต์สามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้ประมาณ 3 log CFU/g เมื่อหมักนาน 40 วัน ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ของสั่วเหลืองที่ได้จากการหมักพบว่า ค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้ง 4 สิ่งทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 4.62-4.68 ร้อยละ 0.78-0.88 และ 26.10-29.40 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ส่วนปริมาณไนโตรเจนของกรดแอมิโนอิสระ ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณเกลือในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมีค่าอยู่ระหว่าง 1.80-2.10, 9.20-10.04 และ 69.49-84.55 กรัมต่อลิตร ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของความแตกต่างกันของจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมักที่มีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ของสั่วเหลืองที่ได้

คำสำคัญ: ของสั่วเหลือง, กล้าเชื้อผสม, การหมัก

Effects of mixed starter culture protocols between bacteria and yeast on characteristics of soy sauce fermentation

Ni-orn Chomsri^{1*} and Kamonwan Manowan¹

¹ Agricultural Technology Research Institute,
Rajamangala University of Technology Lanna, Amphur Muang, Lampang 52000, Thailand

*E-mail: niornchomsri@rmult.ac.th , 0820345886

Abstract

This research aimed to study the influence of mixed starter culture in the soy sauce fermentation process. The experiment was carried out by using substrates added to microbial cultures in various protocols, i.e. lactic acid bacteria, yeast, mixed starter culture of lactic acid bacteria and yeast and the substrate without inoculation. The results of the study showed that lactic acid bacteria and yeast were able to multiply approximately 3 log CFU/g after fermentation for 40 days. The pH, total acidity and total soluble solid content of the four samples were between 4.62-4.68, 0.78-0.88 % and 26.10-29.40 °Brix, respectively. Free alpha amino nitrogen, total soluble protein content and salt content in the sample products were between 1.80-2.10, 9.20-10.04 and 69.49-84.55 g/l, respectively. The data obtained from this study demonstrated the effect of different microorganisms used in the fermentation process on the product quality of the resulting soy sauce.

Keywords: soy sauce, mixed starter culture, fermentation

1. บทนำ

ซอสถั่วเหลือง (Soy sauce) หรือ Soya sauce (British English) เรียกเป็นภาษาจีนว่า เจียงหยาว (jiangyou) และเรียกเป็นภาษาอังกฤษว่าโชยุ (Shoyu) เป็นเครื่องปรุงรสที่นิยมบริโภคแถบเอเชียตะวันออก และตะวันออกเฉียงใต้ และยังได้รับความนิยมบริโภคเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในกลุ่มประเทศตะวันตก เนื่องจากรสชาติที่มีความเฉพาะที่แตกต่าง มีรสชาติที่เข้มข้นของอูมามิ และลักษณะที่คล้ายคาราเมล ซึ่งช่วยเพิ่มกลิ่นและรสชาติให้กับอาหารชนิดต่างๆ วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตซอสถั่วเหลืองหรือโชยุหลักๆ ประกอบด้วย ถั่วเหลืองที่เป็นแหล่งโปรตีนหลัก ข้าวสาลีหรือแป้งสาลีที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตหลัก เกลือ น้ำ และจุลินทรีย์ *Aspergillus oryzae* ยีสต์และแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติกทกทนเกลือ ซึ่งกระบวนการหมักซอสถั่วเหลืองมีความแตกต่างกันไปตามการสืบสานทางวัฒนธรรมของแต่ละแหล่งผลิต (Diez-Simon et al., 2020) การหมักซอสถั่วเหลือง เป็นกระบวนการหมัก 2 ขั้นตอน คือ การหมักด้วยเชื้อรา *Aspergillus oryzae* ในขั้นแรกได้เป็นโคจิ (Koji) แล้วนำโคจิที่ได้ไปเติมน้ำเกลือในการหมักขั้นที่สองได้เป็น โมโรมิ (Moromi) ในกระบวนการหมักราสร้างเอนไซม์ย่อย สลายองค์ประกอบในถั่วเหลือง นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและจุลินทรีย์ ทำให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นและรสชาติ และคุณสมบัติอาหารฟังก์ชัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งรสอูมามิ (นิอร, 2555; Kim et al., 2017; Cao et al., 2019; Jayachandran and Xu, 2019; Liu et al., 2023; Chen et al., 2023; Hu et al., 2023) การด้านพัฒนากระบวนการผลิตซอสถั่วเหลือง จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาและวิจัยหาแนวทางที่เหมาะสมของการหมักภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้เทคโนโลยีที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตให้ได้คุณภาพในด้านต่างๆ ทั้งคุณค่าทางโภชนาการและทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและรสชาติของซอสถั่วเหลืองให้ดีขึ้น การศึกษารั้ครั้งนี้จึงนำจุลินทรีย์ผสมไปใช้ในการพัฒนากระบวนการหมักซอสถั่วเหลือง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของการใช้กล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีต่อคุณภาพของซอสถั่วเหลืองที่ผลิตได้

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การหมัก เป็นการถนอมอาหารโดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ หรือรา เป็นกล้าเชื้อเริ่มต้น ซึ่งเทคนิคของการเติมกล้าเชื้ออาจเป็นจุลินทรีย์บริสุทธิ์ หรือกล้าเชื้อผสม เช่น ลูกแป้งโคจิ หรือจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนจากธรรมชาติเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่อยู่ในอาหารเกิดเป็นสารต่างๆ เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ คาร์บอนไดออกไซด์ และสารให้กลิ่น เป็นต้น ทั้งนี้ ในกระบวนการหมักจุลินทรีย์ย่อยสลายสารตั้งต้นให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่พึงพอใจ (จารุวรรณ, 2551; นิอร, 2555; Maxon, 1954; Stanbury et al., 1995; Rao, 2015) กระบวนการหมักมีเทคโนโลยีที่เข้ามาเกี่ยวข้องตั้งแต่กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ การย่อยสลาย

และการหมัก ซึ่งมีผลต่อลักษณะของการหมัก และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก จึงทำให้สามารถจำแนกประเภทของการหมักออกได้หลายรูปแบบ การจำแนกชนิดของการหมักตามปริมาณน้ำในแหล่งอาหารตั้งต้น ที่ใช้ในกระบวนการหมัก แบ่งออกได้เป็นการหมักบนอาหารแข็ง (Solid state fermentation) เป็นการหมักที่เกือบไม่มีปริมาณน้ำอิสระหรือมีอยู่น้อยในแหล่งอาหารตั้งต้น แต่แหล่งอาหารตั้งต้น ต้องมีปริมาณความชื้นเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักชนิดนี้ ได้แก่ เอนไซม์ กรดอินทรีย์ รงควัตถุ สารให้กลิ่นรส เป็นต้น และการหมักในอาหารเหลว (Submerged fermentation) เป็นการหมักที่ใช้แหล่งอาหารตั้งต้น ที่มีลักษณะเหลวในกระบวนการหมักหรืออาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแหล่งอาหารตั้งต้น สำหรับการหมักชนิดนี้มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 95 ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักชนิดนี้ ได้แก่ แอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ เอนไซม์ กรดแอมิโน เป็นต้น และยังสามารถจำแนกชนิดของการหมักตามความต้องการอากาศหรือออกซิเจน ที่ใช้ในกระบวนการหมัก ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ การหมักที่ต้องการอากาศ (Aerobic fermentation) เป็นการหมักที่ต้องการใช้ออกซิเจนในกระบวนการหมักเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ตัวอย่างของการหมักชนิดนี้ เช่น การหมักโคจิ การหมักน้ำส้มสายชู และการหมักเพื่อผลิตกรดซิตริก เป็นต้น และการหมักที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic fermentation) เป็นการหมักที่ไม่ต้องการออกซิเจนในกระบวนการหมักเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ เช่น การหมักเพื่อผลิตเอซีโตน การหมักเพื่อผลิตบิวทานอล (Hui, 2007; Yang et al., 2015; Shi et al., 2015)

สภาวะของการหมักเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตอาหารหมัก สภาวะของการหมักอาหารแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ ชนิดการหมักแบบธรรมชาติหรือมีการเติมจุลินทรีย์ เมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักอาหาร อุณหภูมิในการหมัก การให้อากาศและความเป็นกรดต่างของอาหารหมัก เป็นต้น การใช้จุลินทรีย์ในการหมัก เป็นการควบคุมกระบวนการหมักวิธีหนึ่งในปัจจุบันคือ การเติมจุลินทรีย์เริ่มต้นเพื่อใช้เป็นหัวเชื้อหรือกล้าเชื้อ (inoculum หรือ starter) ซึ่งการเติมหัวเชื้อมีทั้งการใช้เชื้อบริสุทธิ์สายพันธุ์เดียว หรือเชื้อบริสุทธิ์แบบผสม การเติมอาจเติมลงไปพร้อมกันในตอนเริ่มหมัก หรืออาจมีการเติมแบบตามลำดับ กล้าเชื้อที่มีความสำคัญ คือ ช่วยให้การหมักเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และมีอัตราการหมักเร็ว เกิดความสม่ำเสมอของการหมัก และได้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่เหมือนเดิมในแต่ละครั้งของการหมัก ลดความเสี่ยงจากการเน่าเสียของจุลินทรีย์ปนเปื้อนที่ไม่ต้องการ และสามารถควบคุมคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ค่อนข้างดี โดยการคัดเลือกสายพันธุ์ จุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักโดยทั่วไป ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ และรา ซึ่งจุลินทรีย์มีความแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณในการหมัก

(Steinkraus, 2004; Wu et al., 2023; Zhang et al., 2023) กระบวนการหมักที่มีการใช้กล้าเชื้อจุลินทรีย์อย่างเหมาะสมจึงสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้จึงวางแผนศึกษาผลของรูปแบบการเติมกล้าเชื้อที่แตกต่างกันในการหมักแหล่งอาหารตั้งต้นที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการหมักและคุณภาพของซอสถั่วเหลืองที่ผลิตได้ เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนากระบวนการผลิตซอสถั่วเหลืองที่มีคุณภาพต่อไปได้

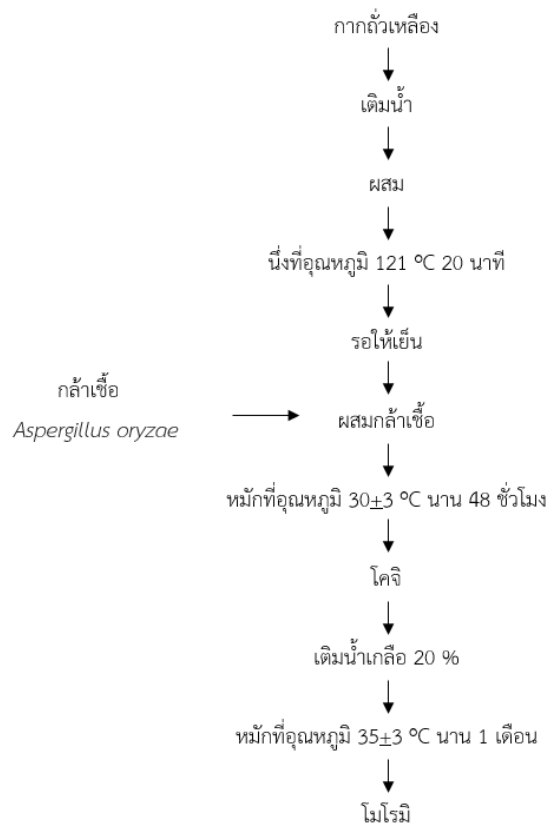
3. วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมกล้าเชื้อจุลินทรีย์

เตรียมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติก โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ MRS บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง เตรียมกล้าเชื้อยีสต์ โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ YEPD บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง และราโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 3-5 วัน

การเตรียมถั่วเหลืองหมักเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารตั้งต้น

กระบวนการหมักถั่วเหลืองใช้ส่วนผสมและกรรมวิธีตามวิธีการหมักของหน่วยทดลองการผลิต งานวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร (ภาพที่ 1) กระบวนการหมักประกอบด้วย การหมักโคจิจ และการหมักโมโรมิ โดยมีรายละเอียด ดังนี้ การเตรียมถั่วเหลืองทำโดยนำกากถั่วเหลือง นำไปแช่น้ำ 5-10 นาที สะเด็ดน้ำ หลังจากนั้นนำถั่วเหลืองไปนึ่งในหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 30 นาที แล้วนำถั่วเหลืองออกมาทิ้งให้เย็นเพื่อนำไปใช้หมักโคจิจ ทำโดยใช้กากถั่วเหลืองที่เตรียมได้ผสมกับข้าวหักท่อนและกล้าเชื้อราตามแผนการศึกษา นำไปเกลี่ยในกระดังกระจายให้ทั่ว แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2 วัน แล้วนำไปหมักโมโรมิ โดยเอาโคจิจไปใส่ในโองหมัก เติมน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยใช้โคจิจต่อน้ำเกลือในอัตราส่วน 1:2 หมักในถังหมัก โดยกำหนดการเติมยีสต์หรือแบคทีเรียตามแผนการศึกษาในขั้นตอนการหมักโมโรมิที่ระยะเวลาการหมักนาน 14 วัน แล้วนำไปฆ่าเชื้อเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารตั้งต้น โดยนำโมโรมิที่หมักนาน 14 วัน จำนวน 170 กรัม ไปใส่ในขวดหมักขนาด 250 กรัม แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที รอให้เย็น จึงนำไปใช้เป็นแหล่งอาหารตั้งต้นในการทดลองต่อไป



ภาพที่ 1 กระบวนการหมักกากั่วเหลืองเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งอาหารตั้งต้นในการทดลอง

การศึกษาผลของการเติมกล้าเชื้อที่แตกต่างกันในการหมักกากั่วเหลือง

กำหนดสิ่งทดลองในการศึกษาจำนวน 4 สิ่งทดลอง (ตารางที่ 1) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ในการศึกษาและการตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี โดยนำแหล่งอาหารตั้งต้น ที่เตรียมได้มาเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ตามแผนการศึกษา หมักกากั่วเหลืองที่อุณหภูมิห้อง นาน 40 วัน โดยตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ในระหว่างการหมัก

ตารางที่ 1 สิ่งทดลองที่ใช้ในการศึกษา

Treatment	Mold	Yeast	Bacteria	Code
1	<i>Aspergillus oryzae</i> W2		LAB 1	HW2B
2	<i>Aspergillus oryzae</i> W2	Yeast W1		HW2Y
3	<i>Aspergillus oryzae</i> W2	Yeast W1	LAB 1	HW2BY
4	<i>Aspergillus oryzae</i> W2			CW2

การตรวจสอบคุณภาพ

การทดลองนี้ มีการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างทางเคมี และทางจุลินทรีย์ ดังนี้ ค่าพีเอช โดยใช้เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปของกรดแล็กติก โดยใช้วิธีการไตเตรท (Kirk and Sawyer, 1991) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยใช้แฮนรีแฟรคโตมิเตอร์ Hand refractometer ปริมาณไนโตรเจนของกรดแอมิโนอิสระ (Free apha-amino nitrogen; FAN) ตามวิธีดัดแปลงจาก Wylie and Johnson (1961) ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ทั้งหมดตามวิธีดัดแปลงจาก Bradford (1976) จำนวนแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติก โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ MRS (Liu et al., 2016) จำนวนยีสต์ โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ YEPD (Chomsri, 2008) ปริมาณเกลือ (Nielsen, 2017)

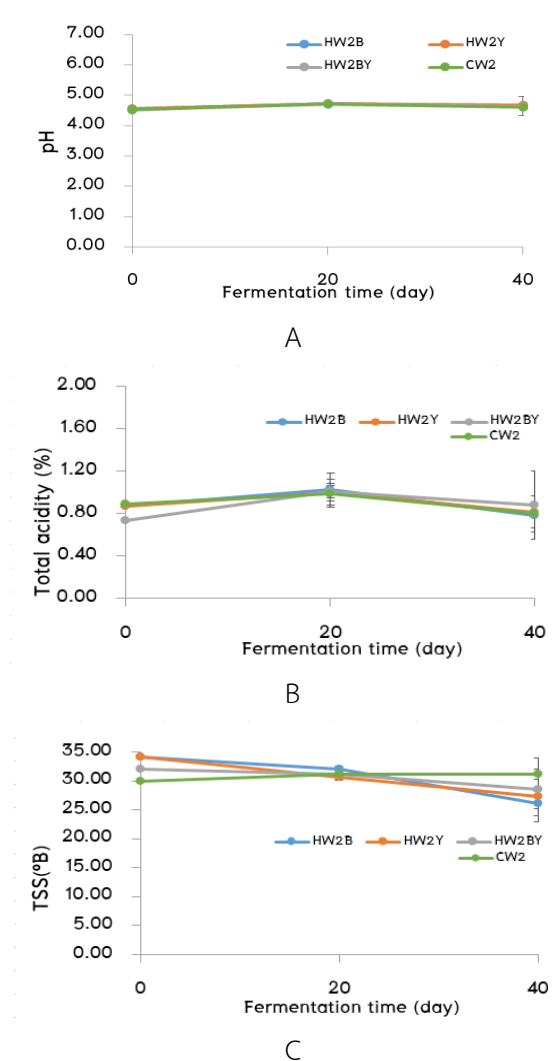
4. ผลการวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของจุลินทรีย์ผสมที่มีต่อกระบวนการหมักซอสถั่วเหลือง ทำการทดลองโดยใช้แหล่งอาหารตั้งต้นที่หมักนาน 14 วัน จากนั้นนำไปเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ ได้รูปแบบการหมักจำนวน 4 สิ่งทดลอง ตรวจวิเคราะห์และติดตามผลในระหว่างกระบวนการหมัก และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก ได้ผลการศึกษาดังนี้

การเปลี่ยนแปลงลักษณะถั่วเหลืองและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในระหว่างการหมัก

การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการหมักถั่วเหลือง พบว่า ค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระหว่างการหมักถั่วเหลือง มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ ความคล้ายคลึงกันทุกสิ่งทดลอง (ภาพที่ 2) โดยสามารถสังเกตเห็นว่าค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระหว่างการหมัก ส่วนปริมาณกรด

ทั้งหมดพบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 20 วันแรกของการหมัก หลังจากนั้นพบว่าค่อยๆ มีค่าลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าลดลงเล็กน้อย ตลอดระยะเวลาการหมักในการทดลองครั้งนี้ โดยค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระหว่างการหมักแก้วเหลืองมีการเปลี่ยนแปลง อยู่ระหว่าง 4. 51-4.73, ร้อยละ 0.74-1.03 และ 26.10-34.20 องศาบริกซ์ ตามลำดับ



ภาพที่ 2 ค่าพีเอช (a) ปริมาณกรดทั้งหมด (b) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (c); HW2B = แหล่งอาหารตั้งต้น ผ่านการฆ่าเชื้อและเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติก, HW2Y = แหล่งอาหารตั้งต้นผ่านการฆ่าเชื้อและเติมกล้าเชื้อยีสต์, HW2BY = แหล่งอาหารตั้งต้นผ่านการฆ่าเชื้อและเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติกและยีสต์, CW2 = แหล่งอาหารตั้งต้นที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่เติมกล้าเชื้อ

การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ในระหว่างการหมัก

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ผลิตกรดแล็กติก (Lactic acid bacteria) ในระหว่างการหมักถั่วเหลือง ทำให้ทราบว่า เมื่อเริ่มต้นหมักถั่วเหลืองพบแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติกมีปริมาณอยู่ระหว่าง 1.35×10^5 - 8.87×10^5 CFU/g แล้วแบคทีเรียมีจำนวนลดลงประมาณ 2 log CFU/g เมื่อหมักนาน 20 วัน หลังจากนั้น พบการเจริญเพิ่มจำนวนอยู่ในช่วง 9.00×10^6 - 2.20×10^{10} CFU/g เมื่อถั่วเหลืองเกิดการหมักนาน 40 วัน

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติก (CFU/g) ในระหว่างกระบวนการหมัก

Treatment	Code	0 day	20 day	40 day
1	HW2B	$8.87 \times 10^5 \pm 1.51 \times 10^5$	$8.94 \times 10^3 \pm 6.85 \times 10^3$	$8.85 \times 10^8 \pm 1.48 \times 10^8$
2	HW2Y	ND	ND	ND
3	HW2BY	$1.35 \times 10^5 \pm 1.56 \times 10^5$	$9.38 \times 10^3 \pm 4.17 \times 10^3$	$9.00 \times 10^6 \pm 4.24 \times 10^6$
4	CW2	$3.08 \times 10^7 \pm 2.16 \times 10^6$	$1.10 \times 10^6 \pm 7.49 \times 10^4$	$2.20 \times 10^{10} \pm 4.24 \times 10^9$

หมายเหตุ

ND = no data

HW2B = แหล่งอาหารตั้งต้นผ่านการฆ่าเชื้อและเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติก,

HW2Y = แหล่งอาหารตั้งต้นผ่านการฆ่าเชื้อและเติมกล้าเชื้อยีสต์,

HW2BY = แหล่งอาหารตั้งต้นผ่านการฆ่าเชื้อและเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติกและยีสต์,

CW2 = แหล่งอาหารตั้งต้นที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่เติมกล้าเชื้อ

ในด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาณยีสต์ในระหว่างการหมักถั่วเหลือง พบว่า เมื่อเริ่มต้นหมักถั่วเหลืองพบยีสต์มีปริมาณอยู่ระหว่าง 1.35×10^5 - 2.25×10^7 CFU/g สิ่งทดลองที่มีการเติมกล้าเชื้อ HW2Y และ CW2 พบว่ายีสต์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองที่มีการเติมกล้าเชื้อ HW2BY พบว่ายีสต์มีจำนวนลดลงที่ประมาณ 1 log CFU/g เมื่อหมักนาน 20 วัน หลังจากนั้น พบการเจริญเพิ่มจำนวนอยู่ในช่วง 5.70×10^7 - 2.20×10^{10} CFU/g เมื่อถั่วเหลืองเกิดการหมักนาน 40 วัน (ตารางที่ 3) ในด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในระหว่างการหมักถั่วเหลือง พบว่า เมื่อเริ่มต้นหมักถั่วเหลืองโดยใช้กล้าเชื้อ CW2 พบจุลินทรีย์ทั้งหมดมีปริมาณอยู่ที่ 2.54×10^7 CFU/g มีจำนวนเพิ่มขึ้นประมาณ 1 log CFU/g เมื่อหมักนาน 20 วัน หลังจากนั้น พบการเจริญเพิ่มจำนวนอยู่เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 2.50×10^{10} CFU/g เมื่อถั่วเหลืองเกิดการหมักนาน 40 วัน (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของยีสต์ (CFU/g) ในระหว่างกระบวนการหมัก

Treatment	Code	0 day	20 day	40 day
1	HW2B	ND	ND	ND
2	HW2Y	$5.76 \times 10^4 \pm 1.43 \times 10^4$	$2.23 \times 10^4 \pm 5.23 \times 10^3$	$5.70 \times 10^7 \pm 1.41 \times 10^7$
3	HW2BY	$1.35 \times 10^5 \pm 1.56 \times 10^5$	$1.67 \times 10^4 \pm 9.58 \times 10^3$	$1.41 \times 10^8 \pm 1.40 \times 10^8$
4	CW2	$2.25 \times 10^7 \pm 3.59 \times 10^6$	$2.30 \times 10^7 \pm 4.24 \times 10^6$	$2.20 \times 10^{10} \pm 4.24 \times 10^9$

หมายเหตุ

ND = no data

HW2B = แหล่งอาหารตั้งต้นผ่านการฆ่าเชื้อและเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติก,

HW2Y = แหล่งอาหารตั้งต้นผ่านการฆ่าเชื้อและเติมกล้าเชื้อยีสต์,

HW2BY = แหล่งอาหารตั้งต้นผ่านการฆ่าเชื้อและเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติกและยีสต์,

CW2 = แหล่งอาหารตั้งต้นที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่เติมกล้าเชื้อ

ตารางที่ 5 คุณภาพทางเคมีของซอสถั่วเหลือง

Quality	HW2B	HW2Y	HW2BY	CW2
pH ^{ns}	4.66±0.01	4.68±0.00	4.64±0.05	4.62±0.02
Total acidity (%) ^{ns}	0.78±0.11	0.81±0.00	0.88±0.32	0.80±0.17
Total soluble solids (°Brix) ^{ns}	26.10±2.12	27.30±1.27	28.50±5.52	29.40±1.70
FAN (g/L) ^{ns}	1.92±.02	1.80±0.21	2.10±0.07	1.99±0.18
Protein (g/L) ^{ns}	10.04±1.25	9.20±0.44	9.67±0.94	7.73±0.05
NaCl content (g/L) ^{ns}	84.55±11.47	84.55±1.64	83.39±3.28	69.49±9.83
A420*	9.24±0.96 ^a	6.67±0.63 ^b	8.55±0.46 ^a	5.00±0.16 ^b

หมายเหตุ;

ns หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) *

หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05),

HW2B = แหล่งอาหารตั้งต้นผ่านการฆ่าเชื้อและเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติก,

HW2Y = แหล่งอาหารตั้งต้นผ่านการฆ่าเชื้อและเติมกล้าเชื้อยีสต์,

HW2BY = แหล่งอาหารตั้งต้นผ่านการฆ่าเชื้อและเติมกล้าเชื้อ

5. สรุปและอภิปรายผล

การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการหมักถั่วเหลือง พบว่า ค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระหว่างการหมักถั่วเหลือง มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ความคล้ายคลึงกันทุกสิ่งทดลอง โดยสามารถสังเกตเห็นว่าค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระหว่างการหมัก ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 20 วันแรกของการหมัก หลังจากนั้นพบว่าค่อยๆ มีค่าลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าลดลงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการหมักในการทดลองครั้งนี้ โดยค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระหว่างการหมักถั่วเหลืองมีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในการศึกษาครั้งนี้ มีลักษณะคล้ายคลึงกับการหมักถั่วเหลืองในการทำมิโซะที่สุพจน์ีย์ และวรวรรณ (2555) ได้ทำการศึกษาวิจัยไว้

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ผลิตกรดแล็กติก (Lactic acid bacteria) ในระหว่างการหมักถั่วเหลือง ทำให้ทราบว่า เมื่อเริ่มต้นหมักถั่วเหลืองพบแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติกมีปริมาณอยู่ระหว่าง 1.35×10^5 - 8.87×10^5 CFU/g แล้วแบคทีเรียมีจำนวนลดลงประมาณ 2 log CFU/g เมื่อหมักนาน 20 วัน หลังจากนั้น พบการเจริญเพิ่มจำนวนอยู่ในช่วง 9.00×10^6 - 2.20×10^{10} CFU/g เมื่อถั่วเหลืองเกิดการหมักนาน 40 วัน ซึ่งคล้ายคลึงกับการหมักซอสถั่วเหลืองของประเทศเกาหลีที่พบว่า แบคทีเรียผลิตกรดแล็กติกมีการเจริญเพิ่มขึ้นจาก 2.4 log CFU/g เป็น 4.5 log CFU/g เมื่อหมักนาน 90 วัน (Lee และคณะ, 2006) ทั้งนี้ การลดลงของแบคทีเรียในช่วงแรกอาจเนื่องมาจากการปรับสภาวะของแบคทีเรีย ตามลักษณะการเจริญของจุลินทรีย์ในการหมัก (วราวุฒิ และรุ่งนภา, 2532) ผลการศึกษานี้แสดงถึงปัจจัยการใช้จุลินทรีย์ต่างกัน ในกระบวนการหมักและสร้างเอนไซม์ย่อยสลายสารประกอบต่างๆ เกิดเป็นเมแทบอลิต์ในถั่วเหลือง ย่อมมีผลกระทบต่อการเจริญในระหว่างการหมักที่แตกต่างกันอย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลต่อลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ รวมถึงการสร้างเอนไซม์ย่อยสลายสารประกอบต่างๆ บนแหล่งอาหารตั้งต้น เช่น การเตรียมแหล่งอาหารตั้งต้น ความแข็งแรงของจุลินทรีย์ และสภาวะการหมัก เป็นต้น (Wang และคณะ 2018)

ผลการทดลองการใช้กล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติกและยีสต์ในกระบวนการหมักถั่วเหลืองเพื่อผลิตซอสถั่วเหลืองในครั้งนี้ สามารถสรุปได้ว่า การเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ทั้งในรูปแบบเชื้อบริสุทธิ์สายพันธุ์เดียว ได้แก่ การเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติก และกล้าเชื้อยีสต์ และการเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบผสม ได้แก่ การเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กติก พร้อมกับกล้าเชื้อยีสต์ ในกระบวนการหมักซอสถั่วเหลือง ส่งผลกระทบบต่อการเปลี่ยนแปลงระหว่างหมักและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซอสถั่วเหลืองที่แตกต่างกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่สนับสนุนและส่งเสริมให้ดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ภายใต้ “โครงการ Platform การเตรียมความพร้อมและพัฒนาบุคลากร เพื่อส่งเสริมให้บุคลากรวิจัยในสถาบันอุดมศึกษาไปปฏิบัติงานเพื่อแก้ไขโจทย์ปัญหาและเทคโนโลยีเพื่อล้านนาสร้างสรรค์ (Creative Lanna)

7. เอกสารอ้างอิง

- จารุวรรณ มณีศรี. (2551). *เทคโนโลยีอาหารหมัก*. พิมพ์ครั้งที่ 2. โพรเพซ. กรุงเทพฯ. 247 น.
- นิอร โฉมศรี. (2555). *จุลชีววิทยาอาหาร*. เชียงใหม่ปริ้นท์ติ้ง. เชียงใหม่. 170 น.
- นิอร โฉมศรี และอัมฤทธิ สีก่อม. (2562). การใช้งาหมักเป็นแหล่งอาหารตั้งต้น ร่วมกับถั่วเหลืองและแป้งสาลีเพื่อการหมักซีอิ๊ว. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมทางวิชาการระดับชาติ (Proceedings) ราชภัฏเลยวิชาการ ครั้งที่ 5 ประจำปี 2562 “วิจัยและนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน” 22 มีนาคม 2562. มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย. 765-771.
- วราวุฒิ ครูสง. (2532). *เทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม*. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.
- สุพจน์ อินทรโมฬี และวรวรรณ สุนันตะ. (2555). ผลของเชื้อจุลินทรีย์ผสมต่อคุณภาพมิโซะ (ปัญหาพิเศษ). ลำปาง: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง.
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Cao, Z., Green-Johnson, J.M., Buckley, N.D. & Lin, Q. (2019). Bioactivity of soy-based fermented foods: A review. *Biotechnology Advances*, 37, 223–238. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.12.001>
- Chen, S., Zhang, F., Ananta, E,m Muller, J.A., Liang, Y., Lee, Y.K. & Liu, S. (2023). Inoculation of *Lactobacillus sakei* with *Pichia kluyveri* or *Saccharomyces boulardii* improves flavor compound profiles of salt-free fermented wheat-gluten: Effects from single strain inoculation. *Current Research in Food Science*, 6, 100492. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100492>

- Chomsri, N. (2008). Impact of protease activity of yeasts on wine fermentation and formation of volatile and non-volatile metabolites. Dissertation, Justus-Liebig-University Giessen.
- Chomsri, N., Intaramoree, S. & Sunantha, W. (2013). Miso Fermentation by Mixed Cultures. The 4th Rajamangala University of Technology International Conference, July 15-16, 2013.
- Couto, S.R. & Sanromán, M.A. (2006) Application of Solid-State Fermentation to Food Industry a Review. *Journal of Food Engineering*, 76, 291-302. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.022>
- Diez-Simon, C., Eichelsheim, C., Mumm, R. & Hall, R.D. (2020). Chemical and sensory characteristics of soy sauce: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68, 11612–11630. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04274>
- Devanthi, P.V.P., Linforth, R., Kadri, H.E. & Gkatzionis, K. (2019). Corrigendum to “Water-in-oil-in-water double emulsion for the delivery of starter cultures in reduced-salt moromi fermentation of soy sauce” [Food Chem. 257 (2018) 243–251]. *Food Chemistry*, 285, 324–325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.022>
- Hui, Y. H., Chandan, R.C., Clark, S., Cross, N.A., Dobbs, J.C., Hurst, W.J., Nollet, L.M.L., Shimoni, E., Smith, E.B., Surapat, S., Toldrá, F. & Titchenal, A. (2007). *Handbook of food products manufacturing*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey. 2308 p.
- Jayachandran, A. and Xu, B. (2019). An insight into the health benefits of fermented soy products. *Food Chemistry*, 271, 362–371. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.158>
- Jiang, X., Zhang, W., Li, L., Xiao, Z., Tang, J. & Wu, C. (2023). Characteristics of microbial community, taste, aroma of high-salt liquid-state secondary fortified fermented soy sauce. *LWT - Food Science and Technology*, 182, 114792. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114792>
- Kim, Y., Kim, E., Son, H.J., Lee, J., Choi, Y. & Rhyu, M.R. (2017). Identification of a key umami-active fraction in modernized Korean soy sauce and the

- impact thereof on bitter-masking. *Food Chemistry*, 233, 256–262.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.123>
- Kirk, R. & Sawyer, R. (1991). *Pearson's composition and analysis of foods*.
Longman Scientific & Technical. Harlow Essex England.
- Maxon, W.D. (1955). Continuous fermentation: a discussion of its principles and
applications. *Applied and Environmental Microbiology*, 3, 110-122.
<https://doi.org/10.1128/am.3.2.110-122.1955>
- Nielsen, S.S. (2017). *Food Analysis Laboratory Manual*. Springer. Lafayette, Indiana.
249 p.
- Lee, K.S., Lee, Y.B., Lee, D.S., & Chung, S.K. (2006). Quality evaluation of Korean soy
sauce fermented in Korean earthenware (Onggi) with different glazes.
International Journal of Food Science and Technology. 41, 1158–1163.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01161.x>
- Liu, Z., Xiao, T., Wang, J., Fu, B., Li, W., Hu, Y., Liu, Z., Fu, C., Wang, C., Li, D. & Xu, N.
(2023). Analysis of the contribution of koji-making with *Z. rouxii* on
volatile compounds of soy sauce. *LWT - Food Science and Technology*,
183, 114903. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114903>
- Rao, K. 2015. Fermentation Biotechnology. Retrieved February 4 2023. from
http://www.fbae.org/2009/FBAE/website/special-topics_general_issues_fermentation_biotechnology.html,
- Shi, K., Song, D., Chen, G., Pistolozzi, M., Wu, Z. & Quan, L. (2015). Controlling
composition and color characteristics of *Monascus* pigments by pH and
nitrogen sources in submerged fermentation. *Journal of Bioscience and
Bioengineering*, 20(2), 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2015.01.001>
- Stanbury, P.F., Whitaker, A. & Hall, S.J. (1995). *Principles of fermentation
technology*. Butterworth- Heinemann (Pergamon). Oxford. 824 p.
- Steinkraus, K.H. (2004). *Industrialization of indigenous fermented foods*. Marcel
Dekker, Inc. New York. 796 p.
- Vaclavik, V.A. & Christian, E.W. (2013). *Essentials of Food Science*. Springer Science
& Business Media, Technology & Engineering.

- Wang, L., Luo, Y., Wu, Y. & Zhenqiang Wu, Z. (2018). Impact of fermentation degree on phenolic compositions and bioactivities during the fermentation of guava leaves with *Monascus anka* and *Bacillus* sp. *Journal of Functional Foods*, 41, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.044>
- Wylie, E.B. & Johnson, M. (1961). Effect of penicillin on the cell wall of *Escherichia coli*. *Biochimica et Biophysica Acta*, 59, 450-457. [https://doi.org/10.1016/0006-3002\(62\)90195-6](https://doi.org/10.1016/0006-3002(62)90195-6)
- Yang, J., Chen, Q., Wang, W., Hu, J. & Hu, C. (2015). Effect of oxygen supply on *Monascus* pigments and citrinin production in submerged fermentation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 119(5), 564-569. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2014.10.014>
- Yee, C.S., Sohedein, M.N.A., Suan, O.P., Loen, A.W.W., Rahim, M.H.A., Soumaya, S., Ilham, Z. & Wan-Mohtar, W.A.A.Q.I. (2021). The production of functional γ -aminobutyric acid Malaysian soy sauce koji and moromi using the trio of *Aspergillus oryzae* NSK, *Bacillus cereus* KBC, and the newly identified *Tetragenococcus halophilus* KBC in liquid-state fermentation. *Future Foods*, 4, 100055. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100055>
- Zhou, K., Zhang, X., Huang, G., Hongsibsong, S., Hao, G., Li, Y., Yang, J. & Xu, Z. (2023). Formation of biogenic amines in soy sauce and reduction via simple phytochemical addition. *LWT - Food Science and Technology*, 176, 114542. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114542>

ผลของสารให้ความหวานต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากเมี่ยง

นิอร โฉมศรี^{1*}, พยุงศักดิ์ มะโนชัย¹, กมลวรรณ มโนวรรณ¹ และ อนงค์ อัสนีจันทรา¹

¹ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000

*E-mail: niornchomsri@mult.ac.th , 082-034-5886

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการนำเมี่ยงไปพัฒนาเป็นเครื่องดื่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคโดยมีปัจจัยการศึกษาจำนวน 2 ปัจจัย คือ ชนิดของสารให้ความหวานได้แก่ น้ำเชื่อมฟรักโทส และน้ำผึ้ง และระดับของสารให้ความหวานจำนวน 2 ระดับ ได้แก่ 10 และ 15 องศาบริกซ์ โดยพบว่า การใช้น้ำผึ้งในการผลิตเครื่องดื่มทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสีแดง (a*) สูงกว่าการใช้น้ำเชื่อมฟรักโทส ($p < 0.05$) และการใช้ระดับความหวานที่ 15 องศาบริกซ์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) สูงกว่าการใช้ระดับความหวานที่ 10 องศาบริกซ์ ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากน้ำเมี่ยงพบว่า มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.69-1.01, 9.90-14.90 องศาบริกซ์ และ 4.10-6.26 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากเมี่ยงที่ผลิตได้จากการศึกษานี้ ได้รับคะแนนความชอบโดยเฉลี่ยในคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นเมี่ยง รสชาติ และความชอบรวมอยู่ระหว่าง 6.25-7.31 คะแนน

คำสำคัญ เมี่ยง ใบชาหมัก น้ำผึ้ง น้ำเชื่อมฟรักโทส

Effect Of Sweeteners On The Quality Of Beverage Products From Miang (Fermented Tea Leaves)

Niorn Chomsri^{1*}, Phayungsak Manochai¹, Kamonwan Manowan¹
and Anong Atsaneechantra¹

¹ Agricultural Technology Research Institute,
Rajamangala University of Technology Lanna,
Muang District, Lampang 52000, Thailand

*E-mail: niornchomsri@rmult.ac.th , 082-034-5886

Abstract

The purpose of this study was to develop the use of Miang as an alternative beverage for consumers. There were 2 experimental factors, i.e. sweetener type (fructose syrup and honey) and sweetener level (10 and 15%). The use of honey in beverage production generated higher red color (a*) in the beverage products than the use of fructose syrup (p<0.05). Beverages with a sweetness level of 15 °Brix resulted in higher color values of red (a*) and yellow (b*) than beverages with a sweetness level of 10 °Brix. The beverage products from Miang showed total acid content, total soluble solid content and total phenol compound content between 0.69-1.01%, 9.90-14.90 °Brix and 4.10-6.26 g/l, respectively. The beverage products from Miang produced in this study gained hedonic scores for various attributes of appearance, color, overall odor, Miang odor, taste and overall acceptance in the range of 6.25-7.31 scores.

Keywords: Miang, Fermented tea leaves, Honey, Fructose syrup

1. บทนำ

ชา (*Camellia sinensis*) เป็นพืชที่ใช้ส่วนของใบ ยอดอ่อน และก้าน นำมาผ่านกรรมวิธีแปรรูปหลากหลายขึ้นกับชนิดของชา ชาเป็นเครื่องดื่มที่มีการบริโภคมากที่สุดเป็นอันดับสองของโลกรองจากน้ำ (Ge et al., 2023; Farag et al., 2023) คนไทยในภาคเหนือ นำใบชาไปหมักเป็นผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า “เมี่ยง” เมี่ยงหรือใบชาอัสสัมหมักเป็นผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นภาคเหนือที่นิยมกินเพื่อเพิ่มความสดชื่นกระปรี้กระเปร่า และใช้ในงานประเพณีต่างๆ มานับร้อยปี แต่ช่วงหลังคนไทยบริโภคลดน้อยลงเพราะกลิ่นฉุน ไม่ถูกปากคนรุ่นใหม่ กระบวนการผลิตไม่ได้มาตรฐาน วัตถุดิบอุปกรณ์ กรรมวิธีการผลิตไม่ถูกสุขลักษณะ สิ้นเปลืองแรงงาน ใช้เวลานาน ไม่สามารถผลิตได้ปริมาณมาก ควบคุมคุณภาพไม่ได้ทุกขั้นตอน ทั้งที่เมี่ยงมีสารออกฤทธิ์ต่อสุขภาพหลายชนิด เช่น คาเฟอีน ช่วยให้สดชื่น ทีนีน ช่วยให้หลับสบาย แคเทชิน สารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งและโรคเรื้อรัง โพรไบโอติกส์ กรดไขมันสายสั้น ช่วยป้องกันยับยั้งโรคต่างๆ มากมาย (สะเลเต, 2561) ใบเมี่ยงถือเป็นวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นที่สำคัญ เมื่อทำการหมักแบบโบราณ รา แบคทีเรีย ยีสต์ ที่มีประโยชน์ในธรรมชาติจะเกิดตามมา ทำหน้าที่เป็นโรงงานแปรรูปเปลี่ยนสารสำคัญในใบเมี่ยงให้กลายเป็นสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย มีทั้ง โพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ คาเทชิน ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเกิดมะเร็ง และยังมีสารแทนนินต้านการอักเสบ นอกจากนี้ยังพบจุลินทรีย์ผลิตกรดแล็กติก และโพรไบโอติก ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายอีกด้วย และไม่พบจุลินทรีย์ก่อโรคที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ (ชาติชาย, 2562; Hou et al., 2023) จากแนวความคิดบริโภคของผู้คนในสังคมปัจจุบัน ที่มีความต้องการความสะดวกรวดเร็ว และใส่ใจกับสุขภาพ ดังนั้นแนวความคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากพืชที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างใบชา และด้วยคุณประโยชน์ที่หลากหลายของเมี่ยง จึงเป็นกลุ่มอาหารทางเลือกของผู้รักสุขภาพที่มีโอกาสในทางการตลาดเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพหรือเครื่องดื่มฟังก์ชันนัลที่ยังคงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคทั่วโลก จากรายงานมูลค่าตลาดโลกของเครื่องดื่มฟังก์ชันนัลในปี 2024 พบว่า มีการเติบโตถึง 208.13 พันล้านดอลลาร์ และมีแนวโน้มอัตราการเติบโตอย่างต่อเนื่องไปจนถึงปี 2027 (Gupta et al., 2023) และรายงานมูลค่าทางการตลาดของเครื่องดื่มในกลุ่มที่ผลิตจากพืชพบว่า มีมูลค่าตลาดโลกในปี 2017 ประมาณ 9.8 พันล้านดอลลาร์ และคาดว่ามูลค่าในปี 2023 จะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 19.7 พันล้านดอลลาร์ (Grau-Fuentes et al., 2023) ดังนั้น แนวคิดการนำเมี่ยงหรือใบชาหมักไปผลิตเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพหรือเครื่องดื่มฟังก์ชันนัล เพื่อเป็นเครื่องดื่มทางเลือก จึงมีศักยภาพเชิงพาณิชย์ที่ช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับใบเมี่ยงได้

2. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ชา เป็นผลผลิตทางเกษตรกรรมจากใบ ยอดอ่อน และก้านของต้นชา (*Camellia sinensis*) นำมาผ่านกรรมวิธีแปรรูปหลากหลาย และชา ยังหมายรวมถึงเครื่องดื่มที่มีกลิ่นหอม ทำจากพืชตากแห้งชนิดต่าง ๆ นำมาชงหรือต้มกับน้ำร้อน ชายังเป็นเครื่องดื่มที่มีผู้บริโภคมากที่สุดเป็นอันดับสองของโลก รองจากน้ำ (วิกิพีเดีย, 2563) ตามพระราชบัญญัติอาหาร ชา หมายความว่า ใบ ยอด และก้าน ที่ยังอ่อนอยู่ของต้นชาในสกุล *Camellia* ที่ทำให้แห้งแล้ว (สำนักอาหาร, 2566) ยอดใบชาสดเมื่อผ่านกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันทำให้ได้ชาต่างกัน 3 ประเภท คือ ชาเขียว ชาอูหลง และชาดำ ชาเขียวเป็นชาที่ไม่ผ่านการหมัก ชาอูหลงเป็นชาที่หมักเพียงบางส่วน และชาดำเป็นชาที่หมักอย่างสมบูรณ์ ในระหว่างการหมัก โมโนเมอริกคาเทชิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในใบชาจะเปลี่ยนไปเป็นไดเมอริกคาเทชิน (dimeric catechins) ได้หลายชนิด ได้แก่ ทีเอฟลาวิน (Theaflavins) ทีเอซิเนนซิน (Theasinensins) ทีเอซิทริน (Theacitrine) และทีเอแนฟโทควิโนน (Theanaphthoquinone) จากนั้นจะเกิดการรวมเป็นโพลิเมอริกคาเทชิน ที่เรียกว่า ทีเอรูบิจิน (Thearubigins) องค์ประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการหมักชา ส่งผลต่อสี และรสชาติของชา ทำให้ชาที่ผ่านการหมักมีสีและรสชาติที่ ต่างไปจากชาที่ไม่ผ่านการหมัก (ธีรพงษ์, 2555) การนำใบชาอัสสัม (*Camellia sinensis* var. *assamica*) ไปหมัก ทำให้เกิดสารประกอบสำคัญต่างๆ ได้แก่ flavanols, hydroxyl-4-flavonols, anthocyanins, flavones, flavonols, and phenolic acids โดยมี Catechins เป็นสารสำคัญในกลุ่ม flavanols (flavan-3-ols) พบว่ามีอยู่ร้อยละ 85 ของสารประกอบฟีนอล (Khanongnuch et al., 2017) ซึ่งคนไทยภาคเหนือเรียกใบชาหมักว่า “เมี่ยง” เมี่ยงเป็นชื่อดั้งเดิม มีมานานร่วม 500 ปี ที่ชนเผ่าไทในแถบภาคเหนือของไทยขึ้นไปจนถึงจีนตอนใต้ใช้เรียกชาน “ชาป่า” ที่นำใบมาหมักทำเป็นอาหารว่างไว้เคี้ยวเล่น ให้ความรู้สึกสดชื่น แก้ง่วง กระตุ้นความขยันในการทำเกษตร ทั้งยังเป็นพืชเศรษฐกิจของผู้คนที่อาศัยอยู่ในเขตป่าเขาสูงไม่สามารถปลูกข้าวได้ นำไปเป็นสินค้าแลกเปลี่ยนกับคนในพื้นที่ราบที่ปลูกข้าวได้ผลผลิตดีกว่า จากการสำรวจพบว่า ชุมชนที่กินเมี่ยงมีอัตราการป่วยต่ำ มีสุขภาพแข็งแรง มีหน้าตาอ่อนกว่าวัย โดยกรรมวิธีหมักเมี่ยงแบบพื้นบ้าน ทำให้ได้สารสำคัญที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมากมายจากใบเมี่ยงซึ่งเป็นวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นที่สำคัญที่จุลินทรีย์ธรรมชาติที่มีประโยชน์ทำหน้าที่เปลี่ยนสารสำคัญในใบเมี่ยงให้กลายเป็นสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น โพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ คาเทชิน ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเกิดมะเร็ง และยังมีสารแทนนินต้านการอักเสบ นอกจากนี้ยังพบจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่มีประโยชน์ต่อร่างกายอีกด้วย และไม่พบจุลินทรีย์ก่อโรคที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ (ชาติชาย, 2562; Khanongnuch et al., 2017) ซึ่งคล้ายคลึงกับละเพ็ด

ซึ่งเป็นอาหารหมักพื้นบ้านของประเทศพม่า ที่มีลักษณะการหมักของใบชา (*Camellia sinensis*) ที่มีจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องเช่นเดียวกับการหมักเมี่ยงของไทย (Bo et al., 2020; Wen et al., 2023)

การศึกษายีสต์ในกระบวนการหมักเมี่ยง ทำให้ทราบว่า ยีสต์ที่พบในระหว่างกระบวนการผลิตเมี่ยงเปียยีสต์ที่มีความสามารถทนต่อสภาวะความเข้มข้นของแทนนินได้ดี โดยมีค่ากิจกรรมเอนไซม์แทนเนส ตัวอย่างของยีสต์เหล่านี้ได้แก่ *Debaryomyces hansenii*, *Cyberlindnera rhodanensis* และ *Sporidiobolus ruineniae* (Kanpiengjai et al., 2016) ข้อมูลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเมี่ยงของ ดร.สายลม สัมพันธ์เวชโสภาก ทำให้ทราบว่าเมี่ยงเป็นอาหารหมักที่มีคุณค่ามากมาย มีประโยชน์ต่อสุขภาพจากคาเฟอีนที่ทำให้รู้สึกสดชื่น ที่เอนินที่ทำให้คลายเครียด เพิ่มความจำ ป้องกันเซลล์ประสาท ลดการเสื่อมของสมอง กาบ้าทำให้หลับสบาย และกรดแล็กติกที่ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกัน ลดปริมาณแบคทีเรียก่อโรค และช่วยการพัฒนาให้ได้มาตรฐานการผลิตอาหารที่ดี (นิรนาม, 2560)

จากข้อมูลคุณประโยชน์มากมายของเมี่ยง จึงทำให้มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับเมี่ยงอย่างกว้างขวาง งานวิจัยนี้มีแนวคิดการนำเมี่ยงหรือใบชาหมัก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชาหมักท้องถิ่นที่จัดเป็นอาหารหมักพื้นบ้านไปพัฒนาเป็นเครื่องดื่มเพื่อเพิ่มมูลค่าและความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของสารให้ความหวานในการพัฒนาเครื่องดื่มจากเมี่ยง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิจัยภายใต้กรอบการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิตทางเกษตรบนพื้นที่ได้ร่วมพระบารมีและชุมชนโดยรอบ ภายใต้การดำเนินงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาประจำปี 2566

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารให้ความหวานที่มีต่อคุณภาพ ของเครื่องดื่มจากเมี่ยง

วางแผนการทดลองแบบ 2x2 Factorial in CRD (Completely randomized design) สำหรับการวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี และวางแผนการทดลองแบบ 2x2 Factorial in RCBD (Randomized completely block design) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส กำหนดปัจจัยที่ศึกษาคือ ชนิดของสารให้ความหวานจำนวน 2 ระดับ ได้แก่ น้ำเชื่อมฟรักโทส และน้ำผึ้ง และระดับของสารให้ความหวานจำนวน 2 ระดับ ได้แก่ 10 และ 15 องศาบริกซ์ ตามแนวคิดในการปรับส่วนผสมของผลิตภัณฑ์จาก ไพโรจน์ (2535) และนือร และคณะ (2539) สำหรับการปรับระดับให้ความหวานในการศึกษานี้ ใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด กระบวนการผลิตเครื่องดื่มเมี่ยงใช้วิธีการตามวิธีดัดแปลงจาก นือร

และคณะ (2539) นำน้ำเมี่ยงสกัดที่เตรียมได้เติมน้ำในอัตราส่วนน้ำเมี่ยงสกัดต่อน้ำเท่ากับ 1:1 แล้วนำไปปรับคุณภาพด้านปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วยสารให้ความหวานจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ น้ำเชื่อม และน้ำผึ้ง ตามแผนการทดลอง ตารางที่ 1 สำหรับการปรับปริมาณกรดทั้งหมด กำหนดให้มีการปรับเป็นร้อยละ 0.5 และ 0.7 สำหรับการกำหนดค่าความหวานที่ 10 และ 15 องศาบริกซ์ ตามลำดับ เมื่อปรับคุณภาพได้แล้ว นำส่วนผสมบรรจุขวด ทำการฆ่าเชื้อด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที นำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพ

ตารางที่ 1 สิ่งทดลองที่ใช้ในการขั้นตอนการศึกษาการผลิตเครื่องดื่ม

Treatment	Code	Factor A (Sweetener)	Factor B (Sweetness level)*
1	BS10	Syrup	10
2	BS15	Syrup	15
3	BH10	Honey	10
4	BH15	Honey	15

* ระดับความหวานตรวจวัดโดยใช้รีแฟรกโตมิเตอร์และแสดงผลเป็นองศาบริกซ์

3.2 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์

การตรวจวิเคราะห์ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี (NR 200 3NH Technology, China) ค่าพีเอช ด้วยเครื่องวัดพีเอช (Model C831, Belgium) ปริมาณกรดทั้งหมดโดยวิธีการไทเทรต (Choi et al., 2021) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยใช้รีแฟรกโตมิเตอร์ (Refractometer) และปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดตามวิธีดัดแปลงจาก Spinola et al. (2015) และตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ผลิตภัณฑ์กรดแล็กติกด้วยเทคนิค spread plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ de Man, Rogosa and Sharpe (MRS) (HiMedia Laboratories, Mumbai, India) บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

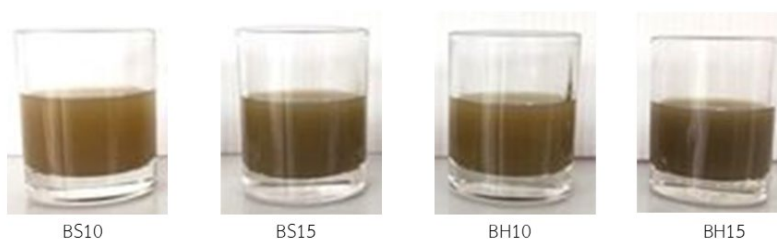
3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

รวบรวมผลการทดลองแล้วประเมินผลการศึกษาโดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติแบบ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความหวานที่มีต่อคุณภาพของเครื่องดื่มจากเมี่ยง

การศึกษาปัจจัยชนิดของสารให้ความหวานจำนวน 2 ระดับ ได้แก่ น้ำเชื่อมฟรักโทส และน้ำผึ้ง และระดับของสารให้ความหวานจำนวน 2 ระดับ ได้แก่ 10 และ 15 องศาบริกซ์ ในการพัฒนาเครื่องดื่มจากน้ำเมี่ยงที่สกัดได้โดยใช้วิธีการสกัดแบบใช้ความร้อน พบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเมี่ยงที่ผลิตได้มีค่าสี L* ที่แสดงถึงค่าความสว่างอยู่ระหว่าง 28.69-29.15 ค่าสี a* ที่แสดงถึงสีแดง-เขียวมีค่าอยู่ระหว่าง 1.35-1.72 และ ค่าสี b* ที่แสดงถึงสีเหลือง-น้ำเงินสีมีค่าอยู่ระหว่าง 2.55-3.42 (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 1 ลักษณะของเครื่องดื่มจากเมี่ยงที่ผลิตจากชนิด และปริมาณสารให้ความหวานที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความหวานที่มีต่อค่าสีของเครื่องดื่มจากเมี่ยง

Sweetener	Sweetness level	L*	a*	b*
Syrup	10 °Brix	28.69±0.58	1.35±0.07	2.55±0.59
Syrup	15 °Brix	29.15±0.09	1.53±0.06	3.07±0.04
Honey	10 °Brix	28.72±0.07	1.50±0.00	2.76±0.02
Honey	15 °Brix	29.10±0.22	1.72±0.01	3.42±0.17
Source of variation				
Sweetener		ns	*	ns
Sweetness level		ns	*	*
Sweetener x Sweetness level		ns	ns	ns

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่มีความแตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) * หมายถึง มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$); ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ค่าความขุ่นและค่าพีเอชของเครื่องดื่มจากเมี่ยงที่ผลิตได้จำนวน 4 สิ่งทดลอง ทำให้ทราบว่า ปัจจัยชนิดของสารให้ความหวานและระดับของสารให้ความหวาน ไม่ทำให้ค่าความขุ่นและค่าพีเอชของเครื่องดื่มจากเมี่ยงที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1227-1985 NTU และ 3.85-3.88 ตามลำดับ ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากน้ำเมี่ยงพบว่า มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.69-1.01, 9.90-14.90 องศาบริกซ์ และ 4.10-6.26 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความหวานที่มีต่อค่าความขุ่นและองค์ประกอบทางเคมีของเครื่องดื่มจากเมี่ยง

Sweetener	Sweetness level	Turbidity (NTU)	pH	TA (%)	TSS (°Brix)	TPC (g/L)
Syrup	10 °Brix	1227±232	3.88±0.0	0.76±0.00	9.90±0.14	4.01±0.2
			1			9
Syrup	15 °Brix	1985±219	3.85±0.0	1.01±0.22	14.75±0.21	5.90±0.2
			2			7
Honey	10 °Brix	1540±15	3.89±0.0	0.69±0.03	10.05±0.07	4.10±0.9
			1			4
Honey	15 °Brix	1889±152	3.88±0.0	1.01±0.03	14.90±0.14	6.26±0.7
			1			4
Source of variation						
Sweetener		ns	ns	ns	ns	ns
Sweetness level		ns	ns	*	*	*
Sweetener x Sweetness level		ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่มีความแตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง

มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และรา ในตัวอย่างเครื่องดื่มทั้ง 4 สิ่งทดลอง พบว่า ไม่ปรากฏการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มนี้เครื่องดื่มที่ผลิตได้ เมื่อนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากเมี่ยงที่ผลิตได้ ไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า ปัจจัยชนิดของสารให้ความหวานจำนวน 2 ระดับ ได้แก่ น้ำเชื่อมฟรักโทส และน้ำผึ้ง ไม่ส่งผลกระทบต่อคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ที่ผู้ทดสอบชิมประเมินในทุกคุณลักษณะที่ศึกษาในครั้งนี้ แต่ปัจจัยระดับของสารให้ความหวานส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านรสชาติ และการยอมรับรวม นั่นคือ การปรับระดับความหวานที่ 15 องศาบริกซ์ ในการพัฒนาเครื่องดื่มจากน้ำเมี่ยงที่สกัดได้ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการประเมินคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบชิมสูงกว่าการปรับระดับความหวานที่ 15 องศาบริกซ์ ($p < 0.05$) โดยมีข้อสังเกตว่า ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากเมี่ยงที่ผลิตได้ในการศึกษานี้ ได้รับคะแนนความชอบโดยเฉลี่ยในคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นเมี่ยง รสชาติ และความชอบรวมอยู่ระหว่าง 6.25-7.31 คะแนน

ตารางที่ 4 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความหวานที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มจากเมี่ยง

Sweetener	Sweetness level	Appearance	Color	Aroma	Miang aroma	Taste	Overall
Syrup	10 °Brix	6.59±1.28	6.59±1.2	6.62±0.5	6.90±0.7	6.34±1.4	6.43±1.1
			0	1	7	4	5
Syrup	15 °Brix	6.31±1.59	6.59±1.4	6.92±0.7	7.09±0.6	7.12±1.7	7.31±1.0
			3	6	2	2	6
Honey	10 °Brix	6.71±1.33	6.68±1.3	6.93±0.8	7.03±1.0	6.25±1.6	6.71±1.1
			0	9	8	3	9
Honey	15 °Brix	6.53±1.52	6.87±1.5	7.15±0.9	7.28±0.7	6.78±1.9	6.93±1.2
			2	9	9	7	9
Source of variation							
Sweetener		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sweetness level		ns	ns	ns	ns	*	*
Sweetener x Sweetness level		ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่มีความแตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

5. สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาปัจจัยชนิดของสารให้ความหวานจำนวน 2 ระดับ ได้แก่ น้ำเชื่อมฟรักโทส และน้ำผึ้ง และระดับของสารให้ความหวานจำนวน 2 ระดับ ได้แก่ 10 และ 15 องศาบริกซ์ ในการพัฒนาเครื่องดื่มจากน้ำเมี่ยงที่สกัดได้โดยใช้วิธีการสกัดแบบใช้ความร้อน พบว่าเครื่องดื่มจากเมี่ยงที่ได้มีสีเขียวมะกอก และมีความขุ่นจากองค์ประกอบต่างๆ ที่ได้จากการสกัด (ภาพที่ 1) ผลการตรวจวิเคราะห์ค่าสีทำให้ทราบว่า ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อค่าสีของเครื่องดื่มจากเมี่ยงที่ผลิตได้ (ตารางที่ 2) โดยพบว่า การใช้ น้ำผึ้ง ในการผลิตเครื่องดื่มทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสีแดง (a^*) สูงกว่าการใช้ น้ำเชื่อมฟรักโทส ($p < 0.05$) และการใช้ระดับความหวานที่ 15 องศาบริกซ์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) สูงกว่าการใช้ระดับความหวานที่ 10 องศาบริกซ์ ซึ่งอาจจะอธิบายได้จากองค์ประกอบทางเคมีตามธรรมชาติที่พบอยู่ในน้ำผึ้งที่มีสีเริ่มต้นเป็นสีออกเหลืองแดง เมื่อเทียบกับน้ำเชื่อมฟรักโทส เมื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องดื่มจึงส่งผลกระทบต่อค่าสีดังกล่าว นอกจากนี้ ยังอาจเป็นผลกระทบจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) ได้อีกด้วย (นิธิยา, 2551)

การใช้เทคนิคการปรับสัดส่วนของความหวานและปริมาณกรดที่เหมาะสม เป็นลักษณะของการใช้ส่วนผสมในการผลิตเครื่องดื่มโดยทั่วไป (ไพโรจน์, 2535; Vaclavik and Christian, 2013) เมื่อใช้หลักการคำนวณของอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำตาลและกรด (Sugar acid ratio) ซึ่งในการศึกษานี้ประยุกต์การปรับส่วนผสมด้วยหลักการคำนวณ Brix/acid ratio (Shachman, M. 2004) จึงกำหนดสัดส่วนของน้ำตาลต่อกรดตามแผนการศึกษา ในการศึกษาครั้งนี้ระดับของสารให้ความหวานเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ตัวอย่างเครื่องดื่มจากเมี่ยงที่ได้มีปริมาณกรดทั้งหมดและค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแตกต่างกัน ซึ่งอธิบายได้จากการปรับส่วนผสมในขั้นตอนการผลิตที่แตกต่างกัน การผลิตเครื่องดื่มจากเมี่ยงที่ใช้น้ำเมี่ยงสกัดด้วยกรรมวิธีการสกัดด้วยความร้อน ใช้น้ำผึ้ง และการปรับระดับความหวานที่ 15 องศาบริกซ์ ส่งผลกระทบต่อเชิงบวกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของน้ำผึ้งที่น่าจะมีสารประกอบในกลุ่มดังกล่าวเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ ยังส่งผลต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากเมี่ยงด้วย ซึ่งน่าจะอธิบายได้จากลักษณะกลิ่นรสของน้ำผึ้งและอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำตาลและกรดที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคนั่นเอง (Chen et al., 2022)

จากข้อมูลการศึกษาปัจจัยผลของชนิดและระดับสารให้ความหวานที่มีต่อคุณภาพของเครื่องดื่มจากเมี่ยง จึงสามารถสรุปโดยภาพรวมได้ว่าการใช้น้ำเชื่อมฟรักโทสและน้ำผึ้งไม่มีผลกระทบต่อความแตกต่างที่ชัดเจนของคุณสมบัติผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากเมี่ยงที่ผลิตได้

อย่างไรก็ตาม การตัดสินใจใช้น้ำฝึ้งอาจมีข้อดีในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่น้ำฝึ้งมีราคาถูกกว่าน้ำเชื่อมฟรักโทส แต่หากพิจารณาถึงจุดขายสินค้าที่ต้องการให้เกิดความแตกต่างและความเป็นเอกลักษณ์ การใช้น้ำฝึ้งในกระบวนการผลิตก็เป็นโอกาสทางเลือก การนำเสนอผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจอีกทางหนึ่ง ในขณะที่การปรับระดับความหวานที่ 15 องศาบริกซ์ มีแนวโน้มส่งผลกระทบต่อเชิงบวกในการพัฒนาเครื่องดื่มจากน้ำเมียงที่สกัดได้มากกว่าการปรับระดับความหวานที่ 10 องศาบริกซ์ อย่างไรก็ตาม การปรับระดับความหวานที่ระดับต่ำก็เป็นข้อควรคำนึงถึงเช่นกันสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมปริมาณน้ำตาล ในด้านผลการทดสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และราพบว่า ไม่ปรากฏการเจริญของจุลินทรีย์ ทั้งสองกลุ่มนี้เครื่องดื่มที่ผลิตได้ จึงถือได้ว่ากรรมวิธีการผลิตในการศึกษานี้ มีความเหมาะสมต่อกระบวนการผลิตเครื่องดื่มจากเมียง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การผลิตเครื่องดื่มจากเมียงที่ใช้น้ำเมียงสกัดด้วยกรรมวิธีการสกัดด้วยความร้อน ใช้น้ำเชื่อมฟรักโทสหรือน้ำฝึ้ง และการปรับระดับความหวานที่ 15 องศาบริกซ์ ส่งผลกระทบต่อเชิงบวกด้านคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากเมียง

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการสนับสนุนศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ประจำปี 2566 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่สนับสนุนและส่งเสริมให้ดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ภายใต้งบประมาณแผนงาน “ไ้ร่มพระบารมี”

7. เอกสารอ้างอิง

ชาติชาย ศิริพัฒน์. (2562). เมียง..ชาป่าหมัก ของว่างโบราณยับยั้งมะเร็ง. หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ. แหล่งที่มา: <https://www.thairath.co.th/news/local/north/1535661>, 1 มิถุนายน 2566

ธีรพงษ์ เทพกรณ์. (2555). ชา: กระบวนการผลิต และองค์ประกอบทางเคมีจากการหมัก. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 17(2): 189-196.

นิธิยา รัตนานนท์. (2551). เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 487 น.

นิรนาม. (2560). ตามรอย “เมียง” ภูมิปัญญาล้านนา สู่การปรับตัวเป็น “พืชเศรษฐกิจ”. แหล่งที่มา: <https://today.line.me/th/v2/article/nvqZzg>, 30 เมษายน 2563.

- ไพโรจน์ วิริยจาร์ . (2 5 3 5) . เครื่องดื่ม ,
ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารคณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 350 น.
- สะเลเต , (2 5 6 1) . อัฟเกรด . เมื่อยงล้านนา . แหล่งที่มา :
<https://www.thairath.co.th/news/local/north/1234602>, 1 มิถุนายน 2566
- สำนักอาหาร . 2 5 6 6 . พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2 5 2 2
พร้อมกฎกระทรวงและประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับปรับปรุงปี 2562).
สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. กระทรวงสาธารณสุข. 2147 น.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2563). เครื่องดื่ม. แหล่งที่มา: <https://th.wikipedia.org/wiki/>, 1
มิถุนายน 2566
- Bo, B., Kim, S.A. and Han, N.S. (2020). Bacterial and fungal diversity in Laphet, traditional fermented tea leaves in Myanmar, analyzed by culturing, DNA amplicon-based sequencing, and PCR-DGGE methods. *International Journal of Food Microbiology* 320: 108508.
- Choi, S., Yang, S. and Yoon, K. (2021). Lactic acid bacteria starter in combination with sodium chloride controls pathogenic *Escherichia coli* (EPEC, ETEC, and EHEC) in kimchi. *Food Microbiology*, 100, DOI: 10.1016/j.fm.2021.103868.
- Chen, L., Wu, W., Zhang, N., Bak, K.H., Zhang, Y. and Fu, Y. (2022). Sugar reduction in beverages: Current trends and new perspectives from sensory and health viewpoints. *Food Research International* 162: 112076.
- Farmworth, E. (2003). Handbook of fermented functional foods. CRC Press. Boca Raton. 390 p
- Filippis, F.D., Troise, A.D., Vitaglione, P. and Ercolini, D. (2018). Different temperatures select distinctive acetic acid bacteria species and promotes organic acids production during Kombucha tea fermentation. *Food Microbiology* 73: 11-16.
- Farag, M.A., Elmetwally, F., Elghanam, R., Kamal, N., Hellal, K., Hamezah, H.S., Zhao, C. and Mediani, A. (2023). Metabolomics in tea products; a compile of applications for enhancing agricultural traits and quality control analysis of *Camellia sinensis*. *Food Chemistry* 404: 134628.

- Food ingredients Asia. (2563). 9 เทรนด์อาหารและเครื่องดื่มในปี 2020. แหล่งที่มา: <https://www.sanook.com/health/19825/>. 18 มีนาคม 2563
- Grau-Fuentes, E., Rodrigo, D., Garzón, R. and Rosell, C.M. (2023). Understanding the marketed plant-based beverages: From ingredients technological function to their nutritional value. *Journal of Functional Foods* 106: 105609.
- Gupta, A., Sanwal, N., Bareen, M.A., Barua, S., Sharma, N., Olatunji, O.J., Nirmal, N.P. and Sahu, J.K. (2023). Trends in functional beverages: Functional ingredients, processing technologies, stability, health benefits, and consumer perspective. *Food Research International* 170: 113046.
- Hou, Y., Mao, H., Lu, F., Ma, C., Zhu, S., Li, G., Huang, S., Zhang, Y., Lv, C. and Xiao, R. (2023). Widely targeted metabolomics and HPLC analysis elaborated the quality formation of Yunnan pickled tea during the whole process at an industrial scale. *Food Chemistry* 422: 135716.
- Kirk, R. and Sawyer, R. (1991). *Pearson's composition and analysis of foods*. Longman Scientific & Technical. Harlow Essex England. 708 p.
- Kanpiengjai, A., Chui-Chai, N., Chaikaew, S. and Khanongnuch, C. (2016). Distribution of tannin-tolerant yeasts isolated from Miang, a traditional fermented tea leaf (*Camellia sinensis* var. *assamica*) in northern Thailand. *International Journal of Food Microbiology* 238: 121-131.
- Khanongnuch, C., Unban, K., Kanpiengjai, A. and Saenjum, C. (2017). Recent research advances and ethno-botanical history of miang, a traditional fermented tea (*Camellia sinensis* var. *assamica*) of northern. *Journal of Ethnic Foods Thailand* 4: 135-144.
- Meilgaard, H., Civille, G. V. and CarT, B. T. (2006). *Sensory evaluation techniques*. CRC Press. Boca Raton. 464 p.
- Potter, N.N. 1986. *Food science*. Van Nostrand Reinhold Company. New York. 713.
- Spinola, V., Pinto, J. and Castilho, P, C. (2015). Identification and quantification of phenolic Compounds of selected fruits from Madeira Island by HPLC-DADES-MS and screening for their antioxidant activity. *Food Chemistry* 173: 14. 30.

- Srihari, T., Karthikesan, K., Ashokkumar, N. and Satyanarayana, U. (2013). Antihyperglycaemic efficacy of kombucha in streptozotocin-induced rats. *Journal of Functional Foods* 5: 1794–1802.
- Steinkraus, K.H. (2002). Fermentations in world food processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 1:23-30.
- Steinkaus, K. H. (2004) Industrialization of indigenous fermented foods, Marcel DeKKe: New York. 796 p.
- Sharma, V. & Mishra, H.N. (2014). Unstructured kinetic modelling of growth and lactic acid production by *Lactobacillus plantarum* NCDC 414 during fermentation of vegetable juices. *LWT - Food Science and Technology* 59: 1123-1128.
- Vaclavik, V.A. and Christian, E. W. (2008). Essentials of Food Science. Springer. Dallas. 571 p.
- Wen, M., Zhou, F., Zhu, M., Han, Z., Lai, G., Jiang, Z., Long, P. and Zhang, L. (2023). Monitoring of pickled tea during processing: From LC-MS based metabolomics analysis to inhibitory activities on α -amylase and α -glycosidase. *Journal of Food Composition and Analysis* 117: 105108.



สถาบันวิจัยและพัฒนา : 98 หมู่ 8 ตำบลป่าป้อง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย 50220
โทรศัพท์ : 0 5326 6518 ต่อ 1011 , โทรสาร : 0 5326 6522