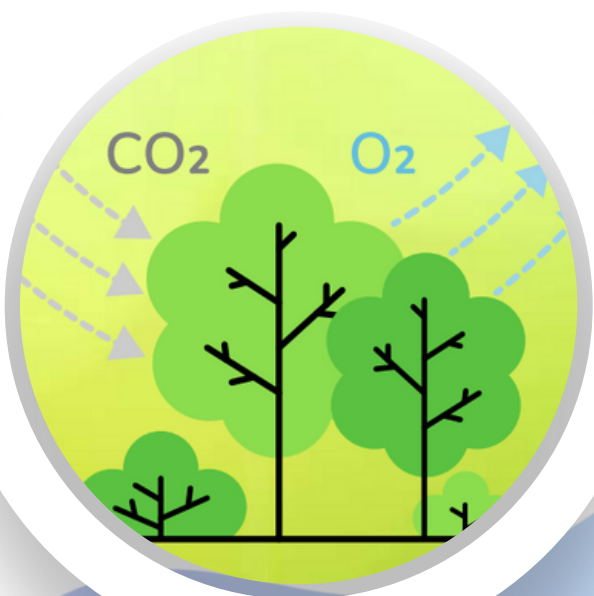




**การประชุมวิชาการ
สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติ ครั้งที่ 26**

TSAE
2025

"การเกษตรรักษาสภาพแวดล้อมของเอเชีย"



วันที่ 18 - 19 กันยายน 2568

**ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5
กรมส่งเสริมการเกษตร**

สาส์นจากนายกสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย



การประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 26 ในปี 2568 นี้ มีความแตกต่าง จากที่ผ่านมาเป็นอย่างมาก ประการแรกคือการแยกการจัดงานระหว่างการประชุมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับนานาชาติ ครั้งที่ 18 เนื่องจากการประชุมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับนานาชาติ ได้มีความร่วมมือในการจัดร่วมกันของ Asian Association of Agricultural Engineering เป็นครั้งที่ 2¹ และมี Nepal Society of Agricultural Engineering เข้าร่วมเป็นภาคีเพิ่มในการจัด ณ มหาวิทยาลัยการเกษตรไทย ประเทศเนปาล² ซึ่งในมิติของระดับนานาชาติจะเกิดประโยชน์ในการสร้างความเชื่อมโยงและความสัมพันธ์ของนานาชาติใน

สาขาวิชาเดียวกัน การประสานเชื่อมโยงให้เกิดการจัดการประชุมวิชาการในระดับนานาชาติร่วมกับชาติอื่นๆจึงนับเป็นความจำเป็นและนับเป็นโอกาสของสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยที่จะมีโอกาสกว้างขวางยิ่งขึ้น ทั้งในมิติของการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ทางวิศวกรรมเกษตร การมีโอกาสได้แสดงผลงาน แสดงศักยภาพ และสมรรถนะของวิศวกรไทย และโอกาสของการสร้างสรรค์ผลงานร่วมกันในระดับนานาชาติเป็นการต่อเนื่อง รวมทั้งเป็นโอกาสของการเปิดโลกทัศน์ ให้ได้สัมผัสกับวิสัยทัศน์ของผู้ร่วมสาขาวิชาชีพเดียวกันในต่างประเทศ ได้เห็นถึงสมรรถนะ ความแข็งแกร่ง และความก้าวหน้าของต่างชาติ รวมถึงได้มีโอกาสเปรียบเทียบ ความสามารถระหว่างกัน อันจะเป็นแรงหนุนให้วิศวกรไทยได้ตื่นตัวในการยกระดับตนเองให้สูงทัดเทียมกับนานาชาติด้วยทางหนึ่ง ส่วนประการที่ 2 คือรูปแบบของการจัดการ การประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติในครั้งนี้ได้จัดให้มีการผสมผสานการจัดการประชุมวิชาการในรูปแบบมาตรฐาน ร่วมกับการจัดการอบรมเชิงปฏิบัติการ "การอบแห้งผัก-ผลไม้-เครื่องเทศ-สมุนไพร: การยกระดับมูลค่าผลิตภัณฑ์-ลดพลังงาน-รักษาสี-แวตล้อม" ร่วมด้วย ทั้งนี้ เพื่อเป็นการนำเสนอผลงานในเชิงบริการวิชาการ แก่บุคคลภายนอก เนื่องจากระบบการศึกษาและธุรกิจอุตสาหกรรมของประเทศมีการเปลี่ยนแปลงไปมาก กล่าวคือ ปัจจุบันผู้ประกอบการมีความต้องการนำผลงานวิชาการไปใช้เพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมได้อย่างเป็นรูปธรรมโดยเร็ว ต้องการเข้าถึงองค์ความรู้ที่สามารถต่อยอดได้ทันที รวมถึงต้องการเข้ามามีส่วนร่วมในการเสนอทิศทางการวิจัย

สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยจึงได้ปรับบริบทให้เข้ากับสภาพแวดล้อมความต้องการผลงานวิชาการ สอดรับกับความต้องการทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ และเชื่อว่าการเดินเข้าสู่บทบาทของสมาคมวิชาชีพอย่างเต็มตัวในครั้งนี้จะสามารถสร้างโอกาสในความก้าวหน้าให้แก่อุตสาหกรรมเกษตร เกษตรกร และวิศวกรการเกษตรได้อย่างแท้จริงและยั่งยืนต่อไป



นายกสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

๑๘ กันยายน ๒๕๖๘

¹ ความร่วมมือครั้งแรกจัดขึ้นที่ประเทศไทยในปีที่ผ่านมาโดยมีสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยเป็นผู้นำดำเนินการหลัก

² ได้ปรับมาใช้รูปแบบ ONLINE ระหว่าง 13-14 กันยายน 2568 แทน เนื่องจากเกิดเหตุความไม่สงบในประเทศเนปาล

กำหนดการ
การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 26
ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1 กรมส่งเสริมการเกษตร กรุงเทพมหานคร

วันพฤหัสบดีที่ 18 กันยายน 2568	
เวลา	กิจกรรม
08.00 – 09.00 น.	ลงทะเบียนอบรมเชิงปฏิบัติการ ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1 กรมส่งเสริมการเกษตร
09.00 – 09.15 น.	พิธีเปิด
09.15 – 09.50 น.	อบรมเชิงปฏิบัติการ “การอบแห้งผัก – ผลไม้ – เครื่องเทศ – สมุนไพร: การยกระดับมูลค่าผลิตภัณฑ์ – ลดพลังงาน – รักษาสิ่งแวดล้อม Perishable Crops Drying Form Farm to Fortune (ช่วงที่ 1)
09.50 – 10.00 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
10.00 – 12.00 น.	อบรมเชิงปฏิบัติการ (ช่วงที่ 2)
12.00 – 13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน
13.00 – 14.30 น.	อบรมเชิงปฏิบัติการฯ (ช่วงที่ 3)
14.30 – 14.45 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
14.45 – 16.30 น.	อบรมเชิงปฏิบัติการฯ (ช่วงที่ 4)
17.00 – 18.30 น.	ประชุมสมาชิกสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย (โรงแรมมารวยการ์เด็น)
18.30 – 21.00 น.	งานเลี้ยงต้อนรับผู้ร่วมประชุม (โรงแรมมารวยการ์เด็น)
วันศุกร์ที่ 19 กันยายน 2568	
เวลา	กิจกรรม
08.30 – 09.30 น.	ลงทะเบียนประชุมวิชาการ ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1 กรมส่งเสริมการเกษตร
09.30 – 10.30 น.	บรรยายพิเศษ (ช่วงที่ 1) เรื่อง “การประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในงานวิศวกรรมเกษตร” โดย รศ.ดร.ชาญชัย ทองโสภณ
10.30 – 10.45 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
10.45 – 12.00 น.	บรรยายพิเศษ (ช่วงที่ 2)
12.00 – 13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน
13.00 – 14.30 น.	การนำเสนอผลงานภาคบรรยาย/โปสเตอร์ (ช่วงที่ 1)
14.30 – 14.45 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
14.45 – 16.30 น.	การนำเสนอผลงานภาคบรรยาย (ช่วงที่ 2)
16.30 – 17.00 น.	มอบรางวัล Best Paper และปิดการประชุม

กำหนดการ

การนำเสนอผลงานภาคบรรยาย

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 26
ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1 กรมส่งเสริมการเกษตร กรุงเทพมหานคร

วันศุกร์ที่ 19 กันยายน 2568	
ช่วงที่ 1 ประธาน ศ. ดร.สักรมณ เทพหัสดิน ณ อยุธยา	
13.00 – 13.15 น.	ID7-การทดสอบสมรรถนะเครื่องให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำใต้ดินแบบต่อพ่วงแทรกเตอร์ โดย นฤมล บุญกระจ่าง, ผดุงศักดิ์ วานิชชัง, ศิริวัฒน์ ธนจารุพรพิสิฐ, สพลดนัย ผ่องอำพันธ์, อุดมศักดิ์ กิจทวี, สุธีรา อานามวงษ์ และชัยยะ จันทรา
13.15 – 13.30 น.	ID13-ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การงอกในการอบเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยเครื่องอบแบบลดความดันอากาศ โดย กลวัชร ทิมินกุล, เวียง อากรซี, วัชรพงษ์ ตามไธสง, ทิวากร กาลจักร, และเปรมจิตต์ ถิ่นคำ
13.30 – 13.45 น.	ID21-อิทธิพลของความชื้นมูลไก่ไข่ารมณดีที่มีผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดเม็ดแบบลูกกลิ้งแนวตั้ง โดย ประพัฒน์ อธิปัญจพงษ์, พชร ปุสสะรังสี, ลือพงษ์ ลือนาม
13.45 – 14.00 น.	ID56-เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวน้ำหอมทรงเพชรแบบอัตโนมัติ โดย ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์, ปรีชา อานันท์รัตนกุล, ศุภร อ่างบุญพงษ์, จิรวัสส์ เจียรตระกูล, อนุชิต ฉ่ำสิงห์, ณัฐสิทธิ์ อยู่เย็น
14.00 – 14.15 น.	ID62-การศึกษาและพัฒนาเครื่องหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์มสำหรับการวิเคราะห์หองค์ประกอบทะลายปาล์ม โดย ปริดาวรรณ ไชยศรีชลธาร, นายวัชรพงษ์ ตามไธสง, ศิริลักษณ์ สมนึก, และ ชูศักดิ์ ชวประดิษฐ์
14.15 – 14.30 น.	ID75-วิจัยและพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดข้าวเปลือก สำหรับการทดสอบเพื่อประเมินเครื่องเกี่ยวนวดข้าว มาตรฐาน มอก. 1428-2560 โดย ศักดิ์ชัย อาษาวัง, เวียง อากรซี, กลวัชร ทิมินกุล, วัชรพงษ์ ตามไธสง, ทิวากร กาลจักร, ยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์, พัทธวิภา สุทธิวาริ, ธารรัตน์ มณีน่วม, ชัยรัตน์ จันทรรหนู
14.30 – 14.45 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
ช่วงที่ 2 ประธาน ดร.ลักขิกา งามวงศ์ล้ำเลิศ	
14.45 – 15.00 น.	ID57-การประเมินค่าไมทราไจเนนในใบกระท่อมแห้งด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโตรสโกปี โดย จิรวัสส์ เจียรตระกูล, ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์, ปรีชา อานันท์รัตนกุล, ศุภร อ่างบุญพงษ์, สุรชาติ รัชยาทอง, อนุชิต ฉ่ำสิงห์
15.00 – 15.15 น.	ID58-การศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิเพื่อพัฒนาระบบการหมักน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ โดย ปรีชา อานันท์รัตนกุล, อนุชิต ฉ่ำสิงห์, จิรวัสส์ เจียรตระกูล, ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์ และศุภร อ่างบุญพงษ์
15.15 – 15.30 น.	ID60-การพัฒนาเครื่องลดความชื้นด้วยอุณหภูมิต่ำแบบปั๊มความร้อนสำหรับพืชสกุลกล้วย

	โดย จิรวาส์ เจียรตระกูล, ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์, อานนท์ สายคำฟู, ปรีชา อานันท์รัตนกุล, ณัฐสิทธิ์ อยู่เย็น, เวียง อากรสี
15.30 – 15.45 น.	ID49-ระบบการเก็บบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงกระวานไทยโดย Google Apps Script ร่วมกับสมองกลฝังตัว โดย ศุภวรรณ งามาตย์, พุทธินันท์ จารุวัฒน์, ประวีณา ศรีวงเขต
15.45 – 16.00 น.	ID59-การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของการแยกเศษปลากระดูกโดยใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น โดย ฐาปกรณ์ นิลวิสุทธิกุล และ นิดา แซ่จ้อง
16.00 – 16.15 น.	ID66-การเปรียบเทียบสมรรถนะของการวิเคราะห์ภาพและเสียงในการประเมินความอ่อนแก่ของทุเรียนโดยไม่ทำลายผล โดย พงษ์เจริญ รัชตะธรรมสุข, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ
16.15 – 16.30 น.	ID76-ระบบช่วยการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้ด้วยปัญญาประดิษฐ์บนระบบสมองกลฝังตัว โดย ธนศักดิ์ เขียวเขิน, ทวีพล ชื้อสัตย์, จิตวีร์ สมศรี, วิชาญ บุญมาก

กำหนดการ

การนำเสนอผลงานภาคนิทรรศน์

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 26
ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1 กรมส่งเสริมการเกษตร กรุงเทพมหานคร

วันศุกร์ที่ 19 กันยายน 2568	
13.00 – 16.30 น.	ID40-ปัจจัยและการออกแบบเครื่องคัดแยกเมล็ดโกโก้แห้ง โดย พัทธวิภา สุทธิวาริ, ณัฏพล มนต์ชัยวนะกิจ, อธิปไตย สีลา, ศุภกรณ์ เขตนคร, ณัฐศักดิ์ คำเปลว
	ID65-สถานการณ์การใช้เครื่องจักรในการผลิตน้ำตาลมะพร้าว โดย ศุภพร อ่างบุญพงษ์, อนุชิต ฉ่ำสิงห์, จิรวาส์ เจียรตระกูล, ปรีชา อานันท์รัตนกุล, ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์, สุรชาติ ระย้าทอง

สารบัญ

	หน้า
สารสันจากนายกสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย	i
กำหนดการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 26	ii
กำหนดการการนำเสนอผลงานภาคบรรยาย	iii
กำหนดการการนำเสนอผลงานภาคนิทรรศน์	iv
บทความเต็ม ภาคบรรยาย	
- การทดสอบสมรรถนะเครื่องให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำใต้ดินแบบต่อพ่วงแทรกเตอร์	1
- ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การงอกในการอบเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยเครื่องอบแบบลดความดันอากาศ	8
- อิทธิพลของความชื้นมูลไก่ไข่อารมณ์ดีที่มีผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดเม็ดแบบลูกกลิ้งแนวตั้ง	15
- ระบบการเก็บบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงกระวานไทยโดย Google Apps Script ร่วมกับสมองกลฝังตัว	20
- เครื่องปอกเปลือกมะพร้าว น้ำหอมทรงเพชรแบบอัตโนมัติ	26
- การประเมินค่าไมทราไจนินในใบกระท่อมแห้งด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	31
- การศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิเพื่อพัฒนาระบบการหมักน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์	38
- การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของการแยกเศษปลากะตักโดยใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น	45
- การพัฒนาเครื่องลดความชื้นด้วยอุณหภูมิต่ำแบบปั๊มความร้อนสำหรับพืชสกุลกัญชา	53
- การศึกษาและพัฒนาเครื่องหันไฟเบอร์น้ำมันปาล์มสำหรับการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทะเลลายปาล์ม	59
- วิจัยและพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดข้าวเปลือก สำหรับการทดสอบเพื่อประเมินเครื่องเกี่ยวนวดข้าวมาตรฐาน มอก. 1428-2560	63
- ระบบช่วยการขับชี้รถแทรกเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้ด้วยปัญญาประดิษฐ์บนระบบสมองกลฝังตัว	75
บทความเต็ม ภาคนิทรรศน์	
- ปัจจัยและการออกแบบเครื่องคัดแยกเมล็ดโกโก้แห้ง	83
- สถานการณ์การใช้เครื่องจักรในการผลิตน้ำตาลมะพร้าว	90
บทคัดย่อ ภาคบรรยาย	
- การเปรียบเทียบสมรรถนะของการวิเคราะห์ภาพและเสียงในการประเมินความอ่อนแก่ของทุเรียนโดยไม่ทำลายผล	94
Scientific Committee	95
Organizing Committee	96
List of Reviewers	97



บทความเต็ม ภาคบรรยาย



การทดสอบสมรรถนะเครื่องให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำใต้ดินแบบต่อพ่วงแทรกเตอร์

Performance Evaluation of Subsurface Liquid Organic Applicator Mounted with Tractor

นฤมล บุญกระจ่าง^{1*}, ผดุงศักดิ์ วานิชขัง¹, ศิริวัฒน์ ธนจารุพรพิสิฐ¹, สพลदनัย ผ่องอำพัน¹, อุดมศักดิ์ กิจทวี², สุธีรา อานามวงษ์³ และชัยยะ จันทรา⁴

Narumon Boonkrachang^{1*}, Padungsak Wanitchang¹, Siriwat Thanajarupornpisit¹, Sapondanai Pongampat¹, Udomsak Kitthawee², Suteera Arnamwong³ and Chaiya Jantra⁴

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, ชลบุรี, 20110

²Department of Agricultural Engineering and Technology, Faculty of Agriculture and National Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi, 12120

³สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต, กรุงเทพมหานคร, 10300.

⁴Program in Physics, Faculty of Science and Technology, Suan Dusit University, Bangkok, 10300.

⁵สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, ชลบุรี, 20110

⁶Department of Biotechnology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi, 12120

⁷ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

⁸Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University - Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

*Corresponding author: Tel: +66-8-9208-8554, E-mail: narumon_bo@rmutto.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำใต้ดินแบบต่อพ่วงแทรกเตอร์ ออกแบบให้ใช้กับปุ๋ยอินทรีย์ชนิดน้ำแบบไม่ผ่านกระบวนการหมัก เหมาะกับการใช้งานในช่วงเวลาพักแปลงหรือก่อนการเตรียมแปลง ในการวิจัยครั้งนี้ทำการออกแบบและทดสอบสมรรถนะการทำงานโดยใช้กับแปลงปลูกข้าวโพดที่ผ่านการเก็บเกี่ยวผลผลิตไปแล้ว และพักแปลงเพื่อเตรียมเพาะปลูกครั้งต่อไป ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ 3 ระดับเกียร์ L₄, H₁ และ H₂ มีค่า 1.11±0.03, 1.18±0.03 และ 1.23±0.03 m s⁻¹ ตามลำดับ และความกว้างของน้ำปุ๋ยบนพื้นซีเมนต์ 1.45±0.09 m ทุกระดับเกียร์ มีอัตราการปล่อยน้ำปุ๋ยด้านซ้ายและขวาของชาโด เท่ากับ 236.33±30.86 และ 190.13±48.40 ml s⁻¹ ตามลำดับ เมื่อทดสอบในแปลงทดลองที่มีเนื้อดินชนิด Sandy loam ซึ่งมีปริมาณทรายถึง 71.60±4.28% มีความหนาแน่น 1.66±0.04 g cm⁻³ และมีความชื้นต่ำมาก 0.12±0.05% (w.b.) มีรูปแบบสมการการความลึกสะสมของน้ำ และอัตราการซึมน้ำต่ำมาก การทดสอบแรงฉุดลากที่ระดับความลึกการวางใบมีดตัดดิน 10 cm มีค่า 3.38±0.76 kN โดยมีความลึกในการทำงานจริงระหว่าง 0.093±0.029 m ถึง 0.12±0.026 m เมื่อทดสอบหาสมรรถนะการทำงานพบว่า มีค่าความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี ความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ สูงที่สุดที่เกียร์ H₁ 3.23±0.39 และ 1.56±0.53 rai h⁻¹ ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดด้วย 49.81±21.8%

คำสำคัญ: เครื่องให้ปุ๋ย, เครื่องให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำใต้ดิน, ปุ๋ยอินทรีย์

Abstract

Subsurface liquid organic applicator mounted with tractor was designed for use with non-fermented liquid organic manure. It is suitable for application during fallow periods or prior to field preparation. In this research the machine performance was evaluated in a corn field that had already been harvested and was left field for the next planting. Laboratory tests were conducted to investigate the ground speed on cement at three gear levels L₄, H₁ and H₂ were 1.11±0.03, 1.18±0.03 and 1.23±0.03 m s⁻¹ respectively, and the application pattern was 1.45±0.09 m all gear levels, the application rate on the left and right of plow shanks were 236.33±30.86 and 190.13±48.40 ml s⁻¹, respectively. Field testing was carried out in sandy loam soil with an average sand content of 71.60±4.28%. The soil bulk density was 1.66±0.04 g cm⁻³ and very low moisture content 0.12±0.05% (w.b.). The component of accumulated depth and infiltration rate equations were very low level. The draft force at 10 cm of depth for evaluate the performance was 3.38±0.76 kN which the actual depth was 0.093±0.029 m to 0.12±0.026 m. The

highest theoretical field capacity and effective field capacity was 3.23 ± 0.39 และ 1.56 ± 0.53 rai h^{-1} respectively, at H_1 gear level, that shown the maximum field efficiency was $49.81 \pm 21.8\%$.

Keywords: Applicator, Subsurface Organic Applicator, Organic Fertilizer

1 บทนำ

การให้ปุ๋ยเป็นกระบวนการหนึ่งในการดูแลรักษาพืช โดยทั่วไปแล้วเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้สำหรับการให้ปุ๋ยพืชเป็นการให้ปุ๋ยบนผิวดิน ซึ่งส่วนใหญ่ถูกออกแบบให้ใช้ต้นกำลังในตัวเอง และแบบต่อพ่วงเครื่องต้นกำลัง ซึ่งสามารถใช้กับปุ๋ยแบบแห้ง หรือแบบของเหลว เช่น เครื่องฉีดพ่นสารเคมีในไม้ผล (Airbus Sprayer) มีทั้งแบบขับเคลื่อนด้วยตัวเอง และแบบต่อพ่วงแทรกเตอร์ เหมาะกับปุ๋ยเหลวที่ไม่มีตะกอน เช่นเดียวกับเครื่องฉีดพ่นสารเคมีแบบ Boom sprayer เครื่องพ่นปุ๋ยเม็ดแบบสะพายหลัง นิยมใช้ในนาข้าว เครื่องหว่านปุ๋ย (Broadcasting fertilizer) แบบต่อพ่วงแทรกเตอร์สามารถใช้ได้ทั้งปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด นอกจากนั้นยังมีเครื่องให้ปุ๋ยแบบหยอด เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการให้ปุ๋ย ลดการสูญเสียปุ๋ย เป็นต้น (ธนพงศ์ และคณะ, 2564; บุญฤดี, 2536; Jalu et al., 2023; Paul et al, 2021) จากที่กล่าวมานี้ชนิดของปุ๋ยที่ใช้กับเครื่องให้ปุ๋ย เป็นทั้งแบบเคมี และแบบอินทรีย์ อย่างไรก็ตามในกรณีใช้กับปุ๋ยอินทรีย์ต้องเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการหมักแล้ว การหมักปุ๋ยอินทรีย์ต้องการพื้นที่และระยะเวลาในการหมัก เป็นวิธีที่เหมาะสมกับเศษพืชเป็นหลัก เช่นตอซังข้าว เศษกิ่งไม้ เศษผัก เช่นการทำปุ๋ยอินทรีย์แบบกอง กรณีแบบไม่พลิกกลับกองใช้เวลา 60 วัน แบบไม่พลิกกลับกองใช้เวลา 60 วัน ขนาดกองกว้าง 2.5 m สูง 1.5 m ส่วนความยาวขึ้นกับขนาดของพื้นที่และปริมาณเศษพืช และมูลสัตว์ ปุ๋ยหมัก 1 ton ใช้ความยาว 4 m ปริมาณการใช้ในนาข้าว $300\text{--}3,000$ $\text{kg rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ไม้ผล 50 $\text{kg rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$ พืชผัก 2 kg m^2 อ้อย $600\text{--}1,200$ $\text{kg rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$ หรือการหมักปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากมูลสัตว์ต่างๆ ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์(แอมโมเนีย และซัลเฟอร์, 2563; ธีระพงษ์, 2565) ดังนั้นในกรณีพื้นที่เพาะปลูกแปลงใหญ่ ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ที่ต้องการยิ่งมาก ยิ่งทำให้เกิดปัญหาความต้องการพื้นที่ในการหมักและการจัดการเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ Yanai et al. (2020) พบว่าหลังการปฏิบัติเชิงความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศไทยเพิ่มขึ้น แม้จะแตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค สอดคล้องกับสำมะโนการเกษตร ของภาคเหนือ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2557) ได้รายงานการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรลดลงถึงร้อยละ 2.40 ในระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2546-2556) แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรสนใจการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจของกองสถิติเศรษฐกิจ (2568) ถึงสำมะโนการเกษตรพบว่าเกษตรกร 5.9 ล้านราย ใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ

95.1 เมื่อเทียบย้อนไป 10 ปี เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.2 เป็นตัวเลขที่สูงมากนัก แต่หากพิจารณาที่เม็ดเงินมีมูลค่าสูง ศูนย์วิจัยกสิกรไทย (2568) รายงานแนวโน้มธุรกิจปุ๋ยเคมีไทยในปี 2568 โตขึ้นร้อยละ 2 คิดเป็นมูลค่า 94,602 ล้านบาท การใส่ปุ๋ยเคมีมาก และเป็นระยะเวลานาน เป็นสาเหตุที่ทำให้ดินเกิดความเสื่อมโทรม นักวิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำใต้ดิน ในช่วงเวลาพักแปลง เพื่อเตรียมการเพาะปลูกพืชในครั้งต่อไป เพื่อช่วยแก้ปัญหาเรื่องระยะเวลาการหมัก ความต้องการพื้นที่ และมลภาวะทางกลิ่น หากมีการรวบรวมมูลสัตว์จำนวนมากไว้ด้วยกัน

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เครื่องให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำใต้ดิน

เครื่องให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำใต้ดิน (Fig.1) ต่อพ่วงแทรกเตอร์ขนาดกลาง ใช้เป็นเครื่องให้ปุ๋ยน้ำแบบฝังดินประกอบด้วย ชุดต่อพ่วง 3 จุดและส่งกำลัง ①, ชุดปั๊ม ②, ชุดโครงเครื่องและถังบรรจุน้ำปุ๋ย ③, ชุดล้อช่วยพยุ่ง ④ และชุดใบมีดตัดดิน ⑤ เครื่องให้ปุ๋ยมีมิติ $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ m (กว้างxยาวxสูง) น้ำหนัก 340 kg ถังน้ำบรรจุน้ำปุ๋ยได้ 500 l ทำงานโดยการต่อพ่วงกับแทรกเตอร์แบบต่อพ่วง 3 จุด และใช้เพลอาานวยกำลังเพื่อขับเคลื่อนชุดปั๊ม ② ด้วยสายพานและล้อสายพาน ปั๊มที่ใช้เป็นปั๊มเหวี่ยง (centrifugal pump) ทำหน้าที่ดูดน้ำปุ๋ยเข้าสู่ถังที่ติดตั้งบนโครงเครื่อง ③ และส่งน้ำปุ๋ยลงสู่ชุดใบมีดตัดดิน ⑤ ผ่านระบบวาล์ว แสดงใน Fig. 2 ประกอบด้วยบอลวาล์ว 4 ตัว วาล์วชุดสี่เหลี่ยมทำหน้าที่ดูดน้ำ และวาล์วชุดสี่เหลี่ยมทำหน้าที่ปล่อยน้ำลงสู่สไลด์ และปล่อยลงดินที่ปลายใบมีดตัดดินขณะวาล์วชุดสี่เหลี่ยมทำงาน อยู่ในตำแหน่งเปิด วาล์วชุดสี่เหลี่ยมต้องอยู่ในตำแหน่งปิด สลับกันทุกครั้ง น้ำปุ๋ยจากปั๊มถูกส่งผ่านท่อ ลงสไลด์ และถูกปล่อยที่หลังใบมีดตัดดิน ขณะทำงานโซ่กลบดินถูกปล่อยลงด้านล่างเพื่อกลบดิน ความลึกในการไถ สามารถปรับจากล้อช่วยพยุ่งในตำแหน่งที่ (4.1) ล้อช่วยพยุ่งเป็นแบบมีบังยาง (4.2) สามารถช่วยตะกรุยดินได้ นอกจากกำหนดความลึกแล้ว ยังเป็นล้อช่วยในการขนย้ายขณะขับเคลื่อนด้วย (Fig. 3) ชุดใบมีดตัดดิน ⑤ ประกอบด้วยขาไถ 2 ขา (5.4) ติดตั้งใต้ชุดโครง ปลายขาไถติดตั้งใบมีดตัดดิน (5.3) ใต้ใบมีดติดตั้งท่อน้ำปุ๋ย (5.1) และขณะทำงานโซ่กลบดิน (5.2) ถูกปล่อยลงพื้นทำหน้าที่กลบดิน

2.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (ใช้น้ำเปล่าแทนน้ำปุ๋ย)

ทดสอบหาความกว้างหรือการแผ่กระจายของน้ำเปล่าที่ปล่อยลงบนพื้นปูน กำหนดตำแหน่งคันเร่งมือโดยทำเครื่องหมายไว้ที่ตำแหน่งคันเร่งมือ วัดความกว้างของรอยน้ำที่ตกบนพื้น โดยวางชุดให้ปุ๋ยในตำแหน่งต่ำสุด ห่างจากพื้นประมาณ 10 cm ทำการวัดรอยน้ำบนพื้นปูน โดยใช้เกียร์ H₁ ทดสอบหาอัตราการไหล (Q, l h⁻¹) ของน้ำปุ๋ยที่ชุดใบมีดตกดิน โดยเร่งเครื่องให้ตรงกับตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้ ทั้งชุดด้านซ้ายและด้านขวา

$$Q = V \cdot t^{-1} \quad \dots(1)$$

When Q = Flow rate, l h⁻¹
V = Volume of water, l
t = Period, h



Fig. 1 Combination part of subsurface liquid organic applicator



Fig. 2 Direction of manual liquid according to valves functionet

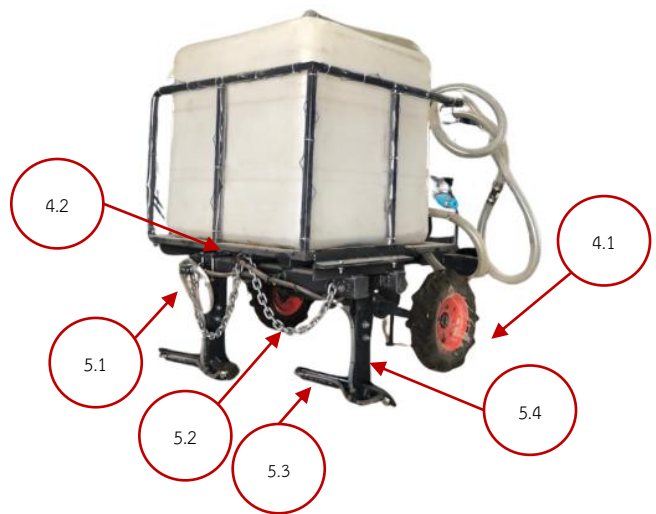


Fig. 3 Detail part of cutting blade set and supporting wheel set

2.3 การทดสอบภาคสนาม

การเตรียมพื้นที่ที่ใช้ทดสอบเป็นแปลงปลูกข้าวโพดของสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ซึ่งเก็บเกี่ยวปลูกข้าวโพดเสร็จสิ้นแล้ว ทำการปรับพื้นที่ เก็บเศษพืช และพลาสติกคลุมแปลงออก แบ่งแปลงออกเป็น 3 แปลง ขนาดแปลง 11x27 เมตร เพื่อใช้ทดสอบ 3 ระดับเกียร์ L₄, H₁ และ H₂ ทำการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของดินก่อนการทดสอบ ประกอบด้วย ความชื้น (Moisture content, %) เพื่อหาความชื้นฐานเปียกและฐานแห้ง โดยประยุกต์ตามมาตรฐาน ASTM D2216 สามารถคำนวณหาความชื้นด้วยน้ำหนักดินก่อนและหลังอบลดความชื้น ดังสมการที่ (2) และ (3)

$$MC_{w.b.}(\%) = (w_1 - w_2) \cdot w_1^{-1} \cdot 100 \quad \dots(2)$$

$$MC_{d.b.}(\%) = (w_1 - w_2) \cdot w_2^{-1} \cdot 100 \quad \dots(3)$$

when $MC_{w.b.}$ = ความชื้นฐานเปียก, %
 $MC_{d.b.}$ = ความชื้นฐานแห้ง, %
 w_1 = น้ำหนักดินก่อนอบ, g
 w_2 = น้ำหนักดินหลังอบ, g

ความหนาแน่นดิน (Soil bulk density, g cm⁻³) โดยใช้ soil core sampling เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 10 cm โดยใช้สมการที่ (4)

$$\rho = m \cdot V^{-1} \quad \dots(4)$$

When ρ = Soil bulk density, g cm⁻³

m = Mass of soil, g

V = Volume of soil, cm^3

จากนั้นหาเนื้อดิน (Soil texture, %) โดยวิธีการตกตะกอน ด้วยประบอกตวงขนาด 1000 ml ทำการวัดความสูงของดิน ตะกอนแต่ละชนิด แล้วนำไปคำนวณหาเนื้อดินด้วยสมการที่ (5)-(7) เพื่อหาปริมาณอนุภาค Sand, Silt และ Clay ตามลำดับ จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในตารางสามเหลี่ยมดิน (Soil Texture Triangle)

$$\text{Sand (\%)} = (H_{sa} \times 100) \cdot H^{-1} \quad \dots(5)$$

$$\text{Silt (\%)} = (H_{si} \times 100) \cdot H^{-1} \quad \dots(6)$$

$$\text{Clay (\%)} = (H_{cl} \times 100) \cdot H^{-1} \quad \dots(7)$$

When H_{sa} = Heigh of sand sedimentation, cm
 H_{si} = Heigh of silt sedimentation, cm
 H_{cl} = Heigh of clay sedimentation, cm
 H = Total heigh of sedimentation, cm

ความลึกน้ำสะสม (Accumulated depth, mm) อัตราการ ซึมน้ำ (Infiltration rate, mm min^{-1}) ตามสมการที่ (2) ถึง (9) ตามลำดับ โดยใช้วงแหวนคู่ (Double ring infiltration)

$$D = A \cdot t^B \quad \dots(8)$$

$$I = A \cdot B \cdot t^{(B-1)} \quad \dots(9)$$

When D = Accumulate water depth, mm
 I = Infiltration rate, mm min^{-1}
 A, B = Constant value from log-log curve plot
 t = Accumulate water time, min

ความต้านทานการแทงทะลุ (Cone penetration, N) ด้วย Cone penetrometer โดยกดที่ละ 5 cm จนกว่าจะกดไม่ลง การทดสอบหาความเร็วในการทำงานโดยการให้แทรกเตอร์ เคลื่อนที่ผ่านระยะทาง 25 m และจับเวลาที่ในการเคลื่อนที่ที่ เกียร์ L_4 , H_1 และ H_2 แทนค่าความเร็วลงในสมการที่ (10) การ ทดสอบหาแรงฉุดลาก (Draft, N) โดยการต่อพ่วงแทรกเตอร์ที่ต่อ พ่วงเครื่องให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำได้ดินกับแทรกเตอร์เครื่องผ่านไถนาโม มิเตอร์ โดยวางใบมีดตัดดินที่ระดับความลึก 10 cm (Fig. 4) คำนวณหาแรงฉุดลากจำเพาะ (Specific draft, N m^{-2}) โดยใช้ สมการที่ (11) คำนวณหากำลังฉุดลาก (Drawbar power, kW) จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงฉุดลากและความเร็วในการทำงาน ดังสมการที่ (12)

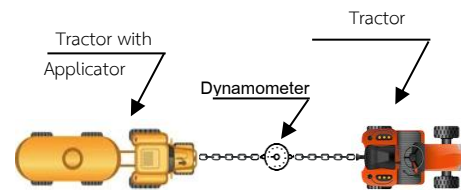


Fig. 4 Method for finding draft force.

สามารถในการทำงานทางทฤษฎี (Theoretical field capacity, TFC, rai h^{-1}) โดยการวัดความกว้างของใบมีดตัดดิน แทนค่าลงในสมการที่ (13) คำนวณหาความสามารถในการ ทำงานจริง (Effective field capacity, EFC, rai h^{-1}) จาก ความเร็วและความกว้างขณะทำงาน โดยการวัดความกว้าง 2 แนว นำมาหาค่าเฉลี่ย และแทนค่าลงในสมการที่ (14) จากนั้น คำนวณหาประสิทธิภาพการทำงาน (Field efficiency, %)จาก สมการที่ (15)

$$s = L \cdot t^{-1} \quad \dots(10)$$

When s = Working speed, m s^{-1}
 L = Distance between pole, m
 t = Period, s

$$D_{sp} = D \cdot w_{avg}^{-1} \cdot d^{-1} \quad \dots(11)$$

When D_{sp} = Working speed, N m^{-2}
 D = Distance between pole, N
 w_{avg} = Average working width, m
 d = Working depth, m

$$P = D \cdot s \quad \dots(12)$$

When P = Drawbar power, kW

$$\text{TFC} = w \cdot s \quad \dots(13)$$

When TFC = Theoretical field capacity, rai h^{-1}
 w = Width of cutting blade, m
 s = Working speed, m s^{-1}

$$\text{EFC} = w_{avg} \cdot s \quad \dots(14)$$

When EFC = Effective field capacity, rai h^{-1}
 s = Working speed, m s^{-1}

$$\text{FE} = \text{EFC} \cdot \text{TFC}^{-1} \quad \dots(15)$$

When FE = Field Efficiency, %



Fig. 6 The pattern of liquid on soil



Fig. 5 Application pattern on cement floor.

3 ผลและวิจารณ์

3.1 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

จากการทดสอบเครื่องให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำไต่ดิน โดยการเคลื่อนที่และปล่อยน้ำลงบนพื้นซีเมนต์ (Table 1) ที่เกียร์ H_1 พบว่า ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ L_4 , H_1 และ H_2 มีค่า 1.11 ± 0.03 , 1.18 ± 0.03 และ $1.23 \pm 0.03 \text{ m s}^{-1}$ เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ขณะเคลื่อนที่ปล่อยน้ำลงบนพื้นมีความกว้าง $1.45 \pm 0.09 \text{ m}$ ลักษณะของการกระจายตัวของน้ำแสดงใน Fig. 5 เห็นได้ว่าส่วนปลายของชุดใบมีดตัดดินมีปริมาณน้ำออกน้อยกว่าด้านข้าง และระหว่างปีกของใบมีดตัดดินทั้ง 2 มีรอยขนกันของน้ำปุ๋ย จากการทดสอบหาอัตราการไหลของน้ำที่ใบมีดตัดดิน พบว่าใบมีดด้านซ้ายและด้านขวามีอัตราการปล่อยน้ำ 236.33 ± 30.86 และ $190.13 \pm 48.40 \text{ ml s}^{-1}$ ตามลำดับ ดังนั้นปริมาณน้ำที่ปล่อยรวมเท่ากับ 426.46 ml s^{-1} ลักษณะของรอยน้ำบนพื้นเป็นไปตาม

ความต้องการที่ได้ออกแบบ และมีรูปแบบเช่นเดียวกับการทดลองปล่อยน้ำลงในแปลงทดสอบจริง (Fig. 6) กรณียังไม่วางใบมีดลงตัดดิน

Table 1 Performance test on cement floor at H_1 gear speed

List	Result
1. Working Speed (m s^{-1}): L_4	1.11 ± 0.03^a
H_1	1.18 ± 0.03^a
H_2	1.23 ± 0.03^a
2. Average Width (m) of water on the floor	1.45 ± 0.09
3. Application rate (ml s^{-1}): Left	236.33 ± 30.86
Right	190.13 ± 48.40

3.2 การทดสอบภาคสนาม

จาก Table 2 การทดสอบภาคสนามในแปลงทดลองปลูกพืช ซึ่งมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพด และมีการไถดินเพื่อตากดิน โดยไม่เก็บพลาสติกคลุมแปลงออก ทำให้ในแปลงมีทั้งเศษพลาสติกและวัชพืชแห้ง ทำให้ต้องคราดเก็บเศษวัชพืชและพลาสติกคลุมแปลง พร้อมกับการปรับพื้นที่ที่เป็นหลุมขนาดใหญ่

ดินในแปลงจึงเหมือนถูกย่อยจนไม่มีโครงสร้างประกอบกับช่วงฤดูแล้ว ดินในแปลงทดลองจึงมีลักษณะร่วนเป็นแฉ่ง (Fig. 7) มีความชื้นฐานเปียก $0.12 \pm 0.05\%$ ที่ระดับความลึกดิน 10 cm มีความหนาแน่น $1.66 \pm 0.04 \text{ g cm}^{-3}$ มีค่าค่อนข้างสูง แสดงว่าดินถูกบดอัด และไม่มีการปรับปรุงโครงสร้างดินอย่างเหมาะสม สอดคล้องกับการคำนวณหาเนื้อดินด้วยวิธีการตกตะกอน พบว่าเป็นเนื้อดินชนิด Sandy loam ลักษณะดินไม่มีโครงสร้าง ไม่มีรูปร่าง ทำการทดสอบหาสมการความลึกน้ำสะสม และอัตราการซึมน้ำพบว่า มีค่าต่ำมาก เนื่องจากดินในแปลงทดลองไม่มีโครงสร้าง มีลักษณะเป็นฝุ่น เมื่อปล่อยน้ำปุ๋ยลงดินทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อน คล้ายลักษณะของน้ำกลิ้งบนใบบัว และใช้เวลาในการซึมนาน ซึ่มลงสู่ดินในระดับลึกได้ยาก ส่งผลต่อสมการอัตราการซึมน้ำของดิน ทำให้มีอัตราการซึมน้ำของดินมีค่าน้อย และมีแนวโน้มที่น้ำจะเคลื่อนตัวในแนวราบมากกว่าการซึ่มลงด้านล่าง เมื่อทดสอบความต้านทานการแทงทะลุ (Cone penetration) ที่ระดับความลึกเฉลี่ยระหว่าง 10-15 cm พบว่ามีค่า $315.56 \pm 20.53 \text{ kN}$ ซึ่งไม่สูงมาก แสดงให้เห็นว่าแม้ดินจะไม่มีโครงสร้าง แต่มีความแน่น และจากรูปแบบการกดจนไม่สามารถกดลงได้ ทำให้ทราบว่ารระดับชั้นดินแน่นมีระดับความตื้น-ลึกไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งแปลงทดลอง

จาก Table 3 ความเร็วขณะทำการทดสอบในแปลงทดลอง มีค่า 1.01 ± 0.16 , 0.96 ± 0.16 และ $1.36 \pm 0.08 \text{ m s}^{-1}$ ที่เกียร์ L_4 , H_1 และ H_2 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

พบว่า L_4 และ H_1 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่แตกต่างจากความเร็วที่เกียร์ H_2 ความกว้างในการทำงานที่ความเร็ว H_2 มีค่ามากที่สุด 1.50 ± 0.00 m ซึ่งแตกต่างแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับ L_4 และ H_1 โดยที่แต่ละระดับเกียร์เกิดระยะซ้อนทับ (Overlap) 88, -10 และ 60 cm แสดงว่าในการใช้เกียร์ H_1 ไม่เกิดระยะซ้อนทับของการให้ปุ๋ย และยังมีระยะห่างของแต่ละรอยที่ 10 cm ซึ่งไม่ควรเกิดขึ้นในรูปแบบการให้ปุ๋ย การวางขาไถที่ระดับความลึก 10 cm เกิดแรงฉุดลาก 3.38 ± 0.76 kN ขณะที่ทำงานแต่ละระดับเกียร์มีความลึกจริง 0.093 ± 0.029 , 0.12 ± 0.026 และ 0.11 ± 0.017 m ทำให้เกิดแรงฉุดลากจำเพาะ 37.88 ± 7.25 , 22.47 ± 5.53 และ 31.33 ± 9.99 kN m^{-2} ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในส่วนนี้จะเห็นได้ว่าที่เกียร์ H_1 ใช้แรงฉุดลากน้อยกว่า เพื่อให้ได้พื้นที่ในการทำงานเท่ากัน สอดคล้องกับกำลังฉุดลากที่เกิดขึ้นมีค่า 3.67 ± 0.94 kW ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับอีก 2 ระดับความเร็ว แต่ใช้กำลังงานน้อยกว่า ในการทดสอบความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีพบว่าที่เกียร์ H_2 มีค่ามากที่สุด 3.53 ± 0.04 rai h^{-1} แต่มีความสามารถในการทำงานจริงน้อยกว่าเกียร์ H_1 ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเกียร์ H_1 มีค่าสูงที่สุด 49.81 ± 21.8 rai h^{-1} อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ยังมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องให้ปุ๋ยแบบฉีดพ่นทางใบ หรือพ่นลงสู่โคนต้นพืช โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพการทำงาน 60% ขึ้นไป (Ahmed et al., 2022; Ismail, 2011; Saleh et al., 2022) เนื่องจากลักษณะการทำงานของเครื่องให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำใต้ดินเป็นการทำงานระหว่างขาไถ ซึ่งมีลักษณะคล้ายไถสลับ และการพ่นปุ๋ยลงใต้ดิน



a. Dust from the experimental field.



b. Characteristics of soil when using a spring-tooth harrow to remove weeds from the field.

Fig. 7 Unstructure soil in the field.

Table 2 Physical soil properties

List	Result
Moisture content (%) at 10 cm under soil surface: w.b.	0.12 ± 0.05
d.b.	0.13 ± 0.05
Soil bulk density ($g \cdot cm^{-3}$)	1.66 ± 0.04
Soil texture (%): Sandy loam	Sand 71.60 ± 4.28
	Silt 18.52 ± 3.70
	Clay 9.88 ± 2.14
Accumulated depth (mm)	$D = 0.50 t^{0.18}$
Infiltration rate ($mm \cdot min^{-1}$)	$I = 0.091 t^{-0.82}$
Cone penetration at 10-15 cm (kN)	315.56 ± 20.53

Table 3 Performance test of subsurface liquid organic applicator attachment to tractor at 10 cm depth.

List	Gear Speed		
	L_4	H_1	H_2
1. Working Speed ($m \cdot s^{-1}$) on field	1.01 ± 0.16^a	0.96 ± 0.16^a	1.36 ± 0.08^b
2. Average Width (m)	1.19 ± 0.05^a	1.50 ± 0.00^b	1.15 ± 0.00^a
3. Draft Force for 10 cm (kN)		3.38 ± 0.76	
4. Actual Depth (m)	0.093 ± 0.029^a	0.12 ± 0.026^a	0.11 ± 0.017^a
5. Specific Draft ($kN \cdot m^{-2}$)	37.88 ± 7.25^a	22.47 ± 5.53^a	31.33 ± 9.99^a
6. Drawbar Power (kW)	3.81 ± 0.67^a	3.67 ± 0.94^a	5.22 ± 0.98^a
7. Theoretical Field Capacity (rai h^{-1})	2.71 ± 0.48^a	3.23 ± 0.39^a	3.53 ± 0.04^b
8. Effective Field Capacity (rai h^{-1})	1.09 ± 0.50^a	1.56 ± 0.53^a	1.47 ± 0.68^a
9. Field Efficiency (%)	43.77 ± 28.97^a	49.81 ± 21.8^a	41.58 ± 19.22^a

* compared data in each gear level (horizontal) by one way ANOVA.

4 สรุป

จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำใต้ดิน แบบต่อพ่วงแทรกเตอร์พบว่า สามารถทำงานที่ระดับความลึกที่กำหนดได้ ที่เกียร์ H₁ ใช้แรงฉุดลากและกำลังฉุดลากน้อยที่สุด และมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงที่สุดด้วย อย่างไรก็ตามทำให้ทราบว่า เงื่อนไขของดินในแปลงทดสอบที่เหมาะสมควรเป็นดินที่มีความชื้นในระดับที่ดินสามารถยกตัวได้เป็นแผ่นขณะที่ไถมีดตัดดินทำงาน ในการออกแบบควรเพิ่มอุปกรณ์ระบุตำแหน่งของขอบรอยตัดดิน เนื่องจากไถมีดทำงานใต้ผิวดิน ทำให้ผู้ขับขี่มองไม่เห็นรอยตัดดิน จึงทำให้เกิดรอยไถที่ไม่ต่อเนื่อง หรือไม่มียะช้อนทับของรอยน้ำปุ๋ย และที่สำคัญเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ผู้ปฏิบัติงานยังไม่เคยใช้งานมาก่อน จึงไม่เกิดความชำนาญในการปฏิบัติงานภาคสนาม ซึ่งมีผลต่อการทดลองอย่างยิ่ง

5 กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยเรื่องนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมงาน. ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

6 เอกสารอ้างอิง

- กองสถิติเศรษฐกิจ. 2566. สำมะโนการเกษตร พ.ศ. 2556 ภาคเหนือ. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กรุงเทพมหานคร. 83 น.
- ธนพงศ์ แสนจุ่ม, ขนิษฐา หวานณรงค์, สราวุฒิ ปานทน, สโรชา ถึงสุข, อานนท์ สายคำฟู, อนุชา เขียวโชติ, อุทัย ธาณี และอาทร พรบุญ. 2565. วิจัยและพัฒนาเครื่องฝังปุ๋ยแบบปรับอัตราอัตโนมัติสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กในสวนมะม่วง. รายงานโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2564. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร. 45 น.
- ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. 2565. ปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกลับกอง. คลังความรู้ สถาบันการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม, 2 น. <https://www.nstda.or.th/agritec/compost/>, เข้าถึงเมื่อ 20 พฤษภาคม 2568.
- บัญญัติ เศรษฐฐิติ. 2536. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 31 สาขาพืช 3-6 กุมภาพันธ์ 2536. เครื่องมือหยอดปุ๋ยสับประรด. (น. หน้า 435-441). ทบวงมหาวิทยาลัย. 3-14.
- แสนวัน สันต์ ยอดคำ และชนวัฒน์ นิทัศน์จิตร. 2563. บทความพิเศษ: การผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกลับกองเพื่อลดการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM_{2.5}). วารสารแม่โจ้ปริทัศน์: มกราคม-มีนาคม 2563 น. 5-14.

- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2557. สำมะโนการเกษตร พ.ศ. 2556 ภาคเหนือ. กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กรุงเทพมหานคร. 168 น.
- ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย. 2568. KResearch: แนวโน้มธุรกิจปุ๋ยเคมีไทย. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://media.setgroup.or.th/setlink/Documents/2025/May/%E0%B9%81%E0%B8%99%E0%B8%A7%E0%B9%82%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%A1%E0%B8%98%E0%B8%B8%E0%B8%A3%E0%B8%81%E0%B8%B4%E0%B8%88%E0%B8%9B%E0%B8%B8%E0%B9%8B%E0%B8%A2%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A1%E0%B8%B5%E0%B9%84%E0%B8%97%E0%B8%A2.pdf>
- Ahmed, S., A. Ghafoor, A.A. Khan and M.U. Farid. 2022. Development and testing of walk-behind granular fertilizer applicator for precise fertilizer application. Pak. J. Agri. Engg. and Vet. Sci. 38(1): 65-70.
- Ismail, Z.E. 2011. Fertilizer applicator evaluation using the response surface methodology. Misr J. Ag. Eng. 28(4): 759-781.
- Jalu, M.V., R. Yadav and P. S. Ambaliya. 2023. A comprehensive review of various types of sprayers used in modern agriculture. The Pharma Innovation Journal. Vol. 12(4): 143-149.
- Paul, S., Rahman, M. A., Nath, B. C., Hossen, A., Islam, A. K. M. S., Milon, M. K. and Pintu, M. K. 2021. Design and development of a prilled urea applicator. Agricultural Sciences, 12, 530-548. <https://doi.org/10.4236/as.2021.125034>.
- Saleh, A., I.U. Faruk and M. Ibrahim. 2022. Development and performance evaluation of a hand-pushed fertilizer application equipment. NIJESR. 5(2): 73-81.
- Yanai, J., M. Hirose, S. Tanaka, K. Sakamoto, A. Nakao, K. Dejhimon, A. Sriprachote, P. Kanyawongha, T. Lattirasuvan and S. Abe. 2020. Changes in paddy soil fertility in Thailand due to the Green Revolution during the last 50 years. Soil Science and Plant Nutrition. Vol 66(6): 889-899.



ชื่อเรื่องภาษาไทย การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

Study of Temperature Effect on Germination Percentage of Dried Soybean Seedling by Using Vacuum Dryer

กลวัชร ทิมินกุล¹, เวียง อากรณ์¹, วชรพงษ์ ตามไรสง¹ ทิวักร กาลจักร¹ และเปรมจิตต์ ถิ่นคำ²

Kolawachra Timingoon¹, Weang Arkornckee¹, Wacharapong Tamtaisong¹ Tiwakorn Kanjak¹

and Premjit Thinkam²

¹ ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย

² ศูนย์วิจัยเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย

โทร: 0857590227 e-mail: abc_aree@hotmail.com

บทคัดย่อ:

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ได้สร้างเครื่องต้นแบบเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศที่มีลักษณะคล้ายแคปซูลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร ยาว 1.20 เมตร ทำจากวัสดุเหล็กหนา 6 มิลลิเมตรม้วนขึ้นรูปทรงกระบอก ภายในติดตั้งหลอดอินฟราเรด (infrared) หรือ ตัวกำเนิดความร้อน ควบคุมอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermo couple) เจาะช่องติดกระจกใส เพื่อให้สามารถมองเห็นวัสดุข้างในขณะทำการอบ ติดตั้งฝาเปิดปิดได้สะดวกและติดตั้งให้อยู่ในระดับความสูงที่สามารถปฏิบัติงานได้สะดวก เชื่อมต่อเข้ากับปั๊มสุญญากาศแบบวอเตอร์เจ็ต (water jet) ด้วยท่อเหล็กขนาด 3 นิ้ว ติดตั้งวาล์วควบคุมการเปิดปิดระหว่างปั๊มสุญญากาศ และ ตู้อบ การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองหลังจากการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศ โดยใช้เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์ กวก. เชียงใหม่ 60 จากแปลงเกษตรกรที่มีความชื้น 18% สุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองบางส่วนสำหรับลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดดเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (control) และนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองอีกส่วนมาอบลดความชื้นด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ โดยใช้อุณหภูมิ 4 ระดับคือ 45 40 35 และ 30 องศาเซลเซียส และใช้ความดันสุญญากาศที่ 650 มิลลิเมตรปรอท ทำการทดลอง 4 ซ้ำ ของทุกอุณหภูมิการอบแล้วนำไปทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การงอกและความแข็งแรง พบว่าการลดความชื้นด้วยวิธีตากแดดมีเปอร์เซ็นต์การงอกเฉลี่ย 88% ส่วนการลดความชื้นด้วยวิธีใช้เครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศมีเปอร์เซ็นต์การงอก 80% 84% 86% 85% ตามลำดับจะเห็นว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์การงอกใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ใช้เปรียบเทียบ แสดงว่าการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ สามารถนำไปใช้ในการอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองได้โดยมีเปอร์เซ็นต์การงอกไม่น้อยกว่า 80% ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับเมล็ดพันธุ์สำหรับจำหน่าย

คำสำคัญ: เครื่องลดความชื้นแบบสุญญากาศ, เมล็ดพันธุ์.

ABSTRACT:

This study is part of a research and development project to create a vacuum type dryer for reducing moisture in soybean seeds. A prototype of a vacuum dryer was developed with a capsule-like design, having a diameter of 0.75 meters and a length of 1.20 meters. It was constructed from 6-millimeter-thick steel, rolled into a cylindrical shape. Inside the chamber, infrared tubes (heat generators) were installed, and temperature control was managed using a thermocouple. A transparent glass window was added to allow visual observation of the materials during the drying process. The machine was equipped with a conveniently openable lid and stand, set at a height suitable for operation. The system was connected to a water jet vacuum pump through a 3-inch thick steel pipe and included a control valve to regulate the connection between the vacuum pump and the drying chamber. To test the quality of soybean seeds after moisture reduction using the vacuum dryer, Chiang Mai 60 soybean variety seeds with 18% initial moisture content, harvested from a farmer's field, were used. A portion of the seeds was sun-dried to serve as the control. The remaining seeds were dried using the vacuum dryer at four different temperatures: 45°C, 40°C, 35°C, and 30°C, with a constant negative pressure of 650 mmHg. Each temperature treatment was replicated four times. The seeds were then tested for germination percentage and vigor. The results showed that

the sun-dried seeds had an average germination rate of 88%, while the vacuum-dried seeds had germination rates of 80%, 84%, 86%, and 85%, respectively. These results indicate that the germination percentages of the vacuum-dried seeds were comparable to those of the control group. Therefore, the vacuum drying method can be effectively used for reducing moisture in soybean seeds, maintaining a germination rate of no less than 80%, which is considered acceptable for commercial seed production.

Keywords: Vacuum Dryer, Seeds.

1.บทนำ

การลดความชื้นเป็นหนึ่งในขั้นตอนการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ ภายหลังการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ต้องนำมาลดความชื้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการความชื้นมีผลโดยตรงต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ความชื้นสูงส่งผลให้อัตราการหายใจเมล็ดพันธุ์สูงขึ้นตามเกิดความร้อนภายในกองเมล็ดพันธุ์ ส่งผลให้เชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์เจริญเติบโต เมล็ดพันธุ์จึงเกิดการเสื่อมสภาพในที่สุด (จงจันทร, 2529; วันชัย, 2537) ดังนั้นการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการที่เหมาะสมและรวดเร็วจะช่วยให้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพที่ดีและสามารถเก็บรักษาได้นาน การลดความชื้นหรือการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่จะหลีกเลี่ยงไม่ได้เนื่องจากในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชโดยเริ่มจาก การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว จนมาถึงขั้นตอนการลดความชื้นหรือการอบแห้ง แล้วนำไปคัดแยกและทำความสะอาด และสุดท้ายคือการเก็บรักษาเพื่อรอจำหน่ายหรือนำไปเพาะปลูกในฤดูถัดไปได้ ซึ่งในขั้นตอนการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี เช่น การลดความชื้นด้วยวิธีตากแดด การใช้เครื่องลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ใช้แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้า น้ำมัน แก๊ส น้ำมันเตา เป็นต้น เนื่องจากเมล็ดพันธุ์เมื่อเก็บเกี่ยวจากแปลงเพาะปลูกจะมีความชื้นสูงถึง 20-40 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งค่าความชื้นนี้จะขึ้นอยู่กับเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิด ในปัจจุบันการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่ว ใช้วิธีการลดความชื้นด้วยแสงแดด (sun drying) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ และประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นซึ่งมีแสงแดดเพียงพอต่อการลดความชื้น วิธีการนี้จึงยังเป็นที่ยอมรับอยู่จนถึงปัจจุบัน โดยทั่วไปการลดความชื้นด้วยวิธีดังกล่าวใช้เวลา 1-2 วัน ขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์และปริมาณแสงแดดในช่วงเวลาที่ลดความชื้น เช่น การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่มีความชื้น 16-18% ใช้เวลา 1 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% ถั่วเหลืองความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% และถั่วลิสงความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 9-11% นอกจากนี้จำเป็นต้องใช้แรงงานในการนำเมล็ดพันธุ์พืชตากแดด กลับกองและเก็บเมล็ดพันธุ์ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อเสียในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีแสงแดดน้อย มีฝนตกความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง จึงทำให้ไม่สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (12-14%) ได้ภายใน 1-2 วัน

ส่งผลให้ขบวนการเมตาบอลิซึมของเมล็ดพันธุ์สูง เชื้อราเจริญเติบโต ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพ ความแข็งแรงต่ำ และอายุการเก็บรักษาสั้น (จงจันทร, 2529; วันชัย, 2537) ดังนั้นการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลดความชื้น อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เพื่อช่วยให้เมล็ดพันธุ์ยังคงมีคุณภาพที่ดีและมีความแข็งแรงสูง ในช่วงฤดูฝนหรือในช่วงที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ อีกทั้งสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (climate changes) ในปัจจุบันที่ค่อนข้างแปรปรวนไม่แน่นอนไปตามฤดูกาล การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยเครื่องอบลดความชื้นจึงน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วและส่งผลให้การจัดการเมล็ดพันธุ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับการลดความชื้นแบบลดแรงดันอากาศเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืช เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบลดความดันสามารถทำให้ประสิทธิภาพการระเหยนํ้าออกจากเมล็ดได้มากขึ้นที่อุณหภูมิไม่สูงเมื่อเทียบกับภาวะปกติ และยังช่วยให้ความชื้นสม่ำเสมอ อีกทั้งยังช่วยให้ประหยัดเวลา และลดแรงงาน ในขั้นตอนการลดความชื้นของงานผลิตเมล็ดพันธุ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบสูญญากาศต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืชเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเมล็ดพันธุ์ให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น และเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันให้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของไทย เพื่อผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลาง (Seed Hub) เมล็ดพันธุ์พืชของอาเซียนและเอเชียในอนาคต ตามแผนแม่บทยุทธศาสตร์ศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567 ในการพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสนับสนุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2559) ที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย เพื่อวิจัยพัฒนาด้านแบบและวิธีการใช้ที่เหมาะสมของเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองและหลังจากทำการอบแล้ว จึงได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจะเป็นอย่างไร

2.อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการศึกษา

1.) ทำการลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดดเพื่อใช้เป็นตัวควบคุม(control)

2.) ทำการทดลองด้วยเครื่องอบลดความชื้น แบบลดความดัน

2.1 ทดสอบกับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์ กวก.เชียงใหม่ 60

2.2 ทดสอบการอบลดความชื้น โดยใช้ค่าอุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 30 35 40 45 องศาเซลเซียส แต่ละอุณหภูมิ ทดลอง 4 ครั้ง(rep) ความดันสูญญากาศคงที่ 650 มิลลิเมตรปรอท จับเวลาในการลดความชื้น แล้วนำไปทดสอบหาผลการงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์หลังการอบลดความชื้น

3.) ทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการอบเปรียบเทียบกับการตากแดด(control)

4.) วิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิธีการตรวจสอบความงอก (Germination Test) คือการตรวจสอบคุณภาพทางชีวภาพ เพื่อให้ทราบว่าเมล็ดพันธุ์ เมื่อนำมาเพาะในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะสามารถเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อนปกติในอัตราร้อยละเท่าใด(Figure 1)

วิธีการเพาะเมล็ด



Figure 1 Different method of seed cultivation.

การประเมินต้นอ่อน

การตรวจดู ลักษณะ การงอก ของต้นอ่อน ที่งอกออกจากเมล็ดที่เพาะ โดยมีส่วนสำคัญต่างๆ ได้แก่ primary root, hypocotyl และใบเลี้ยง การประเมินต้นอ่อนดี 5 ประการดังนี้

1.) ต้นอ่อนปกติ คือต้นอ่อนที่มีส่วนสำคัญ ได้แก่ ราก ลำต้น และใบเลี้ยงเจริญเติบโตสมบูรณ์ที่สามารถเจริญเติบโตเป็นต้นพืชต่อไป



Figure 2 Normal seedling.

2.) ต้นอ่อนผิดปกติ คือต้นอ่อนที่แสดงว่าไม่สามารถจะเจริญเติบโตตามปกติได้มีลักษณะใดลักษณะหนึ่ง เช่น ลากูตรากเน่า ใบเลี้ยงถูกทำลายมากกว่าครึ่งใบ



Figure 3 Abnormal seedling

3.) เมล็ดแข็ง คือเมล็ดที่ยังคงลักษณะแข็งอยู่จนถึงวันนับสุดท้ายของการนับ เนื่องจากเนื้อเยื่อไม่สามารถดูดซึมน้ำเข้าไปในเมล็ดทำให้เมล็ดไม่สามารถงอกได้ (Figure 4) น้ำเข้าไปในเมล็ดทำให้เมล็ดไม่สามารถงอกได้



Figure 4 Hard seed.

4.) เมล็ดสดไม่งอก (Figure 5) คือเมล็ดที่ยังคงสภาพเดิมไม่มีรากหรือใบงอกออกมาให้เห็นจนถึงวันนับครั้งสุดท้ายของการนับ และอาจจะงอกได้ผ่านวิธีการทำลายการพักตัว เช่น การอบด้วยความร้อนหรือตากแดด และการใช้สารเคมี

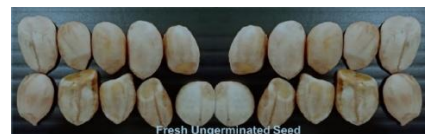


Figure 5 No germinate.

5.) เมล็ดตาย คือเมล็ดที่ตายหรือเน่าสีเมล็ดเปลี่ยนแปลงปกคลุมด้วยเชื้อราสังเกตได้จากเมล็ดจะเน่าและมีลักษณะตายเน่า และมีกลิ่นเหม็น (Figure 6)



Figure 6 Rotten seed.

วิธีการทดสอบความแข็งแรงโดยวิธีการเร่งอายุ

(accelerated aging test ,AA test)

เป็นวิธีการที่ถูกพัฒนามาโดย Delouche และ Baskin ในปี ค.ศ.1973 เพื่อใช้ประเมินศักยภาพในการเก็บรักษา (storability) ของเมล็ดพันธุ์ และยังสามารถใช้ทำนายความสามารถในการงอกในสภาพไร่ สามารถปรับใช้กับเมล็ดพันธุ์พืชเกือบทุกชนิด โดยมีวิธีการดังนี้คือ ก่อนที่จะนำเมล็ดพันธุ์ไปเพาะจะนำไปเร่งอายุ หรือทำให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพ โดยนำเมล็ดพันธุ์ไปไว้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมสำหรับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง เร่งอายุที่อุณหภูมิ 41 ± 0.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 98 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็น

ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ± 15 นาที แล้วนำเมล็ดไปตรวจสอบความงอกมาตรฐาน และประเมินความงอกตามเกณฑ์ปกติ ได้แก่ ต้นอ่อนปกติ ต้นอ่อนผิดปกติ เมล็ดแข็ง เมล็ดสดไม่งอก และเมล็ดตาย ที่อายุ 5 และ 8 วัน หลังเพาะ คำนวนและรายงานผลเป็นร้อยละ โดยร้อยละความงอกหลังการเร่งอายุ ถือเป็นร้อยละความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (ISTA Rules, 2025) อ้างอิงจาก ISTA. 2025. International Rules for Seed Testing, Edition 2025. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland.

วิธีการตรวจสอบความชื้นเมล็ดพันธุ์

ความชื้นเมล็ดพันธุ์คือ ปริมาณของน้ำที่แทรกอยู่ตามส่วนต่างๆของเมล็ดพันธุ์ เป็นองค์ประกอบสำคัญของเมล็ดพันธุ์ และเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ วิธีการตรวจสอบความชื้นแบ่งเป็น 2 วิธีคือการตรวจสอบโดยตรง ได้แก่ วิธีอบด้วยความร้อนและ การตรวจสอบทางอ้อม เช่น วิธีใช้เครื่องวัดความชื้น แบบพกพาใช้ในงานสนามดัง Figure 7



Figure 7 Seed and Moisture meter capacitance type

การตรวจสอบโดยตรง คือการตรวจสอบหาความชื้นของเมล็ดพันธุ์ เพื่อที่จะทราบถึงระดับความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ และเพื่อใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงสภาพ และการควบคุมคุณภาพเมล็ดพันธุ์และใช้ในการคำนวณมีวัสดุอุปกรณ์ดัง Figure 8

วัสดุอุปกรณ์



Figure 8 Direct type moisture testing

เปอร์เซ็นต์ความชื้นสามารถหาได้จากสมการ (1)

$$\%MC = \frac{(M2 - M3)}{(M2 - M1)} \times 100 \quad (1)$$

โดย M1=นน.ของกระป๋องพร้อมฝา(g)

M2=นน.กระป๋องพร้อมฝาและ ตย.เมล็ดพันธุ์ก่อนอบ(g)

M3=นน.กระป๋องพร้อมฝาและ ตย.เมล็ดพันธุ์หลังอบ(g)

3.ผลและวิจารณ์

ในการทดลองนี้ใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ แบ่งส่วนประกอบหลักออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ 1 ส่วนของห้องอบแห้ง 2 ส่วนของปั๊มสุญญากาศ แสดงหลักการทำงานได้ดัง Figure 9

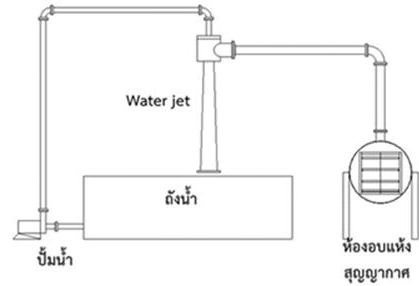


Figure 9 Machine and Equipment

ห้องอบแห้ง

ทำการออกแบบและสร้างส่วนของถังอบแห้งเป็นรูปทรงกระบอกกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร ส่วนตรงยาว 1.20 เมตร ผนังถังอบทำจากเหล็กแผ่นหนา 6 มิลลิเมตร และมีส่วนหัวและท้ายของถังอบเป็นลักษณะโค้งเพื่อความแข็งแรง ทำการออกแบบช่องมองผลิตภัณฑ์เป็นกระจกใสวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.20 เมตร ถังอบมีฝาเปิด-ปิดทรงโค้งมีจุดหมุนแข็งแรงมีฐานตั้งรับถัง ทำการออกแบบชั้นวางและตะแกรงใส่เมล็ดถั่วเหลืองเพื่อบรรจุในถังอบแห้ง โดยตะแกรงจะมีขนาดกว้าง x ยาว 0.52 x 1.00 เมตร ดัง Figure 10



Figure 10 Conceptual design.



Figure 11 Assembly machine and Equipment

ทำการทดลองอบด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ มี
ความสามารถลดความชื้นอากาศได้ 650 มิลลิเมตรปรอท Figure
11 และ Figure 12



Figure 12 Seed moisture drying

3.1 ผลการทดสอบการอบลดความชื้น

Table 1 Result of dehumidification by using vacuum
dryer at different temperature.

Time/Temp	45 c	40 c	35 c	30 c
0	17.1	17.5	16.2	16.2
0	17.6	17.8	16.7	16.7
0	18.7	18.2	16.1	16.3
0	18.4	18	16.6	16.8
1	14	14.6	15	15.6
1	14.2	14	15.1	15.2
1	14.3	14.3	15.4	15.4
1	14.6	14.7	15.6	15.3
2	11.8	11.5	11.8	12
2	11.6	11.8	11.5	11.9
2	11.5	11.4	11.7	12.4
2	11.7	11.7	11.1	12.3
3	8.4	8.4	8.5	8.7
3	8.3	8	8.4	8.4
3	8.1	8.2	8.1	8.6
3	8.2	8.5	8.7	8.1

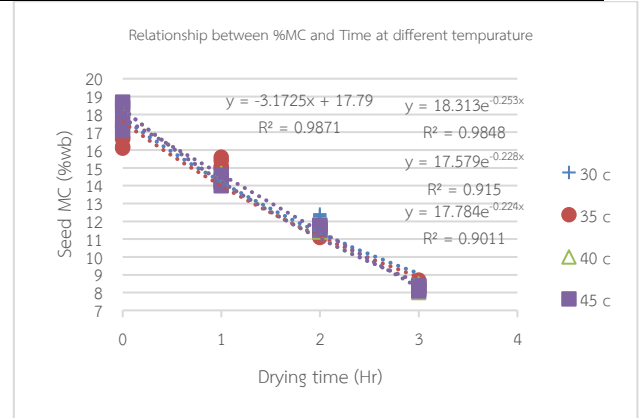


Figure 13 Show dehumidification by using vacuum
dryer at different temperature

จาก Table 1 และ Figure 13 เป็นผลการอบลดความชื้น
เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากความชื้นประมาณ 16-17%โดยการ
ปรับเปลี่ยนอุณหภูมิการอบ 4 ระดับคือ 45 40 35 30 องศา
เซลเซียสพบว่าอุณหภูมิในการอบมีผลโดยตรงกับอัตราการลดลง
ของค่าความชื้น คือการตั้งอุณหภูมิสูงจะทำให้ชื้นลดลงเร็วกว่า
การตั้งอุณหภูมิต่ำและมีผลโดยตรงกับเวลาที่ใช้ในการอบคือ
อุณหภูมิสูงจะใช้เวลาน้อยกว่า ในการอบลดความชื้นจาก 16 -17
เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการอบประมาณ 3-3.5 ชม ขึ้นอยู่กับ
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและอุณหภูมิแวดล้อม(ambient
temperature)

3.2 ผลการลดความชื้นด้วยการตากแดด

Table2 Table1 Result of dehumidification by using
sun drying

Time(Hr) /exp no	MC (%wb)			
	rep1	rep2	rep3	rep4
0.0	17.0	17.0	16.0	16.0
1.0	16.0	16.4	15.0	15.6
2.0	15.0	14.9	13.5	13.8
3.0	13.8	13.6	13.1	12.9
4.0	12.0	11.8	12.3	12.7
5.0	10.0	10.4	10.5	10.3
6.0	9.3	9.1	9.6	9.4
7.0	8.2	8.3	8.4	8.5

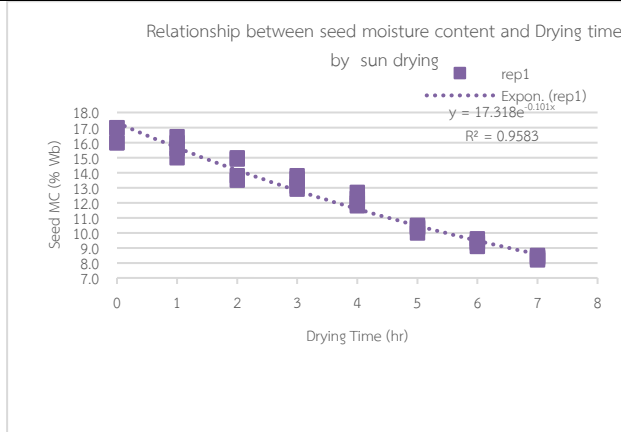


Figure 14 Show dehumidification by using sun drying

จากตารางที่2และภาพที่14 เป็นผลการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยการตากลานหรือการตากแดด พบว่า อัตราการลดความชื้น มีความไม่แน่นอน การลดความชื้นจากความชื้นประมาณ16-17% ลดลงมาถึงประมาณ8%ใช้เวลาไม่น้อยกว่า 7 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม

3.3 ผลการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

Table 3 Result of soilbean seed germination testing

ข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง																		
ลำดับ	ชื่อผู้วิจัย	Treatment	การประเมินผล	ความบริสุทธิ์ (%)	ความชื้น (%)						รวม	ความชื้น (%)	ความชื้น (%) โดยวิธีเร่งอายุ					
					ต้นกล้า	ต้นกล้า	ต้นกล้า	ต้นกล้า	ต้นกล้า	ต้นกล้า			ต้นกล้า	ต้นกล้า	ต้นกล้า	ต้นกล้า	ต้นกล้า	ต้นกล้า
1	KL45238	T1	Control 1	995	88	1	0	1	10	100	88	78	4	0	0	18	100	
		T2	Control 2	996	89	1	0	0	10	100	87	77	2	1	0	20	100	
		T3	Control 3	994	85	1	0	1	13	100	88	79	3	2	1	15	100	
		T4	Control 4	997	87	1	1	0	11	100	89	78	1	3	1	17	100	
2	KL45238	T1	45°C	998	80	1	0	0	19	100	87	75	3	0	0	22	100	
		T11	45°C	997	81	0	0	1	18	100	85	73	1	0	2	24	100	
		T12	45°C	995	82	1	0	0	17	100	89	74	0	3	0	23	100	
		T13	45°C	998	82	1	0	1	16	100	9	75	2	0	2	21	100	
4	KL45238	T2	40°C	996	84	0	0	0	16	100	89	76	3	0	0	21	100	
		T21	40°C	994	85	0	1	0	14	100	92	75	1	1	1	22	100	
		T22	40°C	995	83	1	0	1	15	100	88	77	2	0	3	18	100	
		T23	40°C	997	82	1	1	0	16	100	93	74	0	1	2	23	100	
6	KL45238	T3	35°C	995	86	2	0	0	12	100	91	75	5	0	0	20	100	
		T31	35°C	994	85	1	1	0	13	100	88	76	2	1	0	21	100	
		T32	35°C	997	86	2	0	1	11	100	92	74	4	0	1	21	100	
		T33	35°C	996	84	0	1	1	14	100	91	75	1	2	3	19	100	
8	KL45238	T4	30°C	992	85	3	0	0	12	100	97	77	2	0	0	21	100	
		T41	30°C	995	84	0	1	1	14	100	94	76	1	2	0	21	100	
		T42	30°C	994	85	2	1	0	12	100	96	75	2	3	1	19	100	
		T43	30°C	996	86	1	0	0	13	100	98	76	0	3	4	17	100	

ข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ในการทดลองนี้วางแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ทำการอบเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่อุณหภูมิต่าง ๆ จำนวน 5 กรรมวิธี ได้แก่

1. กรรมวิธีควบคุม (การตากแดด)
2. อบที่อุณหภูมิ 45 °C
3. อบที่อุณหภูมิ 40 °C
4. อบที่อุณหภูมิ 35 °C
5. อบที่อุณหภูมิ 30 °C

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลพารามิเตอร์ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การงอก (%) และความแข็งแรง (%) โดยวิธีเร่งอายุ

นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละทรีตเมนต์ ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)

Table 4 Table1 Result of dehumidification by using vaccum dryer at different temperature

Experiment	Germination(%)	Strength (%)
Sun drying	87.25 a	78.00 a
Vac drying 45 °C	81.25 c	74.25 c
Vac drying 40 °C	83.50 b	75.50 bc
Vac drying 35 °C	85.25 b	75.00 bc
Vac drying 30 °C	85.00 b	76.00 b
Av	84.45	75.75
F-test	**	**
CV (%)	1.41	1.26

- ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

- ** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

ผลของการอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ ต่อการงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

จากการศึกษาผลของการอบเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่อุณหภูมิต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การงอกและความแข็งแรงของเมล็ด พบว่า ทั้งสองตัวแปรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการอบมีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองอย่างชัดเจน

1. เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

- กรรมวิธีควบคุม (การตากแดด) ให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุดคือ 87.25% ซึ่งแตกต่างจากทุกกรรมวิธีที่อบด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
- อุณหภูมิที่ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การงอกต่ำที่สุดคือ 45 °C โดยได้ค่าเฉลี่ย 81.25%
- การอบที่ 35 °C และ 30 °C ให้ผลใกล้เคียงกับควบคุมมากที่สุด (85.25% และ 85.00% ตามลำดับ) แต่ยังคงแตกต่างกันทางสถิติ

2. ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (โดยวิธีเร่งอายุ)

- เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากการกรรมวิธีควบคุมมีความแข็งแรงสูงสุดเช่นกัน คือ 78.00%
- การอบที่ 30 °C ให้ความแข็งแรงของเมล็ดสูงเป็นอันดับสอง (76.00%) และแตกต่างจากการกรรมวิธีควบคุมในเชิงสถิติ
- อุณหภูมิ 45 °C ส่งผลเสียต่อความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมากที่สุด (74.25%) และแตกต่างจากการกรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

4.สรุปผลการทดลอง

เมื่ออุณหภูมิการอบเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะช่วงอุณหภูมิ 40–45 °C จะส่งผลให้ทั้งเปอร์เซ็นต์การงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ลดลงอย่างชัดเจน การอบที่อุณหภูมิต่ำถึงปานกลาง (30–35 °C) ยังสามารถรักษาคุณภาพเมล็ดให้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับการกรรมวิธีควบคุม(control)

ดังนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบเมล็ดถั่วโดยไม่กระทบต่อการงอกมากนักควรอยู่ที่ไม่เกิน 30–35 °C

5. คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทีมวิจัยศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น และทีมงานสนับสนุนการวิจัย ศูนย์วิจัยเมล็ดพันธุ์พืช เชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุน เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ศูนย์วิจัยเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่นที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ วัสดุและอุปกรณ์ ในการทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ตลอดจนบุคลากร ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จตามเป้าหมาย

6. เอกสารอ้างอิง

- กิตติคุณ ปิณฑพรมพันธุ์, ณัฐพล ภูมิสะอาด และ ละมุล วิเศษ. 2013. การอบแป้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกโดยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน. J Sci Technol MSU. 32(5): 622-625.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2552. เทคโนโลยีการใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน.
- กองเกษตรวิศวกรรม. 2543. หลักการและส่วนประกอบที่สำคัญของการลดความชื้นของเมล็ดพืช. กรมวิชาการเกษตร. ปีที่ 12. (ฉบับที่ 2): เมษายน-มิถุนายน 2543.
- ไกรสิงห์ อุดมญาติ, อรรถพงษ์ เฉลิมสุข และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548. ศักยภาพการพัฒนาตู้แช่เย็นขนาดเล็กมาเป็นเครื่องลดความชื้น, การประชุมวิชาการเครือข่าย

วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม 2548, ภูเก็ต.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2521. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. การตรวจสอบและวิเคราะห์เมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุฑาศินี พรพุทธศรี และ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์. 2555. การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งเมล็ดพันธุ์ฝักโดยใช้ปั๊มความร้อน. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่, น. 566 - 570.

บุญมี ศิริ, เบญจมาภรณ์ สุทธิ และ โสภณ วงศ์แก้ว. 2546. การลดความชื้นและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ถั่วลิสง, ว. วิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 34 ฉบับที่ 4-6 (พิเศษ) : 187-189.

เบญจมาภรณ์ สุทธิ. 2543. อิทธิพลของวิธีการลดความชื้นและการเก็บรักษาต่อคุณภาพและอายุเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง.วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2543. 62 หน้า.

พิรสิทธิ์ ทวยนาค มณฑล ชูโซนาค มุสตาฟา ยะกา และประชา บุญวานิชกุล. 2557. การทบทวนพัฒนาการของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรม. วารสาร วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ปีที่ 9 ฉบับที่ 1, หน้า 68-74.

วันชัย จันทรประเสริฐ. 2537. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุฤทธิพร วิทย์ผดุง และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548. การออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 43 แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 239-246.



อิทธิพลของความชื้นมูลไก่ไข่อารมณ์ดีที่มีผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดเม็ดแบบลูกกลิ้งแนวตั้ง Effect of Moisture Content of Happy Egg Chicken Manure on the capacity of a Vertical Roller Pellet Machine

ประพัฒน์ อธิปัญจพงษ์¹, พชร ปุสสะรังสี², ลือพงษ์ ลือนาม^{2*}

Prapat Athipanjang¹, Phachara Pussarangsee², and Luepong luenam^{2*}

¹ศูนย์วิจัยร่วมภาครัฐและเอกชน คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 10520

¹Public-private collaborative research center, School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 10520

²คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 10520

²School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 10520

*Corresponding author: E-mail: luepong.lu@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การเลี้ยงไก่ไข่อารมณ์ดี เป็นการเลี้ยงไก่แบบปล่อยให้ไก่ออกมานอกโรงเรือนได้อย่างอิสระโดยเป็นพื้นที่มีหญ้า ทำให้ไก่ได้แสดงพฤติกรรมธรรมชาติในการเลี้ยงไก่ไข่อารมณ์ดีนอกจากจะได้ไข่ไก่แล้วยังได้มูลไก่ แต่ข้อเสียของมูลไก่ไข่เมื่อเก็บไว้ทำให้ส่งกลิ่นเหม็น ต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมาก มีความชื้นที่แตกต่างกัน และยากต่อการใช้งาน ซึ่งในปัจจุบันมีเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเพื่อให้สะดวกในการนำไปใช้ และเก็บรักษา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราความชื้นที่จะมีผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดเม็ด ทำการศึกษาจัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับมูลไก่ไข่และการอัดเม็ดปุ๋ย โดยทำการศึกษาความชื้น 5 ทรिटเมนต์ คือ 30, 35, 40, 45 และ 50% (ฐานเปียก) และวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองในรูปแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) การศึกษาพบว่า ทรिटเมนต์ที่ 1 มีความชื้นของมูลไก่ที่ 30% (ฐานเปียก) มีความสามารถเหมาะสมที่สุด โดยลักษณะในการจับตัวเป็นเม็ดดี และเครื่องอัดเม็ดสามารถทำงานได้ 18.71 kg h^{-1}

คำสำคัญ: มูลไก่ไข่อารมณ์ดี, ความชื้น, ความสามารถในการทำงาน, เครื่องอัดเม็ด

Abstract

Free-range egg farming, also known as happy egg farming, allows hens to roam freely in an outdoor area with grass, enabling them to exhibit natural behaviors. While this method produces eggs and chicken manure, the latter poses challenges when stored. Chicken manure emits an unpleasant odor, requires substantial storage space, exhibits varying moisture levels, and is difficult to handle. Consequently, organic pelleted fertilizer production technologies have emerged to enhance utilization and storage. This research aims to investigate the impact of moisture content on pelletizer performance. Data on chicken manure and fertilizer pelletization. The study examined five moisture levels: 30, 35, 40, 45, and 50 % (wet basis). Utilizing a Completely Randomized Design (CRD), the experimental data was analyzed. The findings revealed that the 30% moisture content (wet basis) treatment exhibited optimal performance, characterized by excellent pellet formation and a pelletizer capacity of 18.71 kg h^{-1} .

Keywords: Happy egg chicken manure, Moisture content, capacity, pelletizing machine

1 บทนำ

ไก่ไข่เป็นสัตว์เศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สามารถสร้างรายได้ให้กับผู้เลี้ยงได้อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี เนื่องจากไข่ไก่เป็นผลผลิตที่เป็นที่นิยมสูงในผู้บริโภคและเป็นที่ต้องการของตลาดอย่างมาก โดยในปัจจุบันสายพันธุ์ไก่ไข่ที่มีทั้งที่เป็นสายพันธุ์แท้ ได้แก่ พันธุ์โรดไอส์แลนด์แดง และพันธุ์บาร์พลัมทรีค (อรรถรรณ ชินราศี, 2547) ซึ่งไก่ไข่ที่ตอกไข่ฟองโตและให้ไข่ที่ทน (ไสว นามคุณ, 2544) ไก่ไข่พันธุ์ลูกผสมที่เกิดจากการผสมกันระหว่างพันธุ์แท้ 2 สายพันธุ์ เป็นพันธุ์ไก่ไข่ที่ได้รับความนิยมในการเลี้ยงเชิงการค้ามากในปัจจุบัน เนื่องจากมีการปรับปรุงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพการให้ผลผลิตไข่ได้สูงขึ้น (เฉลิมชัย สังข์มณฑล, 2554) ข้อมูลกรมปศุสัตว์ปี 2565 จำนวนเกษตรกรที่เลี้ยงไก่ภายในประเทศไทยมีจำนวน 2.87 ล้านราย มีจำนวนไก่ 498 ล้านตัว (สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดจันทบุรี, 2556)

การเลี้ยงไก่ไข่อินทรีย์หรือการเลี้ยงไก่ไข่ธรรมชาติ เป็นการเลี้ยงไก่แบบปล่อยให้ไก่ออกมานอกคอกหรือโรงเรือนได้อย่างอิสระโดยเป็นพื้นที่มีหญ้าทำให้ไก่ได้แสดงพฤติกรรมธรรมชาติ เช่น คลุกฝุ่น การไถ่ขุด การจิกกินพืช ผัก แมลง ทำให้ไก่มีความสุข (กรมปศุสัตว์, 2565) สุขภาพแข็งแรง และอารมณ์ดี ส่งผลให้ลักษณะของไข่ขาวจะมีสีเข้มชัดเจน ส่วนไข่แดงจะมีสีเข้มและนูนเด่น เมื่อนำมาปรุงเป็นอาหารจะมีความหอมมันและรสชาติดี อีกทั้งยังมีเบต้าแคโรทีนมากกว่าไข่ไก่เชิงอุตสาหกรรมถึง 7 เท่า มีวิตามินอีมากกว่า 3 เท่า และมีกรดไขมันโอเมก้า 3 มากกว่าถึง 2 เท่า (วรรณกร ชัยรัตน์, 2563) อย่างไรก็ตามในการเลี้ยงไก่ไข่ธรรมชาตินอกจากจะได้ไข่ไก่แล้วยังได้มูลไก่ แต่ข้อเสียของมูลไก่ไข่เมื่อเก็บไว้ทำให้ส่งกลิ่นเหม็น ต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมาก และยากต่อการใช้งาน (สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดจันทบุรี, 2556) โดยจากการศึกษาวิเคราะห์พบว่ามูลไก่ไข่จะมีธาตุไนโตรเจน 1.38% ฟอสฟอรัส 5.39% โพแทสเซียม 1.84% แคลเซียม 5.75% แมกนีเซียม 0.44% (รัชนิพร สุทธิภาสินปี และธัญวรรณ ศรีเดชกุล, 2552) การนำปุ๋ยมูลไก่ใส่ในข้าว สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวพันธุ์ กข 23 ได้ร้อยละ 16-34 ซึ่งปุ๋ยมูลไก่นั้นถือว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชั้นเยี่ยมชนิดหนึ่ง เนื่องจากปุ๋ยมูลไก่นั้นประกอบด้วยธาตุอาหารที่มีความหลากหลาย (อนนท์ สุขสวัสดิ์ และคณะ, 2537) ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้คนส่วนมากมีความต้องการที่จะพัฒนาปุ๋ยมูลไก่เพื่อนำเข้าสู่การทำเกษตรมากขึ้น

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์หลายประเภท เช่น เครื่องอัดเม็ดแบบเกลียว เครื่องอัดแบบลูกกลิ้งแนวตั้ง และเครื่องอัดแบบลูกกลิ้งแนวนอน (ณัฐพล ภูมิสะอาด และคณะ, 2565) การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ความชื้นของวัตถุดิบเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการขึ้นรูปเม็ดปุ๋ย โดยความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดเม็ดปุ๋ยจากปุ๋ยคอก รำข้าว และแกลบดำ อยู่ในช่วง 26.66% – 33.33% (ปิยะวัฒน์ ศรธรรม และคณะ, 2559) ด้วยเหตุนี้ การศึกษาปัจจัยด้านความชื้นของมูลไก่จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราความชื้นของมูลไก่ไข่ธรรมชาติที่มีต่อลักษณะและความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดเม็ดลูกกลิ้งแนวตั้ง โดยมุ่งหวังให้ผลการศึกษาเป็นแนวทางแก่เกษตรกรและผู้สนใจในการเลือกอัตราความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปุ๋ยอัดเม็ด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ สะดวกต่อการจัดเก็บ ขนส่ง และนำไปใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เครื่องอัดเม็ดปุ๋ย ชนิดลูกกลิ้งแนวตั้ง มอเตอร์ต้นกำลังขนาด 3 HP พร้อมแผ่นร้งผึ้งสำหรับอัดเม็ด ลักษณะวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 cm เจาะรูขนาด 0.4 cm

2.2.2 มูลไก่ไข่ธรรมชาติ ปริมาณรวม 75 kg

2.2.3 เตาอบลมร้อน Binder รุ่น FD 115 (E2)

2.1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล Sunford รุ่น ACS-30-JC21

2.1.5 อุปกรณ์ทั่วไป: ถังผสม, จอบ, น้ำเปล่า, นาฬิกาจับเวลา และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (เช่น ไอแพด, สมุด, ปากกา)

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

การศึกษาดูอิทธิพลของความชื้นมูลไก่ไข่ธรรมชาติต่อความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดเม็ดลูกกลิ้งแนวตั้งนี้ ดำเนินการและจัดเก็บข้อมูล โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.2.1 นำมูลไก่ไข่ธรรมชาติทั้งหมด 75 kg มาคลุกเคล้าให้เข้ากันอย่างทั่วถึง จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวัดค่าความชื้นเริ่มต้นจำนวน 5 ตัวอย่าง เริ่มจากการชั่งน้ำหนักก่อนอบ แล้วนำเข้าเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

นำออกมาชั่งน้ำหนักหลังอบ แล้วคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์
ความชื้นเริ่มต้นจากสมการที่ 1

W = น้ำหนักของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าเครื่อง (kg)
 t = เวลาในการทำงาน (h)

$$MC_{wb}(\%) = \left(\frac{W_w - W_d}{W_w} \right) \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ MC_{wb} = ค่าความชื้นแบบฐานเปียก (%)
 W_w = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ (g)
 W_d = น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบแห้ง (g)

2.2.2 แบ่งมูลไก่ที่คลุกเคล้าเข้ากันแล้วออกเป็นกอง ๆ ละ 15 kg จำนวน 5 กอง จากนั้นเติมน้ำเพื่อปรับค่าความชื้นของมูลไก่แต่ละกองให้ได้ตามที่กำหนดไว้ใน Table 1 โดยให้ค่าความชื้นที่ได้อยู่ภายในช่วง $\pm 1\%$ ของค่าเป้าหมาย เมื่อปรับความชื้นได้ตามต้องการแล้ว ให้แบ่งมูลไก่แต่ละกองออกเป็น 3 ซ้ำๆ ละ 5 kg เพื่อใช้ในการทดลองอัดเม็ดต่อไป

Table 1 Moisture Content of Happy Egg Chicken Manure

Experiment	Moisture content (wet basis)
1	30%
2	35%
3	40%
4	45%
5	50%

2.2.3 หลังจากปรับความชื้นมูลไก่แล้วให้นำมูลไก่แต่ละซ้ำไป อัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดลูกกลิ้งแนวตั้ง พร้อมกับ บันทึกเวลาที่ใช้ในการอัดเม็ด ของแต่ละซ้ำอย่างละเอียด ในระหว่างการอัดเม็ด จะต้อง สุ่มตัวอย่างเม็ดปุ๋ยที่ได้เพื่อสังเกตลักษณะการจับตัวเป็นเม็ด รวมถึงคุณภาพเบื้องต้น เช่น ความแน่น ความแข็งแรง และความสม่ำเสมอของเม็ดปุ๋ย จากนั้นนำเวลาที่บันทึกไว้ไปคำนวณความสามารถในการทำงานของเครื่องจักร โดยใช้สมการที่ 2

$$C = \frac{W}{t} \quad (2)$$

โดยที่ C = ความสามารถของเครื่องจักร (kg h^{-1})

2.3 วิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) เพื่อดูความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสามารถในการทำงานระหว่างกลุ่มทดลองที่มีความชื้นต่างกัน หากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) โดยจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3 ผลและวิจารณ์

การทดสอบ พบว่า มูลไก่ใช้อารมณ์ดีมีความชื้นเริ่มต้น 30.18% (ฐานเปียก) นำมูลไก่ไปปรับความชื้นตามที่กำหนดและทำการอัดเม็ดด้วยเครื่องลูกกลิ้งแนวตั้งแล้ว คำนวณหาความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดเม็ด พบว่า ทริตเมนต์ที่ 5 มูลไก่ที่มีความชื้น 50% (ฐานเปียก) มีความสามารถในการทำงานมากที่สุดอยู่ที่ 28.36 kg h^{-1} รองลงมาคือ ทริตเมนต์ที่ 4, 3, 2 และ 1 มีความสามารถในการทำงานอยู่ที่ 23.15, 20.81, 19.70 และ 18.71 kg h^{-1} ตามลำดับ แสดงดัง Figure 1

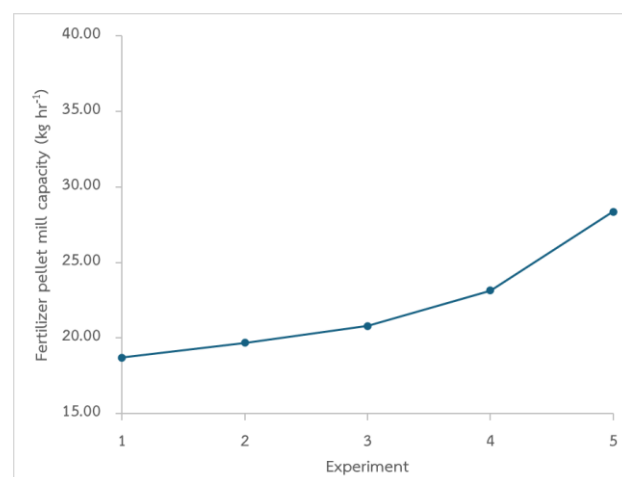


Figure 1 The relationship between the moisture content of chicken manure and the performance of a fertilizer pellet mill is critical

เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$) พบว่าความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างทรีตเมนต์ที่ 1 และ 2 รวมถึง ทรีตเมนต์ที่ 2 และ 3 แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทรีตเมนต์ที่ 4 และ 5 แม้ว่าทรีตเมนต์ที่ 5 จะแสดงค่าความสามารถในการทำงานสูงสุด แต่จากการสังเกต มูลไก่ไม่สามารถอัดออกมาเป็นเม็ดได้เลย ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่ชี้ให้เห็นว่าค่าความสามารถในการทำงานที่สูงเพียงอย่างเดียวอาจไม่สะท้อนถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ผลการศึกษาแสดงดัง Table 2

Table 2 Relationship between the capacity of fertilizer pellet machines in each experiment

Experiment	Capacity (kg h^{-1})
1	18.71a
2	19.70ab
3	20.81b
4	23.15c
5	28.36d
F-test	ns
C.V.(%)	20.48

Note: Identical letters within the same column indicate no significant statistical difference based on Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

ns = not statistically significant at the 95% confidence level ($p > 0.05$).

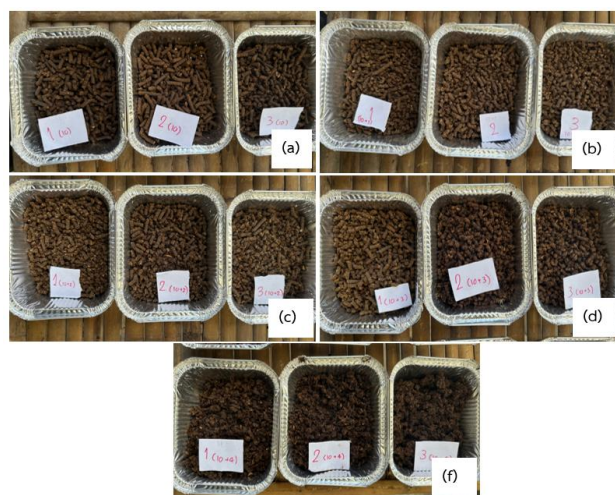


Figure 2 Physical characteristics of pelleted chicken in each experiment

เมื่อสังเกตลักษณะของมูลไก่ไข่อารมณ์ดีอัดเม็ดในแต่ละการทดลอง พบว่า ทรีตเมนต์ที่ 1 สามารถขึ้นรูปได้ดี มีลักษณะเป็นท่อนยาว มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน อัดตัวกันแน่น และมีส่วนที่ไม่สามารถขึ้นรูปได้ในปริมาณที่น้อย (Figure 2a) ทรีตเมนต์ที่ 2 สามารถขึ้นรูปได้มีลักษณะการจับตัวกันเป็นแท่งสั้น มีการจับตัวกันแน่น มีขนาดเล็กหลังการอัดจำนวนมาก (Figure 2b) ทรีตเมนต์ที่ 3 สามารถขึ้นรูปได้มีลักษณะของการจับตัวเป็นแท่งสั้น เม็ดที่อัดมีรอยแตกร้าว ไม่มีความแน่นของเม็ด (Figure 2c) ทรีตเมนต์ที่ 4 ไม่สามารถขึ้นรูปได้ มีลักษณะการจับตัวกันเป็นเม็ดย่อย เม็ดที่อัดออกมามีความร่วนซุยสูง (Figure 2d) และทรีตเมนต์ที่ 5 ไม่สามารถขึ้นรูปได้มีลักษณะไม่มีการจับตัวกันเป็นเม็ด มีความร่วนซุยสูง มีความชื้นสูง (Figure 2f)

ความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดเม็ดร่วมกับลักษณะของการจับตัวเป็นเม็ด พบว่ามูลไก่ไข่อารมณ์ดีในทรีตเมนต์ที่ 1 มีความสามารถในการอัดเม็ด 18.71 kg h^{-1} ซึ่งมูลไก่ไข่อารมณ์ดีที่มีความชื้น 30% (ฐานเปียก) ซึ่งสอดคล้องกับฉันทพล ภูมิสะอาด (2565) ได้กล่าวไว้ว่าวัสดุที่จะนำมาอัดด้วยเครื่องอัดแบบลูกกลิ้งแนวตั้งต้องผสมเข้ากันดี และมีความชื้นประมาณ 10 ถึง 30% (ฐานเปียก)

4 สรุป

ผลการศึกษาความชื้นที่มีผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย พบว่า ลักษณะของมูลไก่ไข่อารมณ์ดีอัดเม็ดที่มีลักษณะรูปทรงดีที่สุดคือทรีตเมนต์ที่ 1 มีความชื้น 30.21% (ฐานเปียก) มีความสามารถในการทำงาน 18.71 kg h^{-1} มีลักษณะการจับตัวกันเป็นแท่งยาว มีการจับตัวกันแน่น เม็ดที่อัดไม่ร่อนแตกร้าว ไม่มีเศษผงหลังการอัด ซึ่งกระบวนการอัดเกิดความร้อนสูงระหว่างลูกกลิ้งและแผ่นรังผึ้งทำให้มูลไก่ภายในแผ่นรังผึ้งเกิดการแข็งตัวจึงทำให้การอัดใช้เวลานาน ส่วนอัตราความชื้นของมูลไก่ไข่ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดเม็ดที่สูงกว่าขึ้นด้วย แต่เม็ดที่อัดออกมามีลักษณะการจับตัวกันเป็นเม็ดได้ไม่ค่อยดี แต่ถ้ามีการเพิ่มขึ้นของอัตราความชื้นในมูลไก่มากเกินไปจะทำให้มูลไก่ที่ถูกอัดออกมามีลักษณะเหลวไม่จับตัวกันเป็นเม็ด

5 เอกสารอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. 2565. ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ระดับจังหวัด ปี

2565. แหล่งข้อมูล: <https://ict.dld.go.th/webnew/index.php/th/service-ict/report/396-report-thailand-livestock/reportservey2565/1711-province2565>.

เข้าถึงเมื่อ 20 พฤษภาคม 2568.

เฉลิมชัย สังข์มณฑล. 2554. คู่มือไก่ไข่. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ณัฐพล ภูมิสะอาด. 2565. การจัดการผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยเพื่อการพัฒนาชุมชน เพื่อความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. กรุงเทพมหานคร:สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ปิยะวัฒน์ ศรธรรม และคณะ. 2559. เครื่องผสมพร้อมกับอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์.” วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ. 2(2) : 87-96.

รัชนิพร สุทธิภาสินปี และธัญวรรณ ศรีเตชะกุล. 2552.การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วารสารวิจัยราชภัฏเชียงใหม่. 10(2). 103-108.

วรรณกร ชัยรัตน์. 2563. [ออนไลน์] เลี้ยงไก่อารมณ์ดีเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ. แหล่งข้อมูล: จาก <http://secretary.dld.go.th/webnew/index.php/th/news-menu/dld-editorial-menu/5797-2-2563>. เข้าถึงเมื่อ 20 พฤษภาคม 2568.

สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดจันทบุรี. 2556. การเลี้ยงไก่ไข่แบบปล่อย Happy Chicken. แหล่งข้อมูล: <https://pvlo-ctr.dld.go.th/webnew/index.php/th/service-menu/stat-report/129-gis/291-2013-03-08-03-03-17>. เข้าถึงเมื่อ 20 พฤษภาคม 2568.

ไสว นามคุณ. 2544. การเลี้ยงไก่ไข่. กรุงเทพมหานคร: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

อนนท์ สุขสวัสดิ์ และคณะ. 2537. อิทธิพลของปริมาณและระยะเวลาในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว. วารสารวิชาการเกษตร. 12(2). 94-101.

อรรวรรณ ชินราศรี. 2547. เทคโนโลยีการผลิตสัตว์ปีก. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 26 วันที่ 18 – 19 กันยายน 2568

ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1 กรมส่งเสริมการเกษตร กรุงเทพมหานคร

TSAE
2025

ระบบการเก็บบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงกระวานไทยโดย Google Apps Script ร่วมกับสมองกลฝังตัว The Environmental Data Logging System in Thai Cardamom Farms Using Google Apps Script Integrated with Embedded Systems

ศุรวรรณ ภาษามาศย์^{1*}, พุทธินันท์ จารุวัฒน์², ประวีณา ศรีวงเขต³

Kuruwan Pramart¹, Puttinan Jaruwat², Praveena Sriwaengkhet³

¹ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี, จันทบุรี, 22000

²ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมชัยนาท, ชัยนาท, 17150

³ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมสุราษฎร์ธานี, สุราษฎร์ธานี, 84170

¹Chanthaburi Agricultural Engineering Research Center, Chanthaburi, 22000,

²Chainat Agricultural Engineering Research Center, Chainat, 17150,

³Suratthani Agricultural Engineering Research Center, Suratthani, 84170,

*Corresponding author: Tel: 084-8929336, E-mail: kuruwan@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับการเก็บบันทึกและติดตามข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกกระวานไทย ซึ่งมักประสบปัญหาการเข้าถึงข้อมูลในพื้นที่ห่างไกล ระบบนี้ผสมผสานรวมเทคโนโลยี สมองกลฝังตัว (Embedded System) สำหรับการตรวจวัดภาคสนาม และ Google Apps Script (GAS) สำหรับการส่ง จัดเก็บ และแสดงผลข้อมูลบนแพลตฟอร์มคลาวด์ ระบบสามารถตรวจวัด อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ, ความดันบรรยากาศ, ปริมาณน้ำฝน, และความเข้มของแสง ส่งข้อมูลผ่านโมดูล GSM/GPRS ไปยัง Google Sheets ได้แบบเรียลไทม์ จากการทดสอบภาคสนามในแปลงกระวานจริงที่ อ.โป่งน้ำร้อน จ.จันทบุรี เป็นระยะเวลา 365 วัน พบว่าระบบทำงานได้อย่างเสถียรและต่อเนื่อง โดยส่งข้อมูลทุก 5 นาที ข้อมูลมีความแม่นยำ สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริง และระบบมีความทนทานต่อสภาพอากาศภายนอก การใช้ Google Apps Script ช่วยลดความซับซ้อนในการจัดการฐานข้อมูลและเซิร์ฟเวอร์ ทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นและมีค่าใช้จ่ายต่ำ เกษตรกรสามารถเข้าถึงข้อมูลสภาพแวดล้อมได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยให้ บริหารจัดการแปลงปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้ในแนวคิดเกษตรแม่นยำ

คำสำคัญ: การตรวจวัดสภาพแวดล้อม, เกษตรแม่นยำ, กระวานไทย, ระบบสื่อสาร GSM/4G

Abstract

Automated Environmental Data Logging and Monitoring System for Thai Cardamom Plantations

This research aims to develop an automated system for collecting and monitoring environmental data in Thai cardamom plantations, which often face challenges in accessing data in remote areas. The system integrates embedded system technology for field measurements with Google Apps Script (GAS) for transmitting, storing, and displaying data on a cloud platform. The developed system can measure temperature, relative humidity, atmospheric pressure, rainfall, and light intensity. It sends this data in real-time via a GSM/GPRS module to Google Sheets. Field tests conducted in an actual cardamom plantation in Pong Nam Ron District, Chanthaburi Province, for 365 days showed that the system operated stably and continuously, transmitting data every 5 minutes. The data proved to be accurate, consistent with real environmental conditions, and the system demonstrated durability against external weather conditions. The use of Google Apps Script helps reduce the complexity of database and server management, making the system flexible and low-cost. Farmers can access environmental data in real-time, which enables them to manage their plantations more efficiently and provides a crucial foundation for applying precision agriculture concepts.

Keywords: Environmental Monitoring, Precision Agriculture, Thai Cardamom, GSM/4G Communication System

1 บทนำ

กระวานไทย (*Amomum krevanh*) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่ปลูกมากในพื้นที่ภูเขาของประเทศไทย โดยเฉพาะภาคตะวันออกและภาคตะวันตก โดยเฉพาะพื้นที่ปลูกในจังหวัดจันทบุรี เขตอำเภอโป่งน้ำร้อน บริเวณเทือกเขาสอยดาว โดยมีพื้นที่ปลูกมากกว่า 2,000 ไร่ (กลุ่มอนุรักษ์กระวานจันทบุรี, 2552) การปลูกกระวานต้องอาศัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม โดยเฉพาะเรื่องอุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณแสง(กรมวิชาการเกษตร, 2545) การติดตามและประเมินข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกอย่างต่อเนื่องมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของกระวาน อย่างไรก็ตาม การเข้าถึงแปลงปลูกในพื้นที่ภูเขาเป็นไปอย่างจำกัด ทำให้การเก็บข้อมูลด้วยวิธีดั้งเดิม (เช่น การวัดด้วยมือ) เป็นเรื่องยาก ใช้เวลานาน และขาดความต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลให้เกษตรกรไม่สามารถตัดสินใจในการบริหารจัดการแปลงได้อย่างทันทั่วทั้งที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

จากข้อจำกัดดังกล่าว การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาระบบเก็บบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมแบบอัตโนมัติจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาระบบที่ผสมผสานมองกล้องฝังตัวเพื่อทำหน้าที่ตรวจวัดข้อมูลภาคสนาม และใช้ประโยชน์จาก Google Apps Script (GAS) ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มการพัฒนานคลาวด์ที่ช่วยให้สามารถเชื่อมต่อและจัดการข้อมูลกับบริการต่างๆ ของ Google ได้อย่างง่ายดาย (วสันต์ คุณดิลกเสวต, 2565) โดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างระบบที่สามารถเก็บบันทึก แสดงผล และอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพแวดล้อมสำหรับเกษตรกรผู้ปลูกกระวาน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบมองกล้องฝังตัวที่สามารถตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ, ความดันบรรยากาศ, ปริมาณน้ำฝนและความเข้มของแสงในแปลงกระวานได้แบบอัตโนมัติ
2. เพื่อพัฒนากลไกการส่งข้อมูลจากมองกล้องฝังตัวไปยัง Google Sheets โดยใช้โมดูล GSM/GPRS และ Google Apps Script
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและความเสถียรของระบบในการเก็บบันทึกข้อมูลและส่งข้อมูลในสภาพแวดล้อมจริงของแปลงกระวาน

2 อุปกรณ์และวิธีการ

การออกแบบและพัฒนาฮาร์ดแวร์

การเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์: เลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถเพียงพอต่อการควบคุมเซนเซอร์และการสื่อสาร

เช่น ESP32 หรือ Arduino พร้อมโมดูล GSM และการใช้การสื่อสาร LoRa (Long Range) เพื่อแก้ปัญหาในพื้นที่ไม่มีสัญญาณ GSM/4G

การเลือกเซนเซอร์: คัดเลือกเซนเซอร์ที่เหมาะสมและมีความแม่นยำสำหรับการตรวจวัดอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (เลือกใช้ SCD-40 Sensor) และความเข้มของแสง (เลือกใช้ BH1750)

การออกแบบวงจรและประกอบ: สร้างวงจรเชื่อมต่อเซนเซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ และโมดูล GSM/GPRS และเครือข่าย LoRa พร้อมแหล่งจ่ายพลังงานที่เหมาะสม (เช่น แบตเตอรี่และแผงโซลาร์เซลล์)

การออกแบบกล่องหุ้ม: สร้างกล่องหุ้มที่ทนทานต่อสภาพอากาศภายนอก (กันน้ำ กันฝุ่น) เพื่อป้องกันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

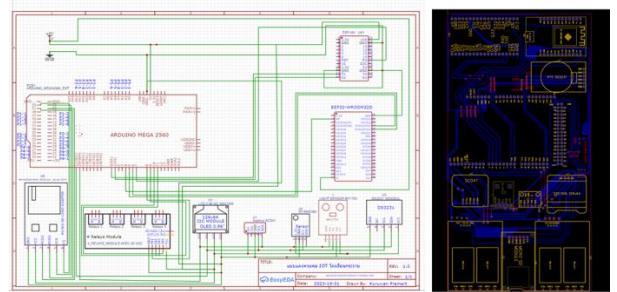


Figure 1 Equipment circuit for the environmental data recording system in Thai cardamom fields.

การพัฒนาเฟิร์มแวร์

การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์: พัฒนาโค้ดเพื่ออ่านค่าจากเซนเซอร์ต่างๆ และจัดรูปแบบข้อมูลให้พร้อมสำหรับการส่ง

การจัดการการสื่อสาร GSM/GPRS: เขียนโค้ดเพื่อควบคุมโมดูล GSM/GPRS ในการเชื่อมต่อเครือข่ายและส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล HTTP/HTTPS ไปยัง Google Apps Script Web App

การจัดการพลังงาน: พัฒนาระบบการจัดการพลังงานให้เหมาะสมกับการใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อให้สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง

การพัฒนา Google Apps Script และ Google Sheets

การสร้าง Google Sheets: เตรียม Google Sheets สำหรับจัดเก็บข้อมูล โดยกำหนดคอลัมน์สำหรับแต่ละพารามิเตอร์ (เช่น วันที่-เวลา, อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ, ความดันบรรยากาศ, ปริมาณน้ำฝนและความเข้มของแสง)

การพัฒนา Google Apps Script Web App: เขียนโค้ด GAS เพื่อสร้าง Web App หรือ API Endpoint ที่สามารถรับคำขอ



HTTP POST/GET พร้อมข้อมูลจากอุปกรณ์สมองกลฝังตัว และ
เขียนข้อมูลเหล่านั้นลงใน Google Sheets ที่กำหนด

การตั้งค่าการเข้าถึง: กำหนดสิทธิ์การเข้าถึง Google Apps
Script Web App ให้สามารถรับข้อมูลจากภายนอกได้อย่าง
ปลอดภัย

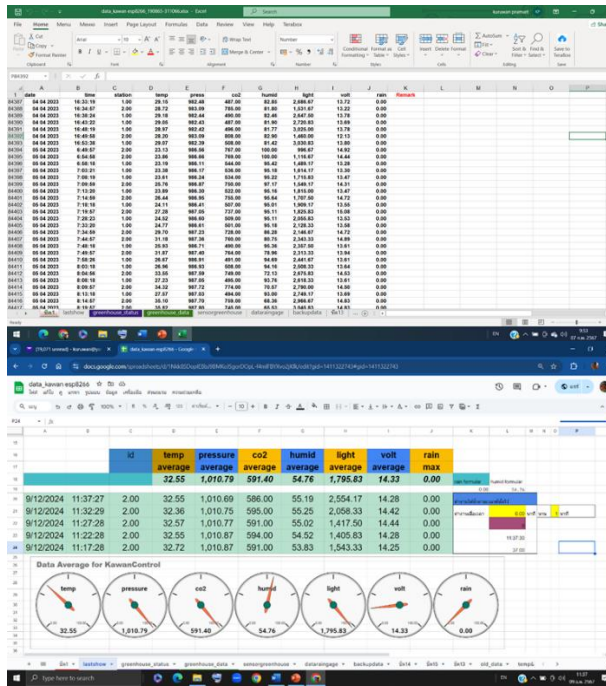


Figure 2 Information displayed on Google Sheets.

การทดสอบและประเมินผล

การทดสอบในห้องปฏิบัติการ: ทดสอบการทำงานของแต่ละ
ส่วนประกอบและระบบโดยรวมในสภาพแวดล้อมควบคุม

การติดตั้งและทดสอบภาคสนาม: นำระบบไปติดตั้งในแปลง
ปลูกกระวานจริงในพื้นที่เป้าหมาย ทำการเก็บบันทึกข้อมูลอย่าง
ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหนึ่งรอบปีในแปลงกระวานไทยบนเขา
สอยดาว อ.โป่งน้ำร้อน จ.จันทบุรี

การวิเคราะห์ข้อมูล: ตรวจสอบความถูกต้อง ครบถ้วน และ
ความเสถียรของข้อมูลที่ได้รับบน Google Sheets

การประเมินผล: ประเมินประสิทธิภาพของระบบในด้านความ
เสถียร, ความแม่นยำ, และประโยชน์ต่อการบริหารจัดการแปลง
เพาะปลูก

Table 1 Calibration results of measuring instruments
(Sensors) used with standard instruments.

id	from a thermo meter (°C)	Temperature from SCD- 40Sensor (°C)	Wet bulb- dry bulb hygrometer (%Rh)	Relative Humidity from SCD- 40Sensor (%Rh)	Light Intensity Meter (Lux).	Light Intensity from BH1750 Sensor (Lux).
1	29	28.77	87	86.1	3430.28	4192.78

การเกษตรรักษ์บรรยากาศของเอเชีย

2	27	26.87	94	94.24	5412.78	6141.94
3	37	37.46	89	88.51	5451.53	5477.36
4	17	17.32	70	69.94	23.29	1397.5
5	26	25.39	63	63.23	2296.5	2316.25
6	23	23.18	68	68.47	395.3	428.06
7	22	21.01	74	74.25	3534.17	3577.5
8	36	35.42	48	48.03	3348.5	3545.83
9	29	30.54	60	59.53	298.17	980.83
10	34	33.93	52	51.29	2694.33	2949

Paired t-test

data: temp1 and temp2

t = 0.049303, df = 9, p-value = 0.9618

alternative hypothesis: true mean difference is not equal to 0

95 percent confidence interval:
-0.4937135
0.5157135

sample estimates:
mean difference 0.011

data: hygrometer and Sensor

t = 0.29515, df = 9, p-value = 0.7746

alternative hypothesis: true mean difference is not equal to 0

95 percent confidence interval:
-0.2732409
0.3552409

sample estimates:
mean difference 0.041

data: LightMeter and Sensor

t = -2.8551, df = 9, p-value = 0.01893

alternative hypothesis: true mean difference is not equal to 0

95 percent confidence interval:
-738.83081 -
85.60919

sample estimates:
mean difference -412.22

ผลและวิจารณ์

จากการทดสอบภาคสนามในแปลงกระวานบนเขาที่ อ.โป่งน้ำ
ร้อน จ.จันทบุรี เป็นระยะเวลา 365 วัน พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้น
สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่อง อุปกรณ์สมอง
กลฝังตัวสามารถตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณ
น้ำฝน และความเข้มของแสง และส่งข้อมูลผ่านโมดูล
GSM/GPRS ไปยัง Google Sheets ได้ทุก ๆ 5 นาที โดยไม่พบ
การขาดหายของข้อมูลที่มีนัยสำคัญความแม่นยำของข้อมูล
ข้อมูลที่บ้านที่มีความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงเมื่อเทียบ
กับการวัดด้วยมือ (หากมีการวัดเปรียบเทียบ) หรือข้อมูลจาก
สถานีตรวจวัดใกล้เคียงความเสถียรของระบบ: ระบบสามารถ
ทนทานต่อสภาพอากาศภายนอก เช่น ฝน แสงแดด และความชื้น
ได้ดี แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกล่องหุ้มและการเลือกใช้
อุปกรณ์ การเข้าถึงข้อมูล: เกษตรกรสามารถเข้าถึงข้อมูล
สภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ได้จากทุกที่ผ่าน Google Sheets
ซึ่งอำนวยความสะดวกอย่างมากในการติดตามและตัดสินใจ การ
ใช้พลังงาน: ระบบพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจ่ายพลังงานให้

ระบบทำงานได้อย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่มีปัญหาแบตเตอรี่หมด

การนำ Google Apps Script มาใช้เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อข้อมูลกับ Google Sheets ถือเป็นจุดเด่นของระบบ เนื่องจากช่วยลดความซับซ้อนในการจัดการฐานข้อมูลและเซิร์ฟเวอร์ ทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นและมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในภาคเกษตรที่อาจมีข้อจำกัดด้านทรัพยากรบุคคลและเทคนิค

อย่างไรก็ตาม ระบบอาจมีข้อจำกัดในบางพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณ GSM/GPRS หรือในกรณีที่แบตเตอรี่สำรองไม่เพียงพอในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์เป็นเวลานาน ซึ่งเป็นข้อพิจารณาสำหรับการพัฒนาในอนาคต

จากข้อมูลที่ได้จากระบบการเก็บบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงกระวานไทยโดย Google Apps Script ร่วมกับสมองกลฝั่งตัว ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการควบคุมโรงเรือนปลูกกระวานที่มีระบบอัตโนมัติในการควบคุมการให้น้ำ, แสงสว่าง และความชื้นสัมพัทธ์(ดังแสดงในภาพที่5-9) ผลการทดสอบปลูกกระวานต้นกระวานสามารถเจริญเติบโตได้ดี และมีอัตราการอยู่รอดที่สูงกว่าการปลูกโดยไม่มีการควบคุมการควบคุมการให้น้ำ, แสงสว่าง และความชื้นสัมพัทธ์(ดังแสดงในภาพที่10) จึงสามารถนำค่าควบคุมที่ได้จากระบบนี้ไปใช้ในการปลูกกระวานในระบบการปลูกแบบโรงเรือนได้ และการควบคุมโรงเรือนยังสามารถที่จะใช้การควบคุมผ่านการเขียนและควบคุมโดยใช้ Google Sheets ซึ่งเป็นโปรแกรมตารางคำนวณ ทำงานแบบ Online บน Cloud ใช้งานได้ไม่เสียค่าใช้จ่าย และง่ายในการทำ ความเข้าใจ เกษตรกรเข้าถึงและใช้งานได้อย่างสะดวก ลดความยุ่งยากในการปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมควบคุม



Figure 3 Installation of environmental data logging equipment in a Thai cardamom plot on Khao Soi Dao.



Figure 4 Equipment for recording environmental data in Thai cardamom plot.

3 สรุป

งานวิจัยนี้ได้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาระบบเก็บบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงกระวานไทยแบบอัตโนมัติ โดยการผสมรวมสมองกลฝั่งตัวและ Google Apps Script ระบบที่พัฒนาขึ้นมีความน่าเชื่อถือและสามารถให้ข้อมูลสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์แก่เกษตรกรได้ ทำให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการตัดสินใจและวางแผนการจัดการแปลงปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นการสนับสนุนแนวคิดเกษตรแม่นยำ และเพิ่มศักยภาพในการผลิตกระวาน

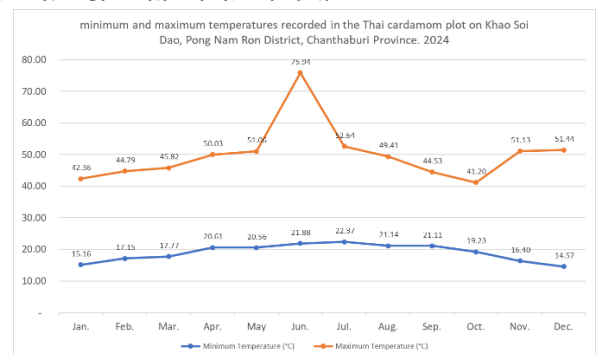


Figure 5 The graph shows the minimum and maximum temperatures recorded in the Thai cardamom plot on Khao Soi Dao, Pong Nam Ron District, Chanthaburi Province.

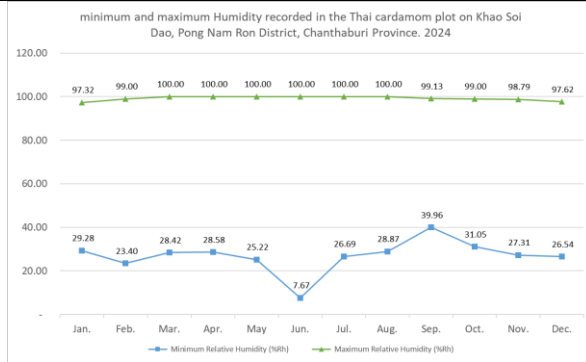


Figure 6 Shows the minimum and maximum relative humidity of the environment.

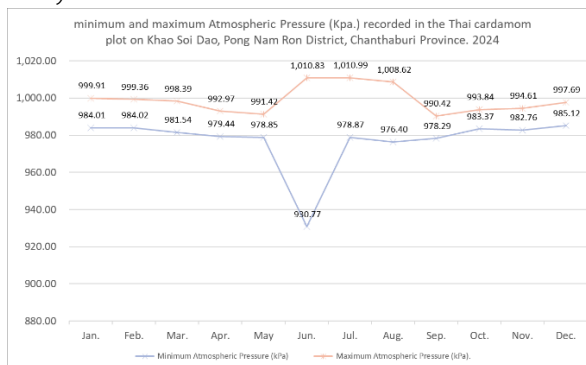


Figure 7 Shows the minimum and maximum atmospheric pressure of the environment.

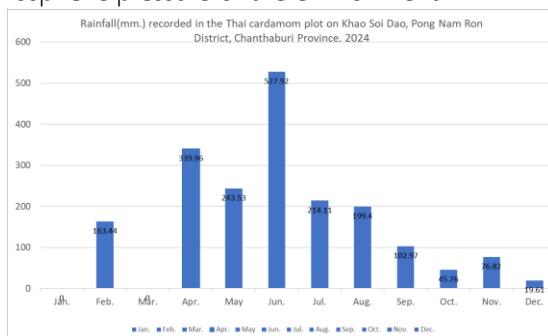


Figure 8 Shows the amount of rainfall measured in the Thai cardamom plot.

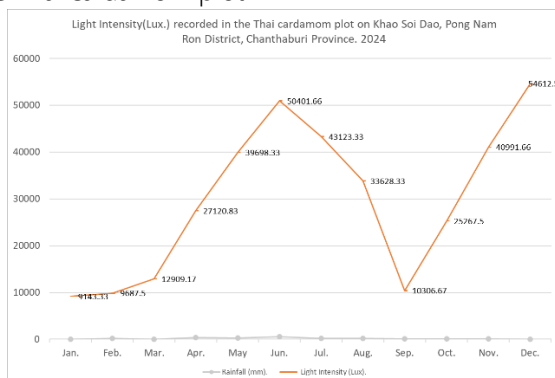


Figure 9 Shows the maximum light intensity measured in the Thai cardamom plot.



Figure 10 Cardamom is grown in an automatic greenhouse that uses data from a system that records environmental data in Thai cardamom fields by Google Apps Script combined with an embedded system.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ร่วมงานและเจ้าหน้าที่ทุกท่านของ ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ที่มีส่วนช่วยในการพัฒนางานวิจัยนี้ให้สำเร็จ ลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบคุณ กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกกระวานบ้านวัง กระแพอ อ.โป่งน้ำร้อน จ.จันทบุรี และกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูก กระวานสอยดาว ต.ทรายขาว อ.สอยดาว จ.จันทบุรี สำหรับการอำนวยความสะดวกในเรื่องของสถานที่ทดสอบและคำแนะนำในการปลูกกระวาน

4 เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2545. พืชสมุนไพรและเครื่องเทศ. หน้า 189-193. ใน: เอกสารประกอบการประชุม ผลงานวิชาการ ประจำปี 2544 เล่ม 2. กรมวิชาการเกษตร 20-22 พฤษภาคม 2545 ณ โรงแรมแอม บาสดอร์ซีตี้จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี.
- กลุ่มอนุรักษ์กระวานจันทบุรี. 2552. การอนุรักษ์มรดกจากบรรพบุรุษสมุนไพรกระวานจันทบุรี. 19 หน้า
- วสันต์ คุณดิลกเสวต 2565. หลักการเขียน Google Apps Script wasankds@gmail.com: poeclub.org.
- LoRa Arduino ESP8266 IoT อะไรคือ LoRa ใช้งาน LoRa อย่างไร. แหล่งข้อมูล <https://www.allnewstep.com/article/136/1-lora-arduino-esp8266-esp32-iot-lora> เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2565.



LoRa Arduino ESP8266 ESP32 IoTการใช้งาน LoRa

SX1278 Ra-01/Ra-02. แหล่งข้อมูล:

[https://www.allnewstep.com/article/137/2-lora-](https://www.allnewstep.com/article/137/2-lora-arduino-esp8266-esp32-iot-arduino-lora-sx1278-ra-01-ra-02)

[arduino-esp8266-esp32-iot-arduino-lora-sx1278-ra-01-](https://www.allnewstep.com/article/137/2-lora-arduino-esp8266-esp32-iot-arduino-lora-sx1278-ra-01-ra-02)

[ra-02](https://www.allnewstep.com/article/137/2-lora-arduino-esp8266-esp32-iot-arduino-lora-sx1278-ra-01-ra-02) เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2565.



เครื่องปอกเปลือกมะพร้าว น้ำหอมทรงเพชรแบบอัตโนมัติ

Automatic Diamond Shape Aromatic Coconut Peeling Machine

ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์^{1*}, ปรีชา อานันท์รัตนกุล¹, ศุภร อ่างบุญพงษ์¹, จิรวาส์ เจียตระกูล¹, อนุชิต ฉ่ำสิงห์¹, ณัฐสิทธิ์ อยู่เย็น¹

Parinyawat Yoothongin^{1*}, Preecha Ananrattanakul¹, Kochathorn Angboonpong¹, Jirawat Chiatrakul¹, Anuchit Chamsing¹, Nuthasit Youyen¹

¹สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, L

*Corresponding author: Tel: +66-8-6773-2912, Fax: +66-2-940-5791, E-mail: yparinyawat@gmail.com

บทคัดย่อ

มะพร้าวควั่นขาวหรือมะพร้าวน้ำหอมทรงเพชรเป็นการแปรรูปในรูปแบบหนึ่งที่เป็นที่นิยมทั้งการบริโภคภายในประเทศหรือส่งออกไปยังต่างประเทศ โดยมีลักษณะเป็นผลมะพร้าวที่ปอกเปลือกสีเขียวออกจนหมด และทำการตกแต่งรูปทรงให้เป็นทรงห้าเหลี่ยมคล้ายทรงเพชร ซึ่งขั้นตอนเหล่านี้จำเป็นต้องใช้ความชำนาญเพื่อให้ผลมะพร้าวที่ได้มีผิวที่เรียบเนียนและมีรูปทรงที่สวยงาม ทำให้กระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอมทรงเพชรในปัจจุบันนั้นยังต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก จึงส่งผลให้ประสบปัญหาในเรื่องของการขาดแคลนแรงงานฝีมือ จึงมีแนวคิดที่จะวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรอัตโนมัติสำหรับกระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอมทรงเพชร สำหรับสนับสนุนเกษตรกรและผู้ประกอบการในด้านการขาดแคลนแรงงานฝีมือ ประสิทธิภาพในการผลิต และสนับสนุนตลาดของมะพร้าวน้ำหอมทั้งในประเทศและต่างประเทศ จากผลการทดสอบพบว่าความสามารถในการผลิตมะพร้าวน้ำหอมทรงเพชรของเครื่องจักรนั้นมีความใกล้เคียงกับการทำงานด้วยแรงงานคน โดยตัวเครื่องสามารถทำการปอกเปลือกมะพร้าวด้านบนและด้านข้างโดยใช้ระยะเวลาเฉลี่ย 60 วินาทีต่อผลโดยใช้แรงงานคน 1 คนในการทำงาน คิดเป็นอัตราการผลิตที่ 60 ลูกต่อคนต่อชั่วโมง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับกรปอกเปลือกด้วยแรงงานคนแล้ว แรงงาน 2 คนมีอัตราการผลิตอยู่ที่ 64.3 ลูกต่อคนต่อชั่วโมง การเลือกความเร็วในการป้อนใบมีดที่สูงจะส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการปอกลดลง แต่ก็ส่งผลให้มีโอกาสที่ผลมะพร้าวจะเกิดการแกว่งหรือหลุดออกจากหัวจับยึดผลมะพร้าวได้มากขึ้นเช่นกัน และอาจส่งผลต่อความเรียบผิวหลังการปอกผลมะพร้าวอีกด้วย

คำสำคัญ: เครื่องปอกมะพร้าว, กระบวนการปอกเปลือก, มะพร้าวน้ำหอม, มะพร้าวน้ำหอมทรงเพชร

Abstract

Diamond-shaped aromatic coconut is a processing product that is popular for both domestic consumption and export to foreign countries. It looks like a coconut with a green shell completely peeled off and trimmed into pentagonal shape like a diamond. These steps require expertise to make the coconut have smooth skin and a beautiful shape. That makes the current production still uses mainly human labor. As a result, there is a problem of shortage of skilled labor. Therefore, there was an idea to research and develop automatic machinery for the production process of diamond-shaped aromatic coconuts. For supporting farmers and entrepreneurs in shortage of skilled labor. production efficiency and support the market for aromatic coconuts both domestically and abroad. From the testing results, it was found that the machine's performance was close to manual labor. The machine can peel coconuts from the top and sides in an average of 60 seconds per fruit, with one worker, equivalent to a production rate of 60 coconuts per person per hour. Compared to manual peeling, with two workers has a production rate of 64.3 shells per person per hour. Choosing a high blade feed speed will result in a shorter peeling time. But this results in an increased chance of the coconut swaying or falling out of the gripper. And it may also affect the smoothness of the surface after peeling the coconut fruit.

Keywords: Coconut peeling machine, Peeling process, Aromatic coconut, Diamond shape aromatic coconut

1 บทนำ

มะพร้าว น้ำหอมเป็นพืชเศรษฐกิจหนึ่งซึ่งพันธุ์มะพร้าวพื้นเมืองที่มีถิ่นกำเนิดมาจากประเทศไทย มีแหล่งการผลิตที่สำคัญอยู่ที่จังหวัดสมุทรสงคราม สมุทรสาคร ราชบุรีและนครปฐม โดยมีมูลค่าการส่งออกหลายร้อยล้านบาทต่อปี (จิไลวรรณและคณะ, 2565) ผลมะพร้าวหลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วจะถูกนำมาทำปอกเปลือกออกเพื่อเป็นการยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาความสดของผลมะพร้าวเอาไว้ (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2562) ลักษณะของผลมะพร้าวที่เป็นที่นิยมได้แก่มะพร้าวควั่น (Trimmed coconut) และมะพร้าวเจีย (Polished/ground coconut) มะพร้าวควั่นเป็นการนำผลมะพร้าวมาทำการปอกเปลือกเขียว (Exocarp) ออกออกบางส่วนหรือเอาออกทั้งหมด โดยทำการตกแต่งผิวด้านข้างเป็นรูปทรงกระบอกสอบ และตกแต่งผิวด้านบนให้เป็นทรงฟาสีดังแสดงใน Figure 1 ส่วนมะพร้าวเจียเป็นการนำผลมะพร้าวมาทำการปอกเปลือกขาว (Mesocarp) ออกทั้งหมด หรือเหลือบางส่วนไว้เป็นฐานและตกแต่งผิวกลาให้เรียบดังแสดงใน Figure 2 (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2550)



Figure 1 Type of trimmed coconut



Figure 2 Type of polished coconut

มะพร้าวควั่นขาวหรือมะพร้าวน้ำหอมทรงเพชรเป็นการแปรรูปในรูปแบบหนึ่งที่เป็นที่นิยมทั้งการบริโภคภายในประเทศหรือส่งออกไปยังต่างประเทศ โดยมีลักษณะเป็นผลมะพร้าวที่ปอกเปลือกสีเขียวออกจนหมด และทำการตกแต่งรูปทรงให้เป็นทรงห้าเหลี่ยมคล้ายทรงเพชร กระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอมทรงเพชรนั้นแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ โดยเริ่มจากการปอกเปลือกเพื่อเปิดผิวมะพร้าวให้เห็นผิวสีขาว หลังจากนั้นจะทำการตัดด้านข้างของผลมะพร้าวให้เรียบสำหรับใช้เป็นฐานในการวางและขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการตกแต่งผิวมะพร้าวด้านข้างและด้านบนให้เป็นทรงเพชรที่สวยงาม ซึ่งขั้นตอนเหล่านี้จำเป็นต้องใช้ความชำนาญเพื่อให้ผลมะพร้าวที่ได้มีผิวที่เรียบเนียนและมีรูปทรงที่สวยงาม ทำให้กระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอมทรงเพชรในปัจจุบันนั้นยังคงใช้แรงงานคนเป็นหลัก จึงส่งผลให้ประสบปัญหา

ในเรื่องของการขาดแคลนแรงงานฝีมือ รวมถึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานฝีมือนั้นมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ อีกด้วย

ถึงแม้ว่าเครื่องจักรสำหรับผลิตมะพร้าวน้ำหอมทรงเพชรนั้นจะมีการพัฒนามาแล้วทั้งในรูปแบบที่เป็นการกลึงในแนวตั้ง (คุณานนต์และคณะ, 2017) การกลึงแบบแนวนอน (บัณฑิตและอัครเดช, 2545) เครื่องปอกแบบมีระบบลำเลียงเข้าไปยังสถานีปอก (ณัฐพงศ์, 2553) หรือการปอกโดยใช้กลไกใบมีดชัก (ศิวลักษณ์และคณะ, 2556) แต่ก็ยังไม่ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายนัก ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรอัตโนมัติสำหรับกระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอมทรงเพชร สำหรับสนับสนุนเกษตรกรและผู้ประกอบการในด้านของการขาดแคลนแรงงานฝีมือ ประสิทธิภาพในการผลิต และสนับสนุนตลาดของมะพร้าวน้ำหอมทั้งในประเทศและต่างประเทศ

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ลักษณะทางกายภาพของผลมะพร้าว

ผลมะพร้าวที่นำมาทำการศึกษาคือเป็นมะพร้าวจากสวนมะพร้าวในอำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี โดยการนำผลมะพร้าวที่ยังไม่ทำการปอกเปลือกด้วยการผ่าครึ่งในแนวตั้ง แล้วทำการวัดขนาดในตำแหน่งต่าง ๆ ดัง Figure 3 โดยมีรายละเอียดดังแสดงใน Table 1

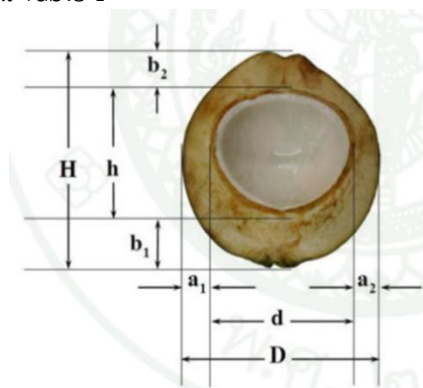


Figure 3 Dimension of aromatic coconut

Table 1 Aromatic coconut dimension

Parameter	Average (cm)	Max (cm)	Min (cm)
H	17.93	19.60	15.90
h	9.59	11.10	8.60
B1	5.36	7.00	4.00
b2	2.88	4.40	2.10
D	15.62	17.40	14.00
d	10.78	11.40	10.00
a1	2.30	3.30	1.50
a2	2.56	3.40	2.00

2.2 การออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าว น้ำหอม ทรงเพชรแบบอัตโนมัติ

เครื่องปอกเปลือกมะพร้าว น้ำหอมทรงเพชรแบบอัตโนมัติ
ส่วนประกอบดังนี้

- 1) โครงสร้างของเครื่อง ทำหน้าที่ประกอบขึ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน
- 2) หัวจับยึดผลมะพร้าว มีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมที่ติดตั้ง
แท่งนามไว้ ทำหน้าที่ในการจับยึดผลมะพร้าวในขณะทำการ
ปอกเปลือก

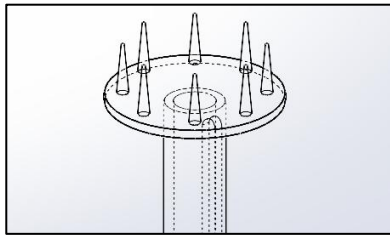


Figure 4 Coconut gripper

- 3) ชุดมีดปอกด้านข้าง เป็นแท่นสำหรับประกอบร่วมกับ
ใบมีดปอกมะพร้าว สำหรับการเลื่อนใบมีดเข้าไปหาผลมะพร้าวที่
กำลังหมุนเพื่อทำการปอกเปลือก ชุดแท่นมีดนั้นถูกประกอบ
ร่วมกับบอลสกรู (Ball screw) และสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper
motor) เพื่อให้สามารถเลื่อนมีดเข้าไปหาผลมะพร้าวได้

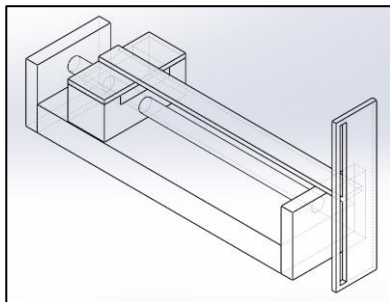


Figure 5 Side peeling knife

- 4) ชุดมีดปอกด้านบน เป็นแผ่นสแตนเลสพับในลักษณะ
ทรงกรวยที่มีช่องสำหรับการติดตั้งใบมีดสำหรับปอกเปลือก
มะพร้าว โดยชุดแท่นมีดนั้นถูกประกอบร่วมกับบอลสกรู (Ball
screw) และสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper motor) เพื่อให้
สามารถเลื่อนชุดกรวยเข้าไปปอกเปลือกมะพร้าวให้อยู่ในรูปทรง
กรวย นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สำหรับดันผลมะพร้าว
เข้าไปยังหัวจับยึดอีกด้วย

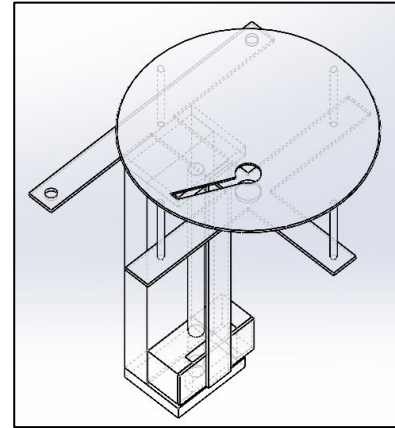


Figure 6 Head peeling knife

- 5) ชุดอุปกรณ์ประกอบผลมะพร้าว เป็นพลาสติกเลนส์ที่
ปลายเป็นกรวยแหลม โดยที่การประกอบกับตุ๊กตาพลาสติกเพื่อให้
สามารถหมุนตามผลมะพร้าว และติดตั้งร่วมกับบอลสกรูและส
เต็ปเปอร์มอเตอร์ เพื่อให้สามารถเลื่อนมีดเข้าไปจับยึดผล
มะพร้าวได้

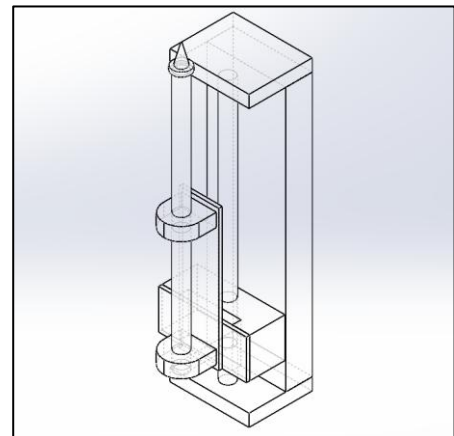


Figure 7 Coconut holder

- 6) อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
อาร์ดูโน (Arduino) ในการควบคุมลำดับการทำงานของอุปกรณ์
ต่าง ๆ ให้ทำงานได้ถูกต้อง

2.3 การทดสอบและประเมินผล

การทดสอบการปอกเปลือกผลมะพร้าว น้ำหอมทรงเพชร
ด้วยการใช้มีดปอกมะพร้าวแตนเลสชนิด SUS440 ที่มีมุมใบมีด
15 องศา และทำการบันทึกระยะเวลาในการทำงานในแต่ละ
ขั้นตอน

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าว น้ำหอมทรงเพชรแบบอัตโนมัติ

ทำการสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวน้ำหอมทรงเพชรแบบอัตโนมัติตามที่ออกแบบไว้ดัง Figure 8 โดยให้ส่วนที่มีการสัมผัสกับผลมะพร้าว ได้แก่ หัวจับยึดผลมะพร้าว ใบมีดปอกด้านข้าง และใบมีดปอกด้านบนทำด้วยวัสดุที่เป็นสแตนเลสเพื่อไม่ให้เกิดรอยดำผิวของมะพร้าวหลังทำการปอกเปลือก โดยทำการตั้งลำดับโปรแกรมการทำงานดังนี้

- 1) ผู้ใช้งานวางผลมะพร้าวบนกรวยของชุดมีดปอกด้านบน
- 2) ชุดมีดปอกด้านบนเลื่อนผลมะพร้าวขึ้นไปยังหัวจับยึดผลมะพร้าว
- 3) เลื่อนอุปกรณ์ประกอบผลมะพร้าวเข้าไปยังผลมะพร้าว
- 4) เลื่อนชุดมีดปอกด้านบนลงมาให้พบใบมีดปอกด้านข้าง
- 5) สั่งให้มอเตอร์หมุนลูกมะพร้าว
- 6) เลื่อนชุดมีดปอกด้านข้างเข้าไปทำการปอกเปลือกด้านข้างของผลมะพร้าว แล้วเลื่อนถอยกลับ
- 7) เลื่อนอุปกรณ์ประกอบผลมะพร้าวออกจากผลมะพร้าว
- 8) เลื่อนชุดมีดปอกด้านบนเข้าไปทำการปอกเปลือกด้านบนของผลมะพร้าวให้เป็นทรงกรวย แล้วเลื่อนถอยกลับ
- 9) สั่งให้มอเตอร์หยุดหมุนลูกมะพร้าว
- 10) ผู้ใช้งานหยิบผลมะพร้าวที่ปอกแล้วออกจากเครื่อง



Figure 8 Automatic coconut peeling machine

3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวน้ำหอมทรงเพชรแบบอัตโนมัติ

ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวน้ำหอมทรงเพชรแบบอัตโนมัติโดยทำการจับเวลาในแต่ละขั้นตอน และเปรียบเทียบกับวิธีการปอกเปลือกมะพร้าวด้วยแรงงานคน ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Average time of coconut peeling process.

Parameter	Machine	Human	Unit
การเปลี่ยนผลมะพร้าว	5	5	วินาที
การเปิดฝาด้านบน	-	9	วินาที
การเปิดฝาด้านข้าง	-	12	วินาที
การจับยึดผลมะพร้าว	10	-	วินาที
การปอกเปลือกด้านข้าง	20	18	วินาที
การปอกเปลือกด้านบน	25	12	วินาที
ระยะเวลารวม	60	56	วินาที
ความสามารถในการทำงาน	60	64.3	ลูก/ชั่วโมง

3.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

1) ต้นทุนคงที่

ราคาเครื่อง = 60,000 บาท

ราคาซากเครื่อง 5 ปี = 6,000 บาท

ค่าเสื่อมราคา (5 ปี) = $(60,000 - 6,000) / 5 = 10,800$ บาท

ค่าเสียโอกาส $((60,000 + 6,000) / (2)) * (10 / 100) = 3,300$ บาท/ปี

รวมต้นทุนคงที่ $10,800 + 3,300 = 14,100$ บาท

2) ต้นทุนผันแปร

ค่าซ่อมและบำรุงรักษา 100 บาท 300 วัน = 30,000 บาท/ปี

ค่าไฟฟ้า 1,680 หน่วยต่อปี $1,680 * 3.5 = 5,880$ บาท/ปี

ค่าจ้างแรงงาน 1 คน 300 บาท 300 วันต่อปี = 90,000 บาท/ปี

รวมต้นทุนผันแปร $30,000 + 5,880 + 90,000 = 125,880$ บาท/ปี

ต้นทุนรวม $14,100 + 125,880 = 139,980$ บาท

3) ระยะเวลาคืนทุน

ชั่วโมงการทำงาน 2,400 ชั่วโมง/ปี

ดอกเบี้ย (ค่าเสียโอกาส) 3,300 บาท

ต้นทุนรวม 139,980 บาท/ปี

ผลประโยชน์ที่ได้รับ $2,400 * 100 = 240,000$ บาท

ผลประโยชน์สุทธิ $240,000 - 139,980 = 100,020$ บาท

เวลาคืนทุน $(60,000 / 100,020) * 12 = 7.2$ เดือน

4 สรุป

จากการทดสอบพบว่าความสามารถในการผลิตมะพร้าวน้ำหอมทรงเพชรของเครื่องจักรนั้นมีความใกล้เคียงกับการทำงานด้วยแรงงานคน โดยตัวเครื่องสามารถทำการปอกเปลือกมะพร้าว ด้านบนและด้านข้างโดยใช้ระยะเวลาเฉลี่ย 60 วินาทีต่อผลโดยใช้แรงงานคน 1 คนในการทำงาน คิดเป็นอัตราการผลิตที่ 60 ลูกต่อคนต่อชั่วโมง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปอกเปลือกด้วย

แรงงานคนแล้ว แรงงาน 2 คนมีอัตราการผลิตรายชั่วโมงอยู่ที่ 64.3 ลูกต่อคนต่อชั่วโมง โดยมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 7.2 เดือน

การเลือกใช้ความเร็วในการบดในบดที่ระดับต่าง ๆ นั้น นอกจากจะส่งผลโดยตรงต่อระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการบดเปลือกแล้ว ยังส่งผลต่อแรงปะทะที่เกิดขึ้นในขณะทำการบดเปลือกมะพร้าวอีกด้วย ถึงแม้ว่าผลการทดสอบจะแสดงให้เห็นว่า ผลมะพร้าวนั้นมีโอกาสหลุดออกจากหัวจับยึดได้ในทุกระดับความเร็ว แต่การเลือกใช้ความเร็วในการหมุนผลมะพร้าวสูงนั้นมีแนวโน้มที่จะทำให้มีโอกาสที่ผลมะพร้าวจะเกิดการหลุดมากขึ้น ส่วนการเลือกความเร็วในการบดในบดที่สูงจะส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการบดลดลง แต่ก็ส่งผลให้มีโอกาสที่ผลมะพร้าวจะเกิดการแหว่งหรือหลุดออกจากหัวจับยึดผลมะพร้าวได้มากขึ้นเช่นกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อความเรียบผิวหลังการบดผลมะพร้าวอีกด้วย

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2550. มะพร้าวน้ำหอม (มกอช. 15-2550). สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทีมงานผู้วิจัย และทีมช่างของกลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรราชบุรี ที่สนับสนุนการดำเนินงานทุก ๆ ขั้นตอนการวิจัย

6 เอกสารอ้างอิง

- คุณานนต์ ศักดิ์คำปัง, ชาญวิทย์ จิวไชยราช, อธิเบศร์ คุ่มตัว. 2017. การทดสอบสมรรถนะเครื่องบดเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบกึ่งอัตโนมัติ. Innovation and Technology Conference 2017 (ITC2017).
- ณัฐพงศ์ รัตนเดช. 2553. การออกแบบและพัฒนาเครื่องบดเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: 163 หน้า.
- บัณฑิต จิโรภาส, อัครเดช เพชรสมัย. 2545. การออกแบบและพัฒนาเครื่องบดเปลือกผลมะพร้าวอ่อน. Thai Agricultural Research Journal. 20 (2): 91-110.
- วิไลวรรณ ทวีศรี, ทิพย์ ไกรทอง, สุภาพร ชุมพงษ์. 2565. มะพร้าวน้ำหอม [แผ่นพับ]. ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร
- ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์, ฉัตรชัย ทิพย์รัตน์, ชัยยะ จันทรา. 2556. การออกแบบและพัฒนาเครื่องบดเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบใบมีดชัก. Thai Society of Agricultural Engineering Journal (TSAE). 19 (1): 38-42.
- สถาบันวิจัยพืชสวน. 2562. การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิตมะพร้าวน้ำหอม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. หน้า 84-85.



การประเมินค่าไมทราไจนีนในใบกระท่อมแห้งด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

The evaluation of mitragynine in dried kratom leaves using near Infrared spectroscopy technique

จิรวาส์ เจียรตระกูล^{1*}, ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์¹, ปรีชา อานันท์รัตนกุล¹, ศุภร อ่างบุญพงษ์¹, สุรชาติ รัชยาทอง¹, อนุชิต ฉ่ำสิงห์¹

Jirawat Chiatrakul^{1*}, Parinyawat Yoothongin¹, Preecha Ananrattanakul¹, Kochathorn Angboonpong¹, Surachat Rayathong¹, Anuchit Chamsing¹

¹สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม, กรมวิชาการเกษตร, ลาดยาว, จตุจักร, กรุงเทพฯ, 10900

¹Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok, 10900

*Corresponding author: Tel: +66-8-9757-6496, E-mail: jirawat026@gmail.com

บทคัดย่อ

เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIRs) เป็นวิธีการตรวจสอบองค์ประกอบที่บ่งบอกถึงคุณภาพภายในของวัสดุเกษตรโดยไม่ทำลายตัวอย่าง เป็นวิธีการที่แม่นยำและรวดเร็ว ในการศึกษานี้ได้ดำเนินการพัฒนากระบวนการสำหรับการประเมินค่าปริมาณสารไมทราไจนีน (Mitragynine) ได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง จากตัวอย่างใบกระท่อมอบแห้งด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเซ็นเซอร์ NIRs แบบพกพาในช่วงความยาวคลื่น 900-1700 นาโนเมตร รูปแบบการวัดแบบสะท้อนกลับ โดยทำการทดสอบในเบื้องต้นเพื่อหาความเป็นไปได้ในการประเมินค่าปริมาณสารไมทราไจนีน ข้อมูลการดูดกลืนแสง และข้อมูลปริมาณสารสำคัญจากตัวอย่างใบกระท่อมแห้งจำนวน 30 ตัวอย่าง ถูกนำมาสร้างแบบจำลองการทำนายด้วยเทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) ร่วมกับข้อมูลปริมาณสารไมทราไจนีนที่ได้จากห้องปฏิบัติการมาตรฐาน พบว่าแบบจำลองจากตัวอย่างใบกระท่อมแห้งที่ได้รับการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธีการ Savitzky-Golay first derivative ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.73 ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการจำลอง (SEC) ที่ 0.126% (w/w) สมการทำนายในเบื้องต้นมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.66-0.81 สามารถนำไปใช้ได้สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ ยังคงต้องมีการปรับปรุงความแม่นยำของสมการทำนายในการดำเนินการต่อไป

คำสำคัญ: พืชกระท่อม, สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้, ไมทราไจนีน

Abstract

Near-infrared spectroscopy (NIRs) is an inspection method that is applied to evaluate the quality of agricultural materials without the need to destroy the sample. It is also accurate and fast. In this study, a rapid and non-destructive method for mitragynine quantification from dried kratom leaves was developed. The absorbance was measured using a portable NIR sensor in the 900-1700 nm wavelength range using a backscatter measurement method. Preliminary tests were conducted to determine the feasibility of mitragynine quantification. The absorbance and active ingredient quantification data from 30 dried kratom leaves were used to construct a predictive model using Partial Least Squares Regression (PLSR) technique in conjunction with mitragynine quantification data obtained from a standard laboratory. The model from dried kratom leaves modified by the Savitzky-Golay first derivative method provided the best prediction result, with a coefficient of determination (R^2) of 0.73 and a standard error of simulation (SEC) of 0.126% (w/w). The initial prediction equation had an R^2 value in the range of 0.66-0.81, which can be used for selection (clustering) and rough estimation, but the accuracy of the prediction equations still needs to be improved in further implementation.

Keywords: Kratom, Near Infrared Spectroscopy, Mitragynine

1 บทนำ

กระท่อม (Kratom; *Mitragyna speciosa* (Korth.) Havil.) เป็นพืชสมุนไพรที่มีการใช้ประโยชน์มาอย่างยาวนาน ในตำรับยาโบราณหลายขนาน สามารถรักษาอาการปวด สารสำคัญที่พบในใบกระท่อม คือ สารไมทราไจนีน (mitragynine) มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{23}H_{30}N_2O_4$ (Figure 1) ซึ่งเป็นสารกลุ่มอินโดลอัลคาลอยด์ (Indole alkaloids) พบมากที่สุดร้อยละ 66 โดยกระท่อมสามารถออกฤทธิ์ระงับปวดได้ มีผลข้างเคียงน้อยกว่ามอร์ฟีน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะต่อยอดพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่สร้างมูลค่าเพิ่ม โดยมีตลาดหลักคือประเทศสหรัฐอเมริกา

เทคนิค NIRS อาศัยหลักการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารแต่ละชนิดซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะโมเลกุลของสารที่มีพันธะ C-H, O-H หรือ N-H ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในผลผลิตเกษตรและอาหาร เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในการนำมาตรวจสอบคุณภาพภายในผลผลิตทางการเกษตร

การพัฒนาารูปแบบและวิธีการตรวจวัดปริมาณสารสำคัญ ในผลิตภัณฑ์จากพืชกระท่อม ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทสโกปี (NIRS) เป็นวิธีการประเมินปริมาณสารสำคัญอีกหนึ่งวิธี จากการที่ต้องมีการส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญด้วยวิธีการมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ (HPLC) ซึ่งใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ที่นาน อีกทั้งยังเป็นการวิเคราะห์แบบทำลายตัวอย่างและมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ที่สูง โดยข้อได้เปรียบหรือจุดเด่นของการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดในการประเมินปริมาณสารสำคัญคือเป็นวิธีการแบบไม่ทำลายตัวอย่างและรวดเร็ว อีกทั้งยังมีความแม่นยำในระดับหนึ่ง ที่ผ่านมามีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำเทคนิค NIRS มาใช้ในการประเมินคุณภาพในวัสดุเกษตรอย่างแพร่หลาย และมีการศึกษาการใช้เทคนิค NIRS ในการวิเคราะห์ปริมาณสารไมทราไจนีนในผงกระท่อมพันธุ์ก้านแดง โดยเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน UHPLC-MS/MS ตัวอย่างใบกระท่อมถูกเก็บจาก 4 แหล่งเพาะปลูกทั่วประเทศไทย ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างทั้ง 4 ชุด มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญในเชิงบวก ($r > 0.98$, $p < 0.01$) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงกับปริมาณสารไมทราไจนีน ($r = 0.755-0.824$, $p < 0.01$) (Phongthanaphat, 2024) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเทคนิค NIRS มาประยุกต์ใช้กับการประเมินปริมาณสารไมทราไจนีนในพืชกระท่อมได้

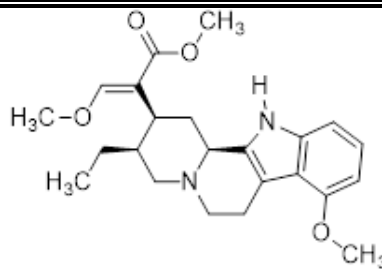


Figure 1 Mitragynine structure.

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างใบกระท่อมพันธุ์ก้านแดงจากพื้นที่ อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี เก็บเกี่ยวที่อายุประมาณ 30 วัน ถูกนำมาตัดก้านใบบางส่วนออก และลดขนาดเป็นชิ้นเล็ก และนำไปลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน heat pump ใช้อุณหภูมิในการลดความชื้นที่ 43 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมง จนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ณ ห้องปฏิบัติการของกลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี (Figure 2)



Figure 2 Dried Kratom leaves sample.

2.2 การวัดค่าการดูดกลืนแสง

ใบกระท่อมแห้ง ถูกนำมาแบ่งเป็นตัวอย่างย่อยๆ ตัวอย่างละ 15 กรัม มาวัดค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ย 5 ครั้ง/ตัวอย่าง ด้วยเซ็นเซอร์ NIRS แบบพกพา DLPNIRNANOEVN (DLP® NIRscan™, Texas Instruments, Dallas, Texas, USA) มีช่วงการวัดค่าที่ความยาวคลื่น 900 ถึง 1700 นาโนเมตร (Figure 3) และใช้โปรแกรมควบคุมการทำงาน DLP NIRscan Nano Reference Software v2.1.0 (Texas Instruments, Dallas, Texas, USA) โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าประกอบไปด้วยข้อมูลการดูดกลืนคลื่นแสง แกน y และข้อมูลความยาวคลื่น (spectral) แกน x ที่ความละเอียด 3.5 นาโนเมตร รวมทั้งสิ้น 228 ช่วงคลื่น



Figure 3 DLP NIRscan sensor

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารไมทราไจนีน

หลังจากที่ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่างใบกระท่อมด้วยเทคนิค NIRs ตัวอย่างใบกระท่อมจะถูกนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารไมทราไจนีน ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ In-house method on journal of AOAC international Vol.100 No.1 (2017) (Mudge and Brown., 2017) ที่ห้องปฏิบัติการของบริษัท ศูนย์ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางการแพทย์ และการเกษตรแห่งเอเชีย จำกัด (มหาชน) AMARC

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน

ค่าสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิค NIRs ถูกนำข้อมูลเฉลี่ย และสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นด้วยเทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler (Camo, Norway Version 9.8) จำนวน 30 ตัวอย่าง การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis, PCA) ถูกใช้กับข้อมูลสเปกตรัมเพื่อตรวจหาค่าผิดปกติ (outliers) ของสเปกตรัม ทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมของการดูดกลืนค่าแสงที่ได้ (raw data) เพื่อลดผลของการกระเจิงแสงในสเปกตรัมด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น Standard normal variate (SNV), multiplicative scatter correction (MSC), moving average smoothing (MAS) (15 point), Smoothing Savitzky-Golay (15 point), Savitzky-Golay 1st derivative และ Savitzky-Golay 2nd derivative (segment = 15) แล้วนำไปสร้างสมการด้วยเทคนิค PLSR แล้วนำสมการที่ได้ ไปใช้ในการทำนายค่าไมทราไจนีน โดยความแม่นยำของสมการสามารถประเมินจากค่า Coefficient of determination (R^2) ค่า standard error of calibration (SEC) เป็น ค่าที่บอกถึงสมการที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการทำนายต่อไปได้หรือไม่ ค่า Standard error of prediction (SEP) เป็นค่าที่แสดงสมรรถนะของการทำนาย เป็นต้นโดยค่า R^2 ควรจะมีค่าสูง และค่า SEC และ SEP ควรมีค่าต่ำ

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ลักษณะของเส้นสเปกตรัม

ผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้เกิดการซ้อนทับกันของพีคการดูดกลืนแสงของน้ำและพีคการดูดกลืนแสงขององค์ประกอบสำคัญอื่น ๆ ที่สำคัญต่อการวิเคราะห์ ในช่วงความยาวคลื่นที่ 1400-1500 นาโนเมตร แสดงองค์ประกอบสำคัญกับการสั่นของพันธะ O-H ที่อาจมาจากความชื้นของใบกระท่อม หรือพันธะ C-H และ N-H ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในโครงสร้างของไมทราไจนีน ดังแสดงใน Figure 4 ซึ่งเป็นข้อมูลการดูดกลืนคลื่นแสงที่ไม่ผ่านการปรับแต่ง

โดยทั่วไปสเปกตรัมการดูดกลืนแสง NIR จะมีพีคที่ชันและไม่เด่นชัด เนื่องจากผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของน้ำในปริมาณที่สูง กระท่อมก็เป็นหนึ่งในพืชที่มีปริมาณน้ำเป็นส่วนประกอบที่สูงเช่นกัน ผลจากการที่มีปริมาณน้ำเป็นส่วนประกอบทำให้เกิดการซ้อนทับกันของพีคการดูดกลืนแสงของน้ำและพีคการดูดกลืนแสงขององค์ประกอบสำคัญอื่นๆที่สำคัญ เพื่อเป็นการแยกพีคที่เด่นชัดขึ้น จึงต้องปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ได้แก่วิธีการอนุพันธ์อันดับ 2 (Savitzky-Golay second derivative) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำให้ได้ตำแหน่งของพีคที่ชัดเจนขึ้น และทำให้พีคที่มีความใกล้เคียงกันนั้นแยกออกจากกัน อย่างไรก็ตามพีคของสเปกตรัมที่ได้จากการปรับด้วยวิธีการอนุพันธ์อันดับ 2 จะกลับหัวลงด้านล่าง (Miyazawa and Sonoyama, 1998) การปรับแต่งด้วยวิธีการอนุพันธ์อันดับ 2 ดังแสดงใน Figure 5 แสดงตำแหน่งของพีคที่ชัดเจนขึ้น เช่น ที่ตำแหน่งความยาวคลื่นที่ 1008, 1194 และ 1363 เกิดโอเวอร์โทนอันดับที่ 2 ของพันธะ O-H, C-H และ N-H ในโครงสร้างของ ArOH, CH₃ RNH₂ ที่ความยาวคลื่น 1430, 1586 และ 1670 นาโนเมตร เกิดโอเวอร์โทนอันดับที่ 1 ของพันธะ O-H, C-H และ N-H ในโครงสร้างของ H₂O, CONH₂, cis-RCH=CHR¹ (Osborne et al., 1993)

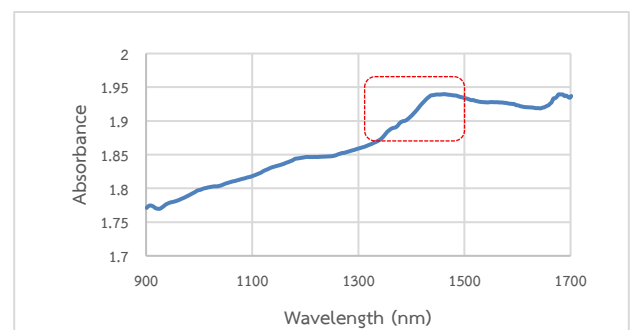


Figure 4 Raw spectra data

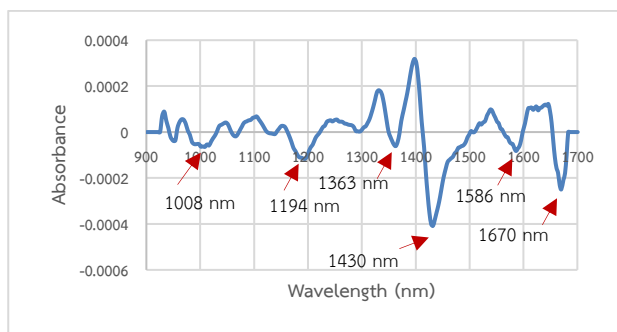


Figure 5 Second derivative pretreatment data

3.2 ปริมาณสารไมทราไจนีน

ปริมาณสารไมทราไจนีนของตัวอย่างใบกระท่อม จำนวน 30 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 1.61-2.24% ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Descriptive statistics of mitragynine in dried Kratom leaf.

	Min %(w/w)	Max %(w/w)	Mean±SD %(w/w)
Mitragynine	1.61	2.24	1.96±0.24

3.3 การสร้างสมการทำนายปริมาณสารไมทราไจนีน

ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างกระท่อมแห้งจะถูกปรับข้อมูลด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ Savitzky-Golay Smoothing (SM), Standard normal variate (SNV), moving average smoothing (MAS), multiplicative scatter correction (MSC) 1st derivative, 2nd derivative เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองเบื้องต้นของตัวอย่างใบกระท่อมแห้งจำนวน 30 ตัวอย่างที่ปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิค Savitzky-Golay smoothing ร่วมกับ 1st derivative ของกลุ่มข้อมูลสร้างสมการ (calibration model) มีค่าความแม่นยำสูงสุด มีค่า R^2 ที่ 0.73 ค่า SEC เท่ากับ

0.126 % (w/w) (Figure 6) และสำหรับสมการทวนสอบ (validation model) โดยมีค่า R^2 ที่ 0.70 ค่า SEP เท่ากับ 0.136 % (w/w) (Figure 7) ดังแสดงใน Table 2 โดยค่า R^2 ที่อยู่ในช่วง 0.66-0.81 นั้นบ่งบอกถึงสมการทำนายใช้ได้สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ การแปลความหมายของค่า R และ R^2 ดังแสดงใน Table 3 (Williams., 2007)

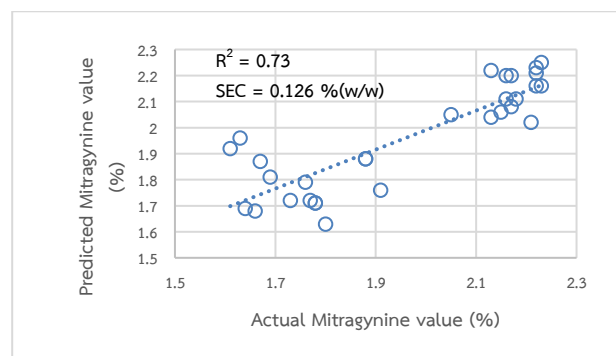


Figure 6 Scatter plots of calibration results of Mitragynine from partial least squares (PLS) model.

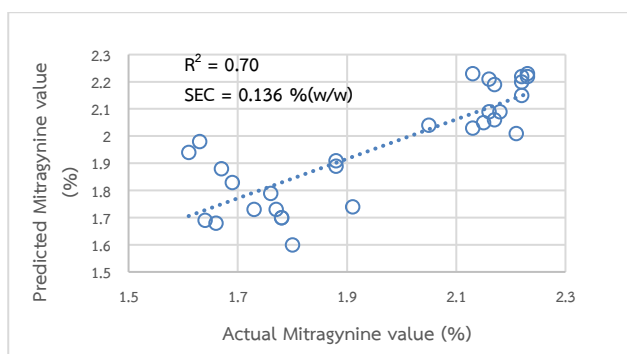


Figure 7 Scatter plots of validation results of Mitragynine from partial least squares (PLS) model.

Table 2 Calibration and validation results of mitragynine in dried kratom leaf.

Method	R	R ²	RMSEC	SEC	Bias	R	R ²	RMSEP	SEP	Bias	PC
raw data	0.88	0.76	0.112	0.114	-3.537e-7	0.79	0.63	0.148	0.151	-0.005	4
SM	0.87	0.76	0.115	0.117	-3.179e-8	0.78	0.63	0.150	0.153	-0.006	4
MAS	0.87	0.76	0.115	0.117	-1.093e-6	0.78	0.63	0.150	0.153	-0.006	4
SNV	0.51	0.27	0.255	0.259	1.07e-7	0.32	0.12	0.289	0.294	-0.004	1
MSC	0.83	0.68	0.133	0.135	1.987e-7	0.80	0.66	0.144	0.146	-0.002	1
1st derivative	0.84	0.71	0.127	0.130	-3.97e-8	0.82	0.70	0.135	0.137	-0.002	1
2nd derivative	0.86	0.74	0.122	0.124	-5.16e-8	0.79	0.65	0.145	0.147	-0.004	4
SM +1D	0.85	0.73	0.124	0.126	-5.16e-8	0.83	0.70	0.134	0.136	-0.001	1
SM +2d	0.83	0.69	0.133	0.136	-3.57e-8	0.75	0.58	0.158	0.161	-0.004	3
MAS+1D	0.84	0.71	0.127	0.129	-4.371e-8	0.82	0.69	0.135	0.137	-0.002	1
MAS+2D	0.85	0.73	0.124	0.126	-5.166e-8	0.79	0.65	0.144	0.147	-0.004	4
SNV+1D	0.56	0.31	0.247	0.252	9.537e-8	0.38	0.17	0.280	0.285	-0.004	1
SNV+2D	0.42	0.18	0.270	0.275	8.345e-8	-0.02	-0.11	0.325	0.331	-0.013	1
MSC+1D	0.84	0.70	0.130	0.132	-6.755e-8	0.81	0.68	0.138	0.141	-0.002	1
MSC+2D	0.86	0.74	0.122	0.124	-5.563e-8	0.79	0.64	0.146	0.149	-0.004	4

*SM = Savitzky-Golay smoothing with 15 smoothing points.

SNV = Standard normal variate.

1D = Savitzky-Golay 1st derivative with 15 smoothing points.

2D = Savitzky-Golay 2nd derivative with 15 smoothing points.

MAS = moving average smoothing with 15 smoothing points.

MSC = multiplicative scatter correction.

R = Coefficient of correlation.

R² = Coefficient of determination.

SEC/RMSEC = Standard error of calibration/ Root mean square of the calibration.

SEP/RMSEP = Standard error of prediction/ Root mean square of the prediction.

Bias = The average difference between actual value and NIRS value.

PC = The number of factors used in the calibration equation.

Table 3 Guidelines for the Interpretation of R and R². (Williams., 2007)

Value of R	Value of R ²	Interpretation
Up to ± 0.55	Up to 0.25	Not usable in NIRs calibration
$\pm 0.51 - 0.70$	0.26 – 0.49	Poor correlation, research the reason
$\pm 0.71 - 0.80$	0.50 – 0.64	Rough screening
$\pm 0.81 - 0.90$	0.66 – 0.81	Screening and approximate calibration
$\pm 0.91 - 0.95$	0.83 – 0.90	Usable with caution for most applications, including research
$\pm 0.96 - 0.98$	0.92 – 0.96	Usable in most applications, including quality assurance
$\pm 0.99 >$	0.98 >	Usable in any application

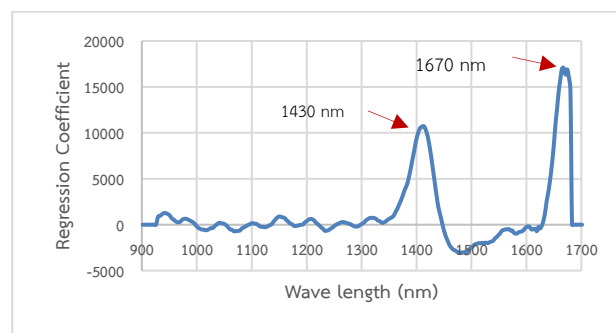


Figure 8 Regression coefficient of the model.

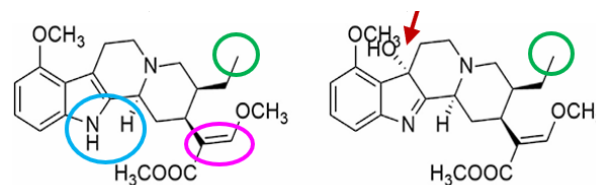


Figure 9 Main indole kratom alkaloids. (Mitragynine, 7-Hydroxymitragynine)

สัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการทำนาย (Figure 8) พบสัมประสิทธิ์ที่มีอิทธิพลที่ความยาวคลื่น 1430 นาโนเมตร เป็นตำแหน่งการ C-H bending ในหมู่อัลเคน (alkanes) โดยเฉพาะหมู่เมทิลีน (-CH₂-) หรือเมทิล (-CH₃) โดย CH₃ ในไมทราจินิกิน หมายถึงหมู่เมทิล ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนหนึ่งอะตอมเชื่อมกับอะตอมไฮโดรเจนสามอะตอม (CH₃) ในไมทราจินิกิน หมู่เมทิลนี้จะยึดติดกับตำแหน่งที่ 7 ของระบบวงแหวนอินโดล (indole) ก่อให้เกิด 7-ไฮดรอกซีไมทราจินิกิน (7-Hydroxymitragynine) และที่ความยาวคลื่น 1670 นาโนเมตรเป็นตำแหน่งเป็นช่วงที่สำคัญและมักจะบ่งบอกถึง C=O stretching (carbonyl group) ซึ่งพบได้ในสารประกอบหลายชนิด เช่น คีโตน (ketones) (C=O), แอลดีไฮด์ (aldehydes), กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acids), เอสเทอร์ (esters), หรือเอไมด์ (amides) หรือหมู่คาร์บอนิลได้ เช่น α,β -unsaturated aldehydes หรือ ketones หรืออาจเป็น -C=C- stretching ในแอลคีน (alkenes) โดยเฉพาะแอลคีนที่มีการแทนที่หลายหมู่ (trisubstituted, tetrasubstituted alkenes) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างไมทราจินิกิน

ความแรงของการสั่นของพันธะต่อการทำนายปริมาณสารสำคัญในใบกระท่อมแห้ง (ไมทราจินิกิน) โครงสร้างที่ความยาวคลื่นที่เกี่ยวข้องกับการสั่นอาจมีความแตกต่างจากค่าความยาวคลื่นทางเคมีที่กำหนด เนื่องมาจากความซับซ้อนของตัวอย่างใบกระท่อมแห้ง ที่มีองค์ประกอบหลากหลาย โดยช่วงความยาวคลื่นที่มีความสอดคล้องกันดังแสดงใน Table 4 (Osborne et al, 1993) และตำแหน่งในโครงสร้างของสารสำคัญในใบกระท่อมที่มีผลต่อการสมการทำนาย ดังแสดงใน Figure 9

Table 4 Chemical determination of near-infrared absorption with high regression coefficient (Osborne et al, 1993)

Wavelength at high regression coefficient (nm)	Wavelength of chemical assignment (nm) (Osborne et al., 1993)	Structure (Osborne et al., 1993)	Symbol
1008	1000, 1015	ArOH, CH ₃	→
1194	1195	CH ₃	○
1363	1360	CH ₃	○
1430	1430	CONH ₂	
1586	1570, 1580	CONH	○
1670	1660, 1685	cis-RCH=CHR'	○

4 สรุป

การพัฒนากระบวนการสำหรับการประเมินค่าปริมาณสารไมทราจินิกิน (Mitragynine) ได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง จากตัวอย่างใบกระท่อมอบแห้งด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเซ็นเซอร์ NIRs แบบพกพาในช่วงความยาวคลื่น 900-1700 นาโนเมตร รูปแบบการวัดแบบสะท้อนกลับ โดยทำการทดสอบในเบื้องต้น เพื่อหาความเป็นไปได้ในการประเมินค่าปริมาณสารไมทราจินิกินจากตัวอย่างใบกระท่อมแห้งจำนวน 30 ตัวอย่าง ถูกนำมาสร้างแบบจำลองการทำนายด้วยเทคนิค Partial

Least Squares Regression (PLSR) พบว่าแบบจำลองจากตัวอย่างใบกระท่อมแห้งที่ได้รับการปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิค Savitzky-Golay smoothing ร่วมกับ 1st derivative ของกลุ่มข้อมูลสร้างสมการ (calibration model) มีค่าความแม่นยำสูงที่สุด มีค่า R^2 ที่ 0.73 ค่า SEC เท่ากับ 0.126 % (w/w) และสำหรับสมการทวนสอบ (validation model) มีค่า R^2 ที่ 0.70 ค่า SEP เท่ากับ 0.136 % (w/w) สมการทำนายเบื้องต้นที่สร้างมาจากตัวอย่างใบกระท่อมแห้ง 30 ตัวอย่าง มีแนวโน้มที่จะสามารถประเมินค่าปริมาณไมทราจีนในตัวอย่างใบกระท่อมแห้งได้ โดยปัจจัยที่ส่งผลค่า R^2 ที่ไม่สูงมากอาจจะเกิดจำนวนตัวอย่างที่น้อย รวมถึงการวัดค่าการดูดกลืนแสงบนตัวอย่างใบกระท่อมแห้งนั้น ยังมีช่องว่างระหว่างเซ็นเซอร์กับใบกระท่อมส่งผลต่อคุณภาพของข้อมูลที่สามารถรับได้ด้วยแสงจากภายนอกเพื่อให้สมการทำนายมีค่าความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น จึงต้องมีการปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลอง โดยหนึ่งในแนวทางปรับปรุงคือเพิ่มจำนวนตัวอย่าง พร้อมทั้งพัฒนาอุปกรณ์ต่อพ่วงให้มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการวัดค่าตัวอย่างใบกระท่อมแห้ง สำหรับพัฒนาเป็นเครื่องมือสำหรับการประเมินคุณภาพพืชกระท่อมในการดำเนินงานต่อไปเพื่อเป็นแนวทางในการประเมินปริมาณสารสำคัญที่รวดเร็ว และแม่นยำสำหรับการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ใบกระท่อมก่อนการแปรรูป หรือส่งออก ทดแทนวิธีการมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ ที่ใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ที่นาน อีกทั้งยังเป็นการวิเคราะห์แบบทำลายตัวอย่าง และมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ที่สูง

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป สำหรับสถานที่ สิ่งอำนวยความสะดวกและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย

6 เอกสารอ้างอิง

- Miyazawa, M. & Sonoyama, M. (1998). Second derivative near infrared studies on the structural characterisation of proteins. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 6(A), A253-A257
- Mudge, E. M., & Brown, P. N. 2017. Determination of mitragynine in *Mitragyna speciosa* raw materials and finished products by liquid chromatography with UV detection: Single-laboratory validation. *Journal of AOAC International*, 100(1), 18-24.
- Osborn, B. G., F. T. and F. P.H. 1993. *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis*. U.S.A., Longman Science & Technology.

Phongthanaphat, M. O. Y. A. (2024). QUANTITATIVE ANALYSIS OF MITRAGYNINE IN RED VEIN KRATOM POWDER FROM FOUR CULTIVATION SOURCES: A COMPARATIVE OF NIR SPECTROSCOPY AND UHPLC-MS/MS. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 2(9), 25-25.

Williams, P. 2007. Application to agricultural and marine products. In: Ozaki Y., W.F. McClure and A.A. Christy (Eds.). *Near-Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology*. John Wiley and Sons Inc. Publication, New Jersey, USA. pp. 165-218.



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 26 วันที่ 18 – 19 กันยายน 2568

ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1 กรมส่งเสริมการเกษตร กรุงเทพมหานคร

TSAE
2025

การศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิเพื่อพัฒนาระบบการหมักน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

Study of temperature factors for developing a virgin coconut oil fermentation system

ปรีชา อานันท์รัตนกุล^{1*}, อนุชิต ฉ่ำสิงห์¹, จิรวาส์ เจียรตระกูล¹, ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์¹, ศุภร อ่างบุญพงษ์¹
Preecha Ananrattanakul¹, Anuchit Charmsing¹, Jirawat Chiatrakul¹, Parinyawat Yoothongin¹,
Kochathorn Angboonpong¹

¹ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹ Agricultural engineering research institute, Department of agriculture, Bangkok, 10900

*Corresponding author: Tel: +66-8-76967184, E-mail: sullus2013@gmail.com

บทคัดย่อ

ศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิเพื่อพัฒนาระบบการหมักอัตโนมัติสำหรับใช้ในระบบการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีการหมักสำหรับระดับเกษตรกร วิสาหกิจชุมชน เพื่อลดระยะเวลาการหมัก และลดความล้มเหลวของกระบวนการหมักของวิธีปฏิบัติเดิม ดำเนินการโดยสร้างชุดทดสอบระบบการหมักที่มีการควบคุมอุณหภูมิสภาพแวดล้อมในการหมักอัตโนมัติโดยประยุกต์แบบใช้หลักการแผ่ความร้อนทำนองเดียวกับวิธีการปฏิบัติเดิม ศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิในการหมักที่เหมาะสม พบว่ากระบวนการหมักอัตโนมัติแบบใช้หลักการแผ่ความร้อนต้องใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายไฟฟ้ามาก การแผ่ความร้อนให้ครีมนะที่สม่ำเสมอ จึงได้พัฒนาระบบแบบถังหมักอัตโนมัติในการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมในการหมักด้วยการประยุกต์ใช้หลักการพาความร้อน ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายไฟฟ้าน้อยกว่า และพบว่าการทำให้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 37 °C ให้ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์สูงสุด และจากการศึกษาระยะเวลาในระบบการหมักที่เหมาะสม พบว่าเริ่มได้รับน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ 12 hr. ในขณะที่การหมักด้วยวิธีธรรมชาติยังไม่มีแยกตัวของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และพบว่าที่ระยะเวลา 18 hr. และ 24 hr. เปอร์เซ็นต์การสกัดน้ำมันมะพร้าวสูงกว่าการหมักด้วยวิธีธรรมชาติ 7% และ 4.4% ตามลำดับ

คำสำคัญ: น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์, วิธีการหมัก, ระบบการหมัก

Abstract

This research aims to study the effect of temperature to develop an automated fermentation system for virgin coconut oil (VCO) production, specifically for farmers and community enterprises. The primary goals are to reduce fermentation time and mitigate the failure rate commonly associated with traditional methods. An investigation was conducted to determine the optimal fermentation temperature. However, it was found that the automated system using thermal radiation consumed a significant amount of energy and incurred high electricity costs, and the heat transfer to the coconut cream was inconsistent. To address these issues, a new prototype of an automated fermentation tank was developed, which applied the principle of thermal convection for environmental control. This new system proved to be more energy-efficient and cost-effective. The results revealed that maintaining the hot water at 37 °C yielded the highest efficiency for VCO extraction. Furthermore, the study on optimal fermentation duration found that VCO began to be extracted after just 12 hours, while no oil was obtained from the traditional method within the same timeframe. At 18 and 24 hours, the developed system showed a higher oil extraction yield than the traditional method by 7% and 4.4%, respectively.

Keywords: virgin coconut oil, oil fermentation method, fermentor

1 บทนำ

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil: VCO) คือ น้ำมันมะพร้าวที่สกัดได้จากเนื้อมะพร้าวสดโดยวิธีทางกลหรือวิธีทางธรรมชาติ โดยไม่ใช้ หรือใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำกว่า 60 °C เป็นน้ำมันมะพร้าวที่บริสุทธิ์ที่สุด สีใสเหมือนน้ำ มีวิตามินอี ไม่ผ่านขบวนการเติมออกซิเจนและกรดไขมันอิสระต่ำ มีกลิ่นหอมของมะพร้าว มีความชื้นไม่เกิน 0.1 %

กระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ มีกระบวนการผลิตแบบเย็น ซึ่งได้น้ำมันที่มีคุณภาพสูง กระบวนการผลิตเริ่มจากการปอกเปลือกมะพร้าว ฝาดและขูดมะพร้าว คั้นกะทิ แล้วจึงมาทำการสกัดแปรรูปเป็นน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ โดยกระบวนการวิธีต่างๆ อาทิเช่น การแช่เยือกแข็ง การปั่นเหวี่ยง การใช้กระบวนการหมัก การใช้เอนไซม์ การใช้ความร้อน การบีบเย็น เป็นต้น

(วิไลวรรณ และคณะ, 2553) อธิบายถึงวิธี การสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ในประเทศไทยมีกระบวนการผลิต 3 วิธีหลักคือการปั่นเหวี่ยง การบีบเย็น และวิธีการหมัก โดยวิธีการปั่นเหวี่ยงมีต้นทุนด้านเครื่องจักรสูงเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลาง ส่วนวิธีการบีบเย็นมีค่าใช้จ่ายด้านเครื่องจักรสูง และมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจากการทำมะพร้าวให้แห้งก่อนการบีบน้ำมัน

วิธีการหมักเป็นวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ในระดับครัวเรือนแบบดั้งเดิม เป็นวิธีที่ง่าย อุปกรณ์การผลิตสามารถใช้สิ่งของในครัวเรือนได้ ต้นทุนการผลิตต่ำเหมาะสมกับเกษตรกรและกลุ่มแม่บ้านเริ่มต้นทำเป็นอาชีพเสริม แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้เวลาในการหมักนาน และน้ำมันที่ได้มีสีเหลือง อาจมีกลิ่นเฉพาะตัวอันเนื่องจากการหมัก และมีแนวโน้มกลิ่นเหม็นในการผลิต เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร, มปป.) และนำวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์โดยการหมักมีขั้นตอนคือ คัดเลือกมะพร้าวไม่แก่ ไม่เน่า นำไปขูดและคั้นกะทิ ทำให้กะทิแยกชั้นครีม ทำการบ่มอุณหภูมิ โดยตั้งโถครีมกะทิไว้ในกล่องโฟมหรือถังแช่ ที่ปรับอุณหภูมิภายในให้อุ่นด้วยหม้อน้ำร้อน น้ำมันมะพร้าวจะเกิดการแยกชั้นเมื่อเวลาผ่านไป 16-24 hr. เนื่องจากส่วนประกอบของกะทิประกอบด้วยน้ำมันมะพร้าว และน้ำ รวมตัวเป็นสารแขวนลอยมีโปรตีนเป็นอิมัลซิไฟเออร์ตามธรรมชาติ กระบวนการหมักเป็นกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายโปรตีนทำให้เกิดการแยกชั้นของ น้ำและน้ำมันมะพร้าว ดังนั้นการปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการหมัก ทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์มากขึ้นส่งผลให้การย่อยสลายโปรตีนเกิดได้เร็วขึ้น เกิดการแยกชั้นของน้ำและน้ำมันมะพร้าวเร็วขึ้น ดังนั้นการศึกษานี้เพื่อศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิต่อการเกิดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และเพื่อพัฒนาระบบการหมักน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อัตโนมัติ เป็นการปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวโดยวิธีการหมัก โดยการสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

กับการหมัก สามารถช่วยลดข้อผิดพลาดในกระบวนการผลิต ทำให้สามารถผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่มีคุณภาพสูงขึ้น การผลิตและเก็บเกี่ยวน้ำมันได้ผลผลิตที่แน่นอน ส่งผลให้รายได้ของเกษตรกรเพิ่มขึ้นจากวิธีแบบเดิม

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์

- 1.เครื่องมือช่างต่างๆ ใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบ อาทิเช่น สว่านไฟฟ้า ค้อน คีม
- 2.เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (datalogger) Graphtec รุ่น GL210
- 3.ถุงพลาสติกขนาด 8x10 นิ้ว
- 4.อุปกรณ์ทดลองต่างๆ เช่น บีกเกอร์ ขนาด 1,000 ml. กรวย กระบอกตวง กระดาษกรอง

2.2 วิธีการ

2.2.1 รวบรวมข้อมูลและศึกษา เพื่อการออกแบบ

ดำเนินการรวบรวมข้อมูลและศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่มีในปัจจุบัน ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ตลอดจนการนำระบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการตรวจวัดและการควบคุมการทำงานอย่างอัตโนมัติ

2.2.2 การศึกษาปัจจัยอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แบบใช้หลักการแผ่ความร้อน (radiation) หรือการใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน

ดำเนินการออกแบบและสร้างชุดทดสอบระบบการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทำนองเดียวกับระบบการหมักตามวิธีการของเกษตรกรหรือวิสาหกิจชุมชน ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ “หลักการแผ่ความร้อน” แต่มีการเพิ่มระบบการตรวจวัดและระบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อใช้ศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิ และระยะเวลาในการหมักที่ส่งผลต่อการสกัดน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีการหมัก และดำเนินการทดสอบศึกษาปัจจัย

2.2.3 การออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการหมักอัตโนมัติในกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แบบใช้หลักการพาความร้อน (convection) หรือเป็นการใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

จากผลการตรวจเอกสาร การสร้างชุดทดสอบ และทดสอบศึกษาปัจจัยที่ระบบการหมักเพื่อการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แบบใช้หลักการแผ่ความร้อนพบว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานความร้อนที่สูง การถ่ายเทความร้อนไปยังครีมกะทิไม่สม่ำเสมอ และผลการศึกษาพบว่าระบบการหมักที่อุณหภูมิครีมกะทิช่วง 32.-37 °C มีแนวโน้มให้ปริมาณการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์สูงสุด ดังนั้นจึงทำการออกแบบระบบการหมักที่ใช้ “หลักการพา

ความร้อน” โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางพาความร้อน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่จะผลิตน้ำร้อน

2.2.4. ทดสอบศึกษาปัจจัยการทำงาน และทดสอบประเมินผลเครื่องต้นแบบระบบการหมักน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อัตโนมัติแบบใช้หลักการพาความร้อน เปรียบเทียบกับการหมักด้วยวิธีธรรมชาติ

เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรด้านอุณหภูมิ และระยะเวลาในการหมักที่ส่งผลต่อการเกิดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ มีวิธีการทดลองดังนี้

การเตรียมกะทิ ใช้น้ำมะพร้าวสดแก่จัดผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 1 ทำการคั้นเอาเฉพาะน้ำกะทิ แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 hr. เพื่อให้เกิดการแยกชั้นของครีมกะทิและน้ำเปรี้ยว แล้วทำการเตรียมตัวอย่างในแต่ละชั่วโมงสำหรับการทดสอบโดยตักครีมกะทิใส่ปีกรอร์ ขนาด 1,000 ml. แล้วนำไปใช้ในการทดสอบศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิ และระยะเวลาในการหมักดังนี้

2.2.4.1 การทดสอบศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิต่อการเกิดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

จากการศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิที่เหมาะสมเบื้องต้นพบว่าช่วงอุณหภูมิครีมกะทิมะพร้าวช่วง 32-37 °C แต่เพื่อให้การศึกษารอบคลุมและจากผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าอุณหภูมิครีมกะทิที่ต่ำการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักเกิดขึ้นได้น้อยและสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ได้น้อย ประกอบกับต้องการลดระยะเวลาในกระบวนการหมัก จึงแปรค่าศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิการต้มน้ำร้อนเป็น 3 ระดับคือ 35, 36, 37 °C ทำการทดสอบจำนวน 3 ชั่วโมงการศึกษาเปรียบเทียบกับหมักโดยวิธีการหมักธรรมชาติที่เป็นวิธีการปฏิบัติของเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนทั่วไป ใช้หัววัดอุณหภูมิ ในการวัดอุณหภูมิของน้ำร้อน ครีมกะทิ และอากาศแวดล้อม ใช้ Datalogger ในการบันทึกข้อมูล และใช้เวลาในการหมัก 24 hr.

2.2.4.2 การทดสอบปัจจัยด้านเวลาต่อการเกิดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

เป็นการศึกษาช่วงเวลาเดียวกันกับการแปรค่าทดสอบศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิต่อการเกิดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ข้างต้น เพียงมีการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ได้ทั้งจากการใช้ระบบการหมักอัตโนมัติ และวิธีการหมักธรรมชาติที่ช่วงเวลาแตกต่างกัน 3 ช่วงเวลาคือที่ 12 ,18, 24 hr.

3 ผลและวิจารณ์

3.1 รวบรวมข้อมูลและศึกษาเพื่อการออกแบบ

การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีการหมักธรรมชาติเป็นวิธีปฏิบัติดั้งเดิมของเกษตรกร การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สม่ำเสมอเป็นไปได้ยาก จากการตรวจสอบเอกสารพบว่ามีการ

ปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ได้แก่(ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร, มปป.) ได้เพิ่มขั้นตอนการบ่มอุณหภูมิโดยตั้งไครม์กะทิไว้ในกล่องโฟมหรือถังแช่ เป็นขั้นตอนช่วยให้เกิดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์โดยการปรับสภาวะแวดล้อมด้านอุณหภูมิให้เหมาะสม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการด้านเครื่องจักรกลที่ใช้ในการปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (ศรายุทธ และวิเชียร, 2559) ออกแบบระบบควบคุมความร้อนจากอินฟราเรดแบบอัตโนมัติเพื่อใช้ในการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ด้วยการอบไอน้ำ โดยใช้ฮีตเตอร์ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 35-90 °C ตั้งเวลาทำงาน 24 hr. พบว่าที่อุณหภูมิ 65-75 °C สามารถสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ 0.2 l. ต่อน้ำกะทิ 1 l. ใช้ไฟฟ้า 9.5 หน่วยต่อการสกัด 1 ครั้ง ทั้งนี้พบว่ายังคงต้องใช้อุณหภูมิในการบ่มค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิต่อการเกิดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ศึกษาข้อดีข้อด้อยเพื่อใช้ในการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต จึงทำการทดลองสร้างชุดทดสอบโดยใช้วิธีการอบไอน้ำ

3.2 การออกแบบและสร้างชุดทดสอบระบบการหมักอัตโนมัติ เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แบบใช้หลักการแผ่ความร้อน (radiation)

3.2.1 การออกแบบและสร้างชุดทดสอบ

ดำเนินการออกแบบและสร้างชุดทดสอบที่จำลองการอบด้วยไอน้ำ (Figure 1) ชุดทดสอบประกอบด้วย ถังอบปิดหุ้มฉนวนโดยรอบเพื่อรักษาสภาพแวดล้อมภายในถังให้มีอุณหภูมิคงที่ภายในถังมีหม้อต้มน้ำร้อนที่ใช้หลอดอินฟราเรดเป็นต้นกำเนิดความร้อน ใช้เป็นแหล่งกำเนิดไอน้ำ มีหัววัดอุณหภูมิ น้ำดื่มควบคุมอุณหภูมิของน้ำร้อนด้วยแผงวงจรควบคุม Arduino ให้มีอุณหภูมิตามที่กำหนด และมีหัววัดอุณหภูมิตรวจวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมภายในถังบ่มอุณหภูมิ การบันทึกข้อมูลอุณหภูมิใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (data logger)



Figure 1 Experimental setup for the steam curing process

3.2.2 การทดสอบศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิ และการเกิดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

ผลการทดสอบการทำงานของระบบ โดยการหมักครีมกะทิจำนวน 3 โถ ภายหลังการเปิดระบบควบคุม อุณหภูมิน้ำต้มที่ 65-70 °C ทำการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำต้ม ค่าอุณหภูมิของอากาศภายในถังอบไอน้ำ ค่าอุณหภูมิของครีมกะทิในแต่ละโถ และบันทึกข้อมูลการทดลองด้วย Datalogger Graphtec ทุกๆ 1 hr. เป็นเวลา 24 hr. ผลการทดสอบแสดงดัง Figure 2

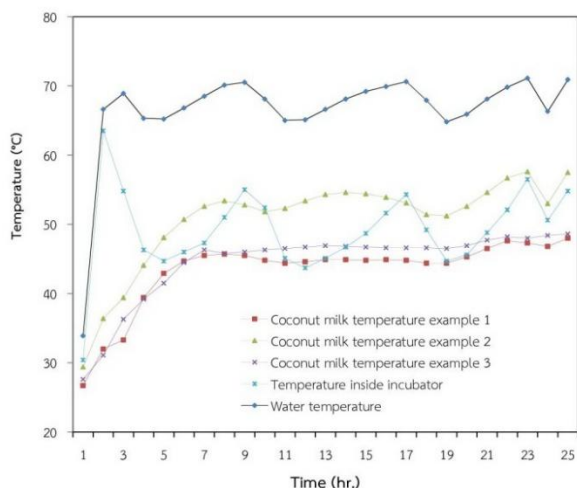


Figure 2 Temperature profile of hot water and coconut cream over time.

จากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิของการน้ำในถัง อุณหภูมิภายในถังอบไอน้ำจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงในช่วง 1 hr.แรก

อุณหภูมิของน้ำต้มจะถูกควบคุมไว้ที่ 70 °C แต่ก็มีค่าแปรปรวนอยู่ในช่วง 67-70 °C อุณหภูมิภายในถังอบไอน้ำจะสูงสุดเพียง 64 °C และจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของครีมกะทิในแต่ละโถที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนสมดุลกับอุณหภูมิภายในถังอบไอน้ำที่ประมาณ 5 hr. ของกระบวนการหมัก และจะขึ้นลงอยู่ในช่วง 40-55 °C ขึ้นกับตำแหน่งการวางของโถครีมกะทิ จะเห็นได้ว่าวิธีการอบด้วยไอน้ำนี้ ใช้การแผ่ความร้อน การกระจายความร้อนไปยังแต่ละโถครีมกะทิไม่สม่ำเสมอ เป็นช่วงค่อนข้างกว้าง และต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำต้มค่อนข้างมาก แต่ก็สามารถสกัดเป็นน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ได้

3.2.3 การศึกษาระบบการหมักด้วยอุณหภูมิระดับต่ำต่อการเกิดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

จากการตรวจเอกสาร และการทดสอบด้วยชุดทดสอบศึกษาปัจจัยพบว่ายังเป็นการใช้อุณหภูมิในระบบการหมักที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในวิธีการหมักตามธรรมชาติ การปฏิบัติของเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชน แต่ปริมาณน้ำมันมะพร้าวที่ได้ใกล้เคียงกัน ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน จึงทำการทดสอบศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้อุณหภูมิระดับต่ำในการหมัก โดยทดสอบในช่วงอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ 30-35, 35-40 และ 45-50 °C เปรียบเทียบกับการหมักตามวิธีการปฏิบัติของเกษตรกร ได้ผลการทดสอบดัง Table1

Table 1 Comparison of virgin coconut oil yield from the steam curing system and the traditional method.

Steam curing system			Traditional method		
Water temperature (°C)	Coconut cream temperature (°C)	Coconut oil yield (%)	Surrounding temperature (°C)	Coconut cream temperature (°C)	Coconut oil yield (%)
30-35	31.1-37	23	24.9-32.2	26.6-32.5	20.8
35-40	32.5-37.2	24	25.8-37.9	25.2-36.4	18.6
40-45	34.8-48.9	18	27.4-38.9	27.7-38.5	18.9

ผลการทดสอบพบว่าแม้การใช้อุณหภูมิน้ำร้อนที่ค่อนข้างต่ำในการหมักใช้เวลา 24 hr.เท่ากันเมื่อเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา และการทดสอบศึกษาปัจจัยเบื้องต้น พบว่าสามารถสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ได้เช่นเดียวกัน โดยพบการใช้อุณหภูมิน้ำร้อนช่วง 35-40 °C ส่งผลให้ครีมกะทิจาก 32.5-37.2 °C ให้ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มากที่สุด ทั้งพบว่าอุณหภูมิครีมกะทิที่สูงหรือต่ำกว่านี้จะให้ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่น้อยกว่า ดังนั้นจะใช้อุณหภูมิครีมกะทิจาก 32.5-37.2 °C เป็นเงื่อนไขในการออกแบบ

ระบบการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีการหมักและเป็นการเพิ่มอุณหภูมิครีมกะทิด้วยกระบวนการพาความร้อน (convection) ต่อไป

3.3 การออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการหมักอัตโนมัติในกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แบบใช้หลักการพาความร้อน (convection)

จากปัญหาของชุดทดสอบทำงานโดยใช้หลักการแผ่ความร้อนในการรักษาอุณหภูมิภายในถัง ผลการทดสอบแสดงให้เห็น

ว่าอุณหภูมิในแต่ละถังไม่สม่ำเสมอทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของโถกะทิและระยะห่างของโถกะทิจากแหล่งกำเนิดความร้อนที่แตกต่างกัน และต้องใช้พลังงานความร้อนมากในการรักษาอุณหภูมิภายในถังให้คงที่ จึงไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าค่าอุณหภูมิใดที่เหมาะสมต่อการหมักน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และเพื่อปรับปรุงวิธีการหมักให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจึงได้ปรับเปลี่ยนหลักการทำงานของระบบการหมักโดยใช้หลักการพาความร้อนแทน โดยอาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนสู่กะทิโดยตรง

ต้นแบบระบบการหมักอัตโนมัติในกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีส่วนประกอบดังนี้

1 ถังน้ำ พร้อมฝาปิด ใช้ถังพลาสติกขนาด 100 ลิ. หุ้มฉนวนกันความร้อนโดยรอบ

2 ระบบควบคุมอุณหภูมิแบบ PID ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้คงที่

3 หัววัดอุณหภูมิ Type. K

4 ฮีตเตอร์สำหรับให้ความร้อนขนาด 1,500 W.



Figure 3 The developed prototype of an automated fermentation system for virgin coconut oil production.



Figure 4 The heater and PID temperature control module used in the fermentation system.

ดำเนินการทดสอบต้นแบบ เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ โดยการนำครีมนะที่ใส่ในถุงพลาสติกจำนวน 3 ถุง เปิด

เครื่อง ตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ 36 °C ทำการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำต้ม ค่าอุณหภูมิของครีมนะที่ในแต่ละถุง และบันทึกข้อมูลการทดลองด้วย Datalogger Graphtec ทุกๆ 1 hr. ผลการทดสอบเบื้องต้นแสดงดัง Figure 5.

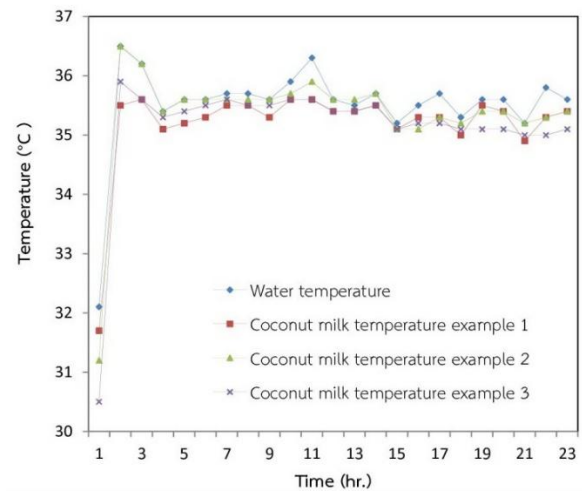


Figure 5 The temperature profile of hot water and coconut cream over time, as recorded by the developed fermentation system.

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมแบบ PID ที่ตั้งค่าให้ฮีตเตอร์ทำงานเพื่อทำให้น้ำในถังน้ำมีอุณหภูมิ 36 °C นั้นเมื่อผ่านไปประมาณ 2 hr. จะทำให้ทั้งอุณหภูมิ น้ำร้อนและอุณหภูมิครีมนะที่เพิ่มสูงขึ้นจนเข้าสู่สภาพว่าสมดุลหรือมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันตลอดช่วงเวลาในการหมัก 24 hr. เบี่ยงเบนไม่เกิน 1 °C ซึ่งอาจเป็นผลจากค่าความคลาดเคลื่อนของหัววัดแต่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ทั้งพบว่าระบบการหมักนี้สามารถสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ได้

3.4.ทดสอบศึกษาปัจจัยการทำงาน และทดสอบประเมินผลเครื่องต้นแบบระบบการหมักน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อัตโนมัติแบบใช้หลักการนำความร้อน เปรียบเทียบกับการหมักด้วยวิธีธรรมชาติ

3.4.1 การทดสอบศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิต่อการเกิดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

จากการทดสอบศึกษาของระบบการหมักที่ใช้หลักการแผ่ความร้อนข้างต้นพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 32.5-37.2 °C แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้หลักการพาความร้อน พิจารณาว่าหากอุณหภูมิครีมนะที่ต่ำการทำงานของจุลินทรีย์ทำให้เกิดการหมักได้ช้า และเพื่อออกแบบระบบการหมักอัตโนมัติใหม่จึงแปรค่าอุณหภูมิเป็น 3 ระดับ คือ 35, 36, และ 37 °C เพื่อหาระดับอุณหภูมิในการหมักหรืออุณหภูมิของครีมนะที่ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับการหมักวิธีธรรมชาติ ตลอดเวลาการหมัก 24 hr. ผลการทดสอบดัง Table2

Table 2 Comparison of virgin coconut oil yield from the developed automated fermentation system and the traditional method.

Automated fermentation system			Traditional method		
Water temperature (°C)	Coconut cream Temperature (°C)	Coconut oil yield (%)	Surrounding Temperature (°C)	Coconut cream Temperature (°C)	Coconut oil yield (%)
35	34.5-35	21.0	28.7-38.3	26.5-37.6	18.6
36	35.1-36	20.8	23.5-31.9	22.5-31.0	19.0
37	36.4-37	27.7	25.2-34	25-34.0	21.6

ผลการทดสอบ พบว่าการใช้ต้นแบบระบบการหมักอัตโนมัติที่ทุกระดับอุณหภูมิความร้อนในถังและอุณหภูมิครีเมกทิสามารถเกิดการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ได้จากการทดสอบและได้ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มากกว่าการหมักโดยวิธีธรรมชาติ และพบว่าอุณหภูมิความร้อนในถัง 37 °C และอุณหภูมิครีเมกทิช่วง 36.4-37 °C เกิดการสกัดและได้ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์สูงสุด ทั้งพบว่าการใช้อุณหภูมิความร้อนในถังและอุณหภูมิครีเมกทิที่ต่ำกว่านี้มีแนวโน้มได้ปริมาณน้ำมันมะพร้าวต่ำกว่า

3.4.2 การทดสอบศึกษาปัจจัยด้านเวลาในกระบวนการหมักต่อการเกิดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดการสกัดน้ำมันในกระบวนการหมักในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกันคือที่เวลาในการหมัก 12, 18 และ 24 hr. ได้ผลดัง Table 3

Table 3 Comparison of virgin coconut oil yield over time from the automated fermentation system and the natural method.

Fermentation Time (hr.)	Virgin coconut oil yield	
	Automated fermentation system (%)	Traditional method (%)
12	20	-
18	20	13
24	23	18.6

พบว่าการใช้ระบบการหมักอัตโนมัติมีแนวโน้มที่ช่วยลดเวลาในการหมักน้ำมันมะพร้าวได้โดยเริ่มเกิดน้ำมันที่เวลา 12 hr. ขณะที่วิธีการหมักแบบธรรมชาติไม่เกิดน้ำมัน ที่เวลาการหมัก 18 และ 24 hr. ปริมาณน้ำมันที่เก็บเกี่ยวได้จากการใช้ระบบการหมักอัตโนมัติสูงกว่าการหมักโดยวิธีธรรมชาติเมื่อใช้เวลาที่เท่ากัน

4 สรุป

ระบบการหมักอัตโนมัติที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แบบใช้หลักการแผ่ความร้อน (radition) ที่เป็นการต้มความร้อนด้วยฮีตเตอร์และควบคุมการทำงานอย่างอัตโนมัติที่อุณหภูมิความร้อน 70 °C ส่งผลให้อุณหภูมิสภาพแวดล้อมภายในห้องอบไอน้ำอุณหภูมิสูงขึ้นและถ่ายเทความร้อนให้กับครีเมกทิให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง 40-55 °C และไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับตำแหน่งการวางครีเมกทิกับแหล่งความร้อน และสามารถสกัดน้ำมันมะพร้าวได้ จึงได้มีการศึกษาผลของอุณหภูมิครีเมกทิต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่สกัดได้ พบว่าอุณหภูมิครีเมกทิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 32.5-37.2 °C มีแนวโน้มให้เปอร์เซ็นต์การสกัดน้ำมันมะพร้าวสูงสุด โดยพบว่าการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่ความร้อนต้องใช้พลังงานความร้อนและค่าไฟฟ้าค่อนข้างสูงและการถ่ายเทความร้อนให้ครีเมกทิไม่สม่ำเสมอ จึงได้ออกแบบระบบการหมักอัตโนมัติแบบใช้หลักการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อน (convection) ที่เป็นการต้มความร้อนด้วยฮีตเตอร์และ

ควบคุมการทำงานอย่างอัตโนมัติด้วย PID แต่เป็นการถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อนสู่ครีเมกทิโดยตรง โดยมีน้ำเป็นตัวกลางพาความร้อน จากการศึกษาพบว่าการใช้ฮีตเตอร์ต้มน้ำให้มีอุณหภูมิ 37 °C ส่งผลให้ครีเมกทิมีอุณหภูมิช่วง 36.4-37.0 °C จะให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าวสูงสุด ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าหากอุณหภูมิครีเมกทิต่ำเกินไปจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักทำงานได้ไม่เต็มที่ การสกัดเป็นน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จึงเกิดน้อย และจากการศึกษาระยะเวลาในระบบการหมักที่ส่งผลต่อการเกิดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ 12, 18, และ 24 hr. พบว่าระบบการหมักอัตโนมัติในกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่พัฒนาขึ้นเริ่มได้รับน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ 12 hr. ในขณะที่การหมักด้วยวิธีธรรมชาติยังไม่ได้รับน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และพบว่าที่ระยะเวลา 18 hr. เปอร์เซ็นต์การสกัดน้ำมันมะพร้าวสูงกว่าการหมักด้วยวิธีธรรมชาติ จึงสรุปได้ว่าระบบการหมักอัตโนมัติเพื่อผลิต

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แบบใช้หลักการพาความร้อนจะลดการใช้พลังงานและค่าไฟฟ้า ลดความเสี่ยงล้มเหลวในกระบวนการหมัก และร่นระยะเวลาในการหมักให้สั้นลงได้เพียง 18 hr. จาก 24 hr. หากใช้ระบบการหมักตามวิธีธรรมชาติ

5 กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว และแปรรูป สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ที่ช่วยสนับสนุนการดำเนินโครงการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6 เอกสารอ้างอิง

ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร. มปป. การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์.

เอกสารเผยแพร่. กรมวิชาการเกษตร.

ศรายุทธ ธรรมประดิษฐ์ และ วิเชียร จันทรัง. 2559. ระบบควบคุมความร้อนจากอินฟราเรดแบบอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์, ปริญญานิพนธ์หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 211 หน้า.

วิไลวรรณ ทวิชศรีและคณะ. 2553. การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และผลิตภัณฑ์ในเชิงอุตสาหกรรม. รายงานผลงานวิจัยและพัฒนา กรมวิชาการเกษตร. 14 หน้า.



การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของการแยกเศษปลากะตักโดยใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น

Optimization of Anchovy Waste Separation Using an Ordinary Least Squares Regression Model

ฐาปกรณ์ นิลวิสุทธิกุล¹ และ นิดา แซ่จอง^{2*}

Thapakorn Ninwisutthikun¹, and Nida Sae Jong^{2*}

¹นักศึกษาปริญญาโท สาขาการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

¹Master's degree student in Technology and Innovation Management, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

²สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

²Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

* nida.s@pnu.ac.th: Tel: +66-8-15987215, E-mail: 6691203009@pnu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของมุมตะแกรง อัตราการป้อน และความแรงของการสั่น ต่อประสิทธิภาพในการคัดแยกเศษจากปลากะตัก โดยประเมินจากระยะเวลาในการคัดแยกเศษ และใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น Ordinary Least Squares (OLS) เพื่อวิเคราะห์และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทั้งสาม การทดลองดำเนินการแบบแฟกทอเรียล โดยมีการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ในแต่ละสภาวะ ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.951 แสดงว่าแบบจำลองสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ประมาณ 95.1% ตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value < 0.05) ได้แก่ อัตราการป้อนและความแรงของการสั่น ซึ่งมีผลในทิศทางตรงข้ามต่อระยะเวลาในการคัดแยกเศษปลากะตัก นอกจากนี้ยังพบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างมุมตะแกรงกับความแรงของการสั่นมีผลอย่างมีนัยสำคัญ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยแบบจำลองช่วยระบุตัวแปรที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดได้อย่างแม่นยำ พร้อมแสดงผลลัพธ์ผ่านกราฟพื้นผิว 3 มิติ งานวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น OLS เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการคัดแยกเศษปลากะตัก

คำสำคัญ: มุมตะแกรง, อัตราการป้อน, ความแรงของการสั่น, แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น Ordinary Least Squares, การออกแบบแฟกทอเรียล

Abstract

This research aimed to investigate the effects of sieve angle, feeding rate, and vibration intensity on the efficiency of anchovy waste separation. The efficiency was measured by the waste separation time. An Ordinary Least Squares (OLS) linear regression model was employed to analyze and determine the optimal values for the three variables. The experiment was conducted using a factorial design with 3 replications for each condition. The regression model achieved a high R-squared value of 0.951, indicating that it could explain approximately 95.1% of the variance in separation time. Statistically significant factors (P-value < 0.05) included feeding rate and vibration intensity, which showed opposite effects on separation time. Furthermore, the interaction between sieve angle and vibration intensity was also found to be significant. The model-based optimization accurately determined the combination of parameters that minimized separation time, and the results were visualized using 3D surface plots. This research demonstrates the effectiveness of OLS regression as a powerful tool for analyzing and optimizing the anchovy waste separation process.

Keywords: Sieve angle, Feeding rate, Vibration intensity, Ordinary Least Squares linear regression model, Factorial design

1 บทนำ

ปลากะตัก (anchovy) เป็นทรัพยากรสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน

ภาคใต้ ซึ่งมีปริมาณการจับคิดเป็นประมาณ 16% ของปลาทะเลชายฝั่งทั้งหมด (FAO & Thai Department of Fisheries, 2018) เศษปลากะตักส่วนใหญ่ถูกแปรรูปเป็นปลาแห้ง และมีมูลค่าส่งออกในปี 2023 กว่า 1.51 ล้านดอลลาร์สหรัฐ (ประมาณ 51

ล้านบาท) โดยตลาดหลักได้แก่ ญี่ปุ่น ฮองกง ออสเตรเลีย สหรัฐฯ และแคนาดา ทั้งยังขยายสู่ประเทศในภูมิภาคอย่างมาเลเซีย บรูไน และสิงคโปร์ อย่างต่อเนื่อง (Tridge, 2024; World Bank Comtrade, 2023)

ในพื้นที่จังหวัดปัตตานี โดยเฉพาะแนวชายฝั่งตั้งแต่อำเภอปะนาเระถึงอำเภอสายบุรี มีกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ประกอบอาชีพแปรรูปปลากระด้างตากแห้งเพื่อจำหน่ายในประเทศและต่างประเทศ แม้ความต้องการผลิตภัณฑ์จะเพิ่มสูงขึ้น แต่ผู้ผลิตยังประสบปัญหาการผลิตไม่ทัน เนื่องจากกระบวนการส่วนใหญ่ยังคงใช้แรงงานคน ตั้งแต่การต้ม ตาก ผ่า และคัดแยกเศษปลา โดยใช้ตะแกรงพลาสติก จากการลงพื้นที่สำรวจโรงงานผลิตปลากระด้างตากแห้งในตำบลปะเสยะวอ อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี ผู้วิจัยได้พูดคุยและรับฟังปัญหาจากผู้ประกอบการ พบว่าขั้นตอนการคัดแยกเศษปลากระด้างก่อนบรรจุถุงยังต้องใช้แรงงานคนในการร่อนและชั่งน้ำหนักเป็นหลัก (Almine, 2023; Pattani Industry Office, 2019) แสดงดัง Figure 1 ส่งผลให้กระบวนการผลิตเกิดความล่าช้า ขาดความสม่ำเสมอ และอาจไม่ถูกสุขลักษณะตามมาตรฐานการแปรรูปอาหาร เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาเครื่องมือที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกเศษปลากระด้าง ลดการพึ่งพาแรงงานคน และตอบสนองต่อปริมาณความต้องการในตลาดที่เพิ่มขึ้น

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการคัดแยกขนาดปลา ได้แก่ รูปแบบตะแกรง ขนาดรูตะแกรง และโครงสร้างของเครื่องคัดแยก (Smith et al., 2021) โดยตะแกรงที่ใช้มีทั้งแบบทรงกระบอกและแบบลาด เช่น เครื่องคัดขนาดปลากระด้างแห้ง (เอกสิทธิ์ ศรีธรรม และอำนาจ คุณตะคุ, 2561) ซึ่งใช้ตะแกรงทรงกระบอกที่สามารถปรับองศาและความเร็วในการหมุนได้ พบว่าส่งผลต่ออัตราและความแม่นยำในการคัดแยก ขณะที่เครื่องคัดขนาดปลาตุ๋ก (วีระพล แก้วก่า, 2556) ใช้รางคัดขนาดแบบบานออก 4 ช่อง พบว่าระดับความเอียงของรางมีผลต่อความแม่นยำเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่ารูตะแกรงควรมีขนาดใหญ่กว่าความกว้างตัวปลาประมาณ 40% เพื่อให้สามารถแยกขนาดปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยสมบัติทางกายภาพของปลา เช่น ความหนาของหัว ความกว้างหรือความยาวของปลา ในการออกแบบช่องหรือร่องคัดขนาด ส่วนประกอบของเครื่องคัดขนาดที่สำคัญ ได้แก่ ช่องป้อน ชุดขับเคลื่อน ถาดรองรับ และอุปกรณ์เสริม เช่น ชุดควบคุมการป้อนหรือระบบแยกสิ่งสกปรกด้วยพัดลม (Blower) เพื่อเพิ่มความสะดวกในการแปรรูป ทั้งนี้ แนวคิดการพัฒนาเครื่องคัดแยกยังสามารถประยุกต์ได้กับวัสดุอื่น เช่น การร่อนทราย โดยใช้กลไกการสั่นในแนวนอนร่วมกับมอเตอร์และตะแกรงเมชขนาดต่าง ๆ ซึ่งช่วยลดเวลาในการคัดแยกได้อย่างมีนัยสำคัญ (อมรรัตน์ และคณะ, 2564)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องคัดแยกเศษปลากระด้าง โดยอาศัยหลักการทดลองเชิงวิศวกรรมควบคู่กับการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์การทำงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบคัดแยกเศษปลากระด้างกึ่งอัตโนมัติ เครื่องต้นแบบได้รับการออกแบบให้มีความกะทัดรัด ใช้งานง่าย และสามารถปรับค่าพารามิเตอร์สำคัญได้ เช่น มุมของตะแกรง อัตราการป้อนปลา และความแรงของมอเตอร์เขย่า พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของเครื่องในด้านปริมาณเศษปลาที่สามารถแยกได้ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งคาดว่าจะช่วยลดภาระแรงงาน เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต และสามารถต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต



Figure 1 Manual sorting of anchovy fragments by sieving

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกเศษปลากระด้าง

เครื่องคัดแยกเศษปลากระด้างได้รับการออกแบบให้มีความกะทัดรัด ใช้งานง่าย และสามารถปรับมุมเอียงของตะแกรงได้ตามความเหมาะสม โครงสร้างของเครื่องประกอบด้วย 6 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) ถังเก็บเศษปลา 2) มอเตอร์เขย่า 3) ตะแกรงร่อนสแตนเลส 4) ฐานเครื่อง 5) ถังใส่ปลากระด้าง และ 6) ลิ้นชักมอเตอร์ แสดงดัง Figure 2

ในส่วนของระบบควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ Node MCU ESP32 เป็นหน่วยประมวลผลหลัก โดยเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวน 8 รายการ ซึ่งติดตั้งอย่างเป็นระเบียบภายในกล่องควบคุม ดังแสดงใน Figure 3 ได้แก่ 1) โพรเซนชิโอไมเตอร์ 2) รีเลย์ 3 ตัว (แบบ 2 ช่อง 5V) 3) ไฟลัดแสง 2 หลอด สำหรับแสดงสถานะการทำงาน 4) จอ LCD แสดงผล 5) สวิตช์ปุ่มกด 6) ปุ่มไฟฉุกเฉิน 7) Switching Power Supply ขนาด 12V 33A และ 8) ไจโรสโคป

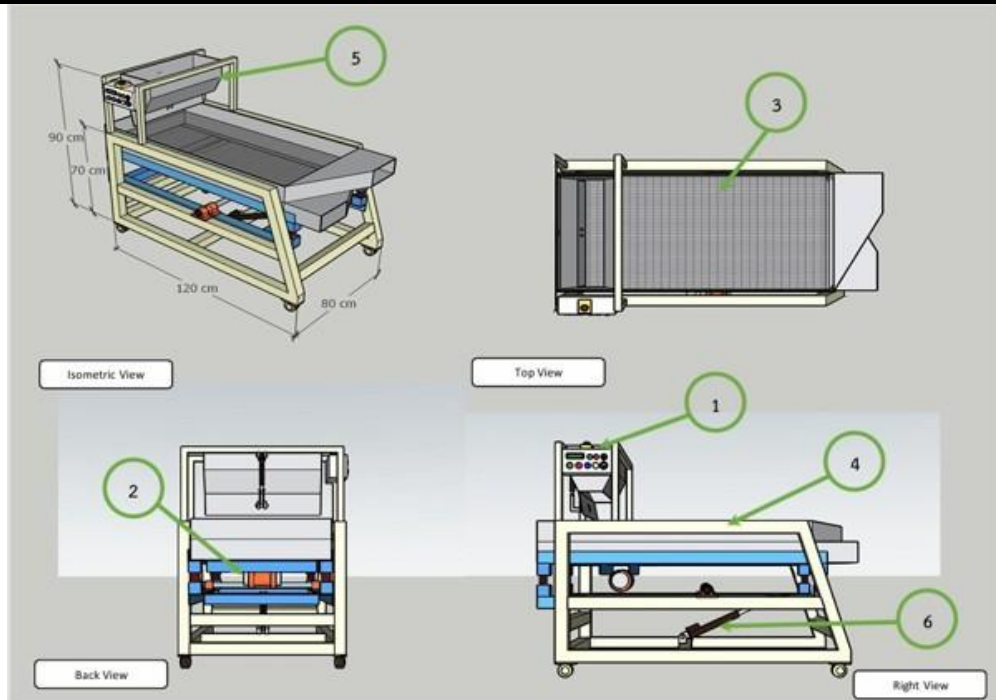


Figure 2 Three-Dimensional Structural Diagram of the Anchovy Fragment Sorting Machine

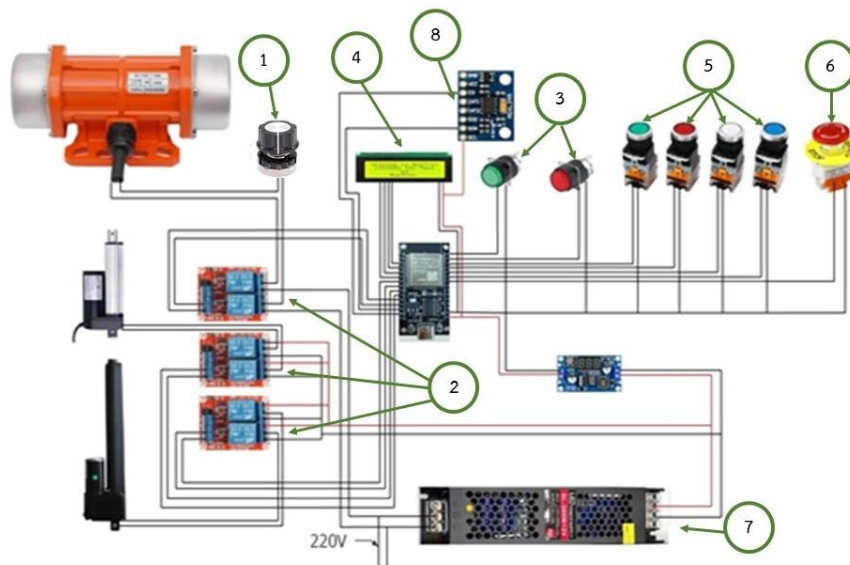


Figure 3 Operational Control Circuit Diagram of the Anchovy Fragment Sorting Machine

ลำดับการทำงานของเครื่องคัดแยกเศษปลากะตัก แสดงดัง Figure 4 ดังนี้ 1) มุมของตะแกรงกลับมาที่ตำแหน่งเริ่มต้นเท่ากับ 0 degree 2) ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งการให้ลิเนียร์มอเตอร์ปรับมุมตะแกรงให้ตรงตามค่าที่ตั้งไว้ โดยรับค่าจากเซนเซอร์ไจโรสโคป เช่น 25 degree 3) เมื่อมุมตะแกรงถึงค่าที่กำหนด มอเตอร์เขย่าที่ติดตั้งใต้ตะแกรงจะเริ่มทำงาน 4) แผ่นกั้นของกล่องป้อนปลาจะเปิด เพื่อเทปลากะตักลงบนตะแกรงตามค่าที่ตั้งไว้ เช่น 50 degree 5) ลิเนียร์มอเตอร์จะ

หดกลับเพื่อตั้งตะแกรงกลับสู่ตำแหน่ง 0 องศา และแผ่นกั้นจะปิด 6) ปลากะตักจะถูกแยกตามขนาด โดยเศษปลาที่แตกหักจะตกลงบนถาดด้านล่าง ส่วนปลาสมบูรณ์จะไหลออกทางปลายเครื่อง เป็นการสิ้นสุดรอบการทำงาน

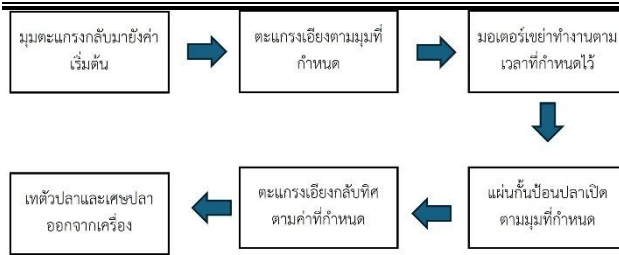


Figure 4 Workflow of the Anchovy Fragment Sorting Machine

2.2 การเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้กำหนดตัวแปรต้นหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการคัดแยกเศษปลา ได้แก่ มุมของตะแกรง อัตราการป้อนปลา และความแรงของมอเตอร์เขย่า โดยควบคุมน้ำหนักของปลาที่ตกในการทดลองให้คงที่ที่ 7 kg rev⁻¹ อัตราการป้อนปลาถูกควบคุมโดยการปรับมุมของแผ่นกั้นในกล่องป้อนปลาให้อยู่ที่ 40 และ 50 degree กับแนวระนาบเพื่อจำกัดปริมาณปลาที่ไหลเข้าสู่ตะแกรงให้สม่ำเสมอ มุมตะแกรงถูกกำหนดที่ 15, 20 และ 25 degree เพื่อศึกษาผลของความลาดเอียงต่อประสิทธิภาพการแยกเศษ ขณะที่ระดับความแรงของมอเตอร์เขย่าถูกตั้งไว้ที่ 3 ระดับ คือ 20 (แรงสั่นเบา), 40 (ปานกลาง), และ 60 (แรงสั่นมากแต่ความถี่ต่ำ) เพื่อทดสอบอิทธิพลของแรงสั่นต่อการคัดแยกเศษปลาที่ตก โดยทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้งในแต่ละเงื่อนไข เพื่อความน่าเชื่อถือของข้อมูล ตัวแปรตามที่ใช้ในการประเมินผลคือ เวลาที่ใช้ในการคัดแยก (s) ค่าที่ได้จากการทดลองแต่ละรอบจะถูกบันทึกอย่างเป็นระบบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานจริง

2.3 การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization)

การถดถอยเชิงเส้นคือการหาเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูล โดยมีหลักการคือทำให้ผลรวมของความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลจริงกับเส้นตรงมีค่าน้อยที่สุดสำหรับการถดถอยแบบเชิงเส้นชนิดลดผลรวมของกำลังสองของค่าที่สังเกตได้กับค่าที่คาดการณ์ให้น้อยที่สุด (Ordinary Least Squares Regression: OLS Regression) ถูกใช้เพื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม โดยวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรต้น ได้แก่ มุมตะแกรง อัตราการป้อนปลา และความแรงของมอเตอร์เขย่า ที่มีผลต่อเวลาในการคัดแยกเศษปลาที่ตก แบบจำลอง OLS (Majka, M., 2024) มีรูปแบบสมการเชิงเส้นลักษณะทั่วไปแสดงดังสมการที่ (1)

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (1)$$

โดยที่ $\hat{y}$ คือค่าผลลัพธ์ที่คาดการณ์

$x_1, x_2, \dots$ คือตัวแปรต้น

$\beta_0, \beta_1, \dots$ คือค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จาก OLS

ε คือค่าความคลาดเคลื่อน (ความแตกต่างระหว่างค่าที่คาดการณ์ได้กับค่าจริง)

การหาความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองที่มีค่าน้อยที่สุดคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2)$$

โดยที่ $\hat{y}_i$ คือ ค่าคาดการณ์ได้จากแบบจำลอง

y_i คือค่าจริง

ค่าที่เหมาะสมที่สุดของมุมตะแกรง อัตราการป้อนปลา และความแรงของมอเตอร์เขย่า ควรเป็นค่าที่ให้ผลการคัดแยกในเวลาอันสั้น และแยกเศษปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะสะท้อนถึงการทำงานของเครื่องที่มีสมรรถนะสูงและเหมาะสมต่อการใช้งานจริง กระบวนการหาค่าที่ดีที่สุดแสดงดัง Figure 5 มีรายละเอียดดังนี้

1) สร้างแบบจำลอง OLS Regression จากข้อมูลที่ได้เก็บได้ทั้งหมด ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 18 เงื่อนไข ยกตัวอย่างเช่น มุมของแผ่นกั้นในกล่องป้อนปลาเท่ากับ 40 degree มุมตะแกรงเท่ากับ 15 degree และความแรงของมอเตอร์เขย่าเท่ากับ 20 ทำการบันทึกเวลาที่ใช้ในการคัดแยกเศษปลาที่ตก (s) ทั้งสามครั้ง และหาค่าเฉลี่ย โดยใช้ซอฟต์แวร์ Python และไลบรารี 'statsmodels.api'

2) ทดสอบนัยสำคัญของแต่ละลักษณะเด่นด้วยค่า p-value และ R-squared เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ทางสถิติที่ชัดเจนของแบบจำลอง ลักษณะเด่นมีทั้งหมด 9 ตัว ประกอบด้วย มุมตะแกรง (A) อัตราการป้อนปลา (F) ความแรงของมอเตอร์เขย่า (V) กำลังสองของมุมตะแกรง (A²) กำลังสองของอัตราการป้อนปลา (F²) และกำลังสองของความแรงของมอเตอร์เขย่า (V²) ผลคูณของลักษณะเด่นได้แก่ มุมตะแกรงคูณอัตราการป้อนปลา (AF) มุมตะแกรงคูณความแรงของมอเตอร์เขย่า (AV) และ อัตราการป้อนปลาคูณความแรงของมอเตอร์เขย่า (FV)

3) พล็อตกราฟแบบ 3D surface plot เพื่อแสดงค่าผลลัพธ์ เช่น เวลาในการคัดแยกเทียบกับมุมตะแกรงและแรงเขย่า เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Point)

4) เลือกค่าที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่าที่ทำให้เวลาในการคัดแยกต่ำสุด และปริมาณเศษปลาสูงสุดภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม

5) ประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง ด้วยค่า Mean Absolute Error (MAE) และ Root Mean Square Error (RMSE)



Figure 5 The process of finding the optimal values



(a)

3 ผลและวิจารณ์

ในหัวข้อนี้นำเสนอรายละเอียดของต้นแบบเครื่องคัดแยกเศษปลากระดูก ซึ่งครอบคลุมทั้งด้านโครงสร้างทางกายภาพ และระบบควบคุมการทำงาน รวมถึงการพัฒนาแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (OLS Regression Model) เพื่อใช้ในการทำนายเวลาที่ใช้ในการคัดแยกเศษปลากระดูก และท้ายที่สุดเป็นกระบวนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เพื่อเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ต้นแบบเครื่องคัดเศษปลากระดูก

เครื่องคัดแยกเศษปลากระดูกประกอบด้วยส่วนโครงสร้างหลักและกล่องควบคุมการทำงาน ซึ่งแสดงดัง Figure 6(a) และ 6(b) ตามลำดับ ระบบสามารถควบคุมการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติผ่านแผงควบคุมที่มีปุ่ม START, STOP, UP และ DOWN โดยปุ่ม UP และ DOWN ใช้สำหรับปรับระยะเวลาการทำงานของเครื่องให้มากหรือน้อยตามต้องการ

นอกจากนี้ ผู้ใช้งานสามารถปรับระดับความแรงของมอเตอร์เขย่าได้ผ่านโพเทนซิโอมิเตอร์แบบหมุนขนาด 10 กิโลโอห์ม โดยสถานะการทำงานของเครื่องจะถูกแสดงผ่านหน้าจอ LCD และไฟแสดงสถานะ (ไฟหลอดแอลอีดี) อีกทั้งยังมีปุ่มหยุดฉุกเฉิน (Emergency Stop) เพื่อใช้ตัดการทำงานของเครื่องทันทีในกรณีฉุกเฉิน



(b)

Figure 6 Anchovy Fragment Sorting Machine (a) Structure (b) Control Box

จากการทดลองพบว่าอัตราการป้อนปลาเท่ากับ 0.62 ± 0.01 และ $1.31 \pm 0.07 \text{ kg s}^{-1}$ ที่มุมของแผ่นกั้นกล่องป้อนปลาเท่ากับ 40 และ 50 degree ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อมุมของแผ่นกั้นเพิ่มขึ้นจาก 40 เป็น 50 degree อัตราการป้อนปลาเพิ่มขึ้นเกือบสองเท่า ขณะที่มุม 40 degree มีความแปรปรวนน้อยกว่า แสดงถึงระบบมีเสถียรภาพสูงกว่า

3.2 การวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) โดยใช้เทคนิค OLS พบว่าแบบจำลองสามารถอธิบายความแปรปรวนของเวลาการคัดแยกเศษปลากระดูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) เท่ากับ 0.951 ซึ่ง

หมายความว่าแบบจำลองสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ประมาณ 95.1% ซึ่งอยู่ในระดับที่ดีมาก

ผลการทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรชี้ให้เห็นว่า อัตราการป้อนและความแรงของการสั่น มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} < 0.05$) ต่อเวลาการคัดแยกเศษปลากะตัก โดยอัตราการป้อนมีผลในเชิงบวก นั่นคือ เมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการคัดแยกเศษปลาลดลง ขณะที่ความแรงของการสั่นมีผลในเชิงลบ ซึ่งอาจเกิดจากการที่แรงสั่นสะเทือนมากเกินไปทำให้เกิดการกระจายของเศษปลากะตักที่ไม่เป็นระเบียบ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการคัดแยกเศษปลากะตัก นอกจากนี้ยังพบว่าผลคูณของมุมตะแกรงกับความแรงของการสั่น (AV) มีปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าค่าที่เหมาะสมของมุมตะแกรงอาจขึ้นอยู่กับระดับของความแรงสั่นสะเทือน ซึ่งควรได้รับการปรับตั้งร่วมกันเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

แม้ว่าการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Errors) จะอิงจากสมมติฐานที่ว่าค่าความแปรปรวนของข้อผิดพลาดในข้อมูลถูกต้อง แต่จากการวิเคราะห์พบว่า eigenvalue ของเมทริกซ์ที่ใช้สร้างแบบจำลองมีค่าต่ำมาก (6.53×10^{-31}) สถานการณ์นี้อาจเป็นสัญญาณของภาวะมัลติโคลิเนียริตี (Multicollinearity) หรือการที่ตัวแปรต้นบางตัวมีความสัมพันธ์ซ้ำซ้อนกันมากเกินไป ส่งผลให้การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์บางตัวอาจไม่น่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตามแบบจำลองยังสามารถทำนายผลได้อย่างน่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดต่อไปได้

3.3 การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization)

การดำเนินการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ด้วยแบบจำลองนี้ สามารถระบุค่าของตัวแปรควบคุมที่ให้ผลลัพธ์การแยกที่ดีที่สุดได้ โดยค่าที่ได้จากกระบวนการ Optimization ได้แก่ มุมตะแกรง 25.0 degree, อัตราการป้อน $1.31 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ และความแรงของมอเตอร์เขย่า 0.456 mm (ได้จาก 27.36/60) ซึ่งใช้เวลาการคัดแยกเศษปลาที่พยากรณ์ได้ต่ำที่สุด คือ 87.42 s

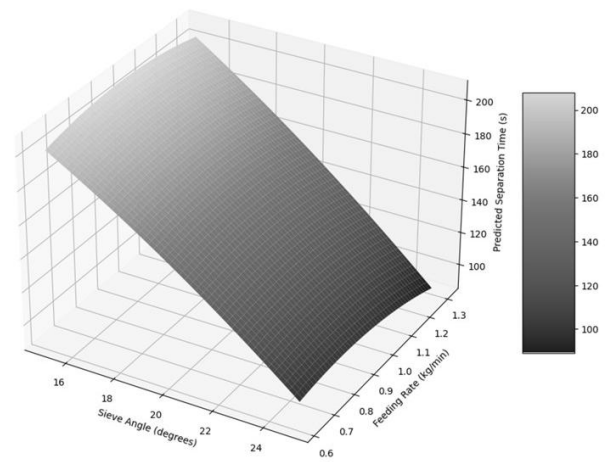


Figure 7 3D Surface Plot (Vibration intensity Fixed at 0.46 mm)

จาก Figure 7 แสดงลักษณะของพื้นผิวกราฟแบบสามมิติ (3D Surface Plot) ซึ่งกำหนดความแรงของการสั่นสะเทือนให้มีค่าคงที่ 0.46 mm แกน x คือ มุมตะแกรง มีค่าตั้งแต่ 16 ถึง 24 degree แกน y คือ อัตราการป้อน มีค่าตั้งแต่ 0.6 ถึง $1.3 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ และ แกน z คือ เวลาที่ใช้ในการแยกเศษปลาที่ทำนายไว้ มีค่าตั้งแต่ประมาณ 90 ถึง 200 s โดยบริเวณที่มีสีอ่อนแสดงว่าใช้เวลาในการคัดแยกมาก บริเวณที่มีสีเข้มหมายถึงใช้เวลาในการคัดแยกน้อย

จากการสังเกตกราฟพบว่าลักษณะพื้นผิวของกราฟค่อนข้างจะเป็นระนาบเรียบ ซึ่งบ่งชี้ว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นค่อนข้างชัดเจนระหว่างมุมตะแกรง และอัตราการป้อน ซึ่งเป็นตัวแปรอินพุต กับเวลาในการคัดแยกเศษปลาที่ทำนายได้ (ตัวแปรเอาต์พุต) นอกจากนี้เมื่อมุมตะแกรงเพิ่มขึ้น (จากซ้ายไปขวาบนแกน x) เวลาในการคัดแยกเศษปลาที่ทำนายได้จะลดลง ขณะที่เมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้น (จากด้านหน้าไปด้านหลังบนแกน y) เวลาในการคัดแยกเศษปลาที่ทำนายได้ดูเหมือนจะเพิ่มขึ้น อีกประการหนึ่งพบว่าเวลาในการคัดแยกเศษปลาที่ต่ำที่สุด (ค่า z ต่ำสุด ซึ่งเป็นสีเข้มในแถบสี) อยู่ที่บริเวณที่มีมุมตะแกรงสูง และอัตราการป้อนต่ำ (มุมขวาหน้าของกราฟ) ขณะที่เวลาในการคัดแยกเศษปลาที่สูงที่สุด (ค่า z สูงสุด ซึ่งเป็นสีขาวสว่างในแถบสี) อยู่ที่บริเวณที่มีมุมตะแกรงต่ำ และอัตราการป้อนสูง (มุมซ้ายหลังของกราฟ)

สรุปได้ว่า การลดมุมของตะแกรง หรือการเพิ่มอัตราการป้อน (หรือทั้งสองอย่างร่วมกัน) จะส่งผลให้เวลาในการคัดแยกเศษปลามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน หากต้องการลดเวลาในการคัดแยก ควรเลือกใช้มุมตะแกรงที่สูงขึ้น หรือใช้อัตราการป้อนที่ต่ำลง หรือทั้งสองแนวทางร่วมกัน โดยที่ความแรงของการสั่นสะเทือนคงที่ที่ 0.46 mm

4 สรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องคัดแยกเศษปลากระดูก โดยพิจารณาปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย ได้แก่ มุมตะแกรง อัตราการป้อน และความแรงของการสั่น ซึ่งถูกออกแบบการทดลองในรูปแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) คือ การออกแบบชุดการทดลองที่ทดสอบทุกการรวมกันของระดับของปัจจัยต่าง ๆ ที่ศึกษา และวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) โดยใช้เทคนิค OLS

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ โดยสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ถึง 95.1% ($R^2 = 0.951$) และพบว่าปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อระยะเวลาในการแยก ได้แก่ อัตราการป้อนและความแรงของการสั่น โดยมีผลกระทบในทิศทางตรงกันข้าม นอกจากนี้ยังพบปฏิสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่างมุมตะแกรงกับความแรงของการสั่น

การดำเนินการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากแบบจำลองทำให้สามารถกำหนดค่าของตัวแปรควบคุมที่ให้ผลลัพธ์การคัดแยกเศษปลากระดูกที่ดีที่สุด ได้แก่ มุมตะแกรง 25 degree อัตราการป้อน $1.31 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ และความแรงของมอเตอร์เขย่า 0.456 mm ซึ่งให้ระยะเวลาในการคัดแยกเศษที่พยากรณ์ได้ต่ำที่สุดที่ 87.42 s ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงชี้ให้เห็นว่าแบบจำลอง OLS เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการแยกของเสียจากปลากระดูก ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ลดต้นทุนแรงงาน และเพิ่มความแม่นยำของกระบวนการคัดแยกเศษปลาได้ในอนาคต

แนวทางในการควบคุมกระบวนการในระดับอุตสาหกรรมมีรายละเอียดดังนี้ 1) การควบคุมอัตราการป้อน ด้วยการติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติ (Feeder Control) เพื่อรักษาความสม่ำเสมอของอัตราการป้อนในระยะยาว 2) การปรับความแรงของมอเตอร์เขย่า เนื่องจากการเพิ่มความแรงของการสั่นจะช่วยให้ของเสียถูกแยกออกได้เร็วขึ้น แต่ต้องอยู่ในขอบเขตที่ไม่ทำให้ชิ้นส่วนของเสียกระจายผิดทิศทาง ดังนั้นควรเลือกใช้มอเตอร์สั่นที่สามารถปรับระดับความแรงได้อย่างแม่นยำ และตรวจสอบความเสถียรของการสั่นอย่างสม่ำเสมอ ค่าที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 0.45 ถึง 0.50 mm 3) การพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Interaction Effects) พบว่าผลของมุมตะแกรงอาจขึ้นอยู่กับระดับความแรงของมอเตอร์เขย่า ดังนั้นการตั้งค่ามุมตะแกรงควรพิจารณาควบคู่กับความถี่สั่น เช่น หากใช้แรงสั่นสูง ควรเลือกมุมตะแกรงที่ไม่ชันจนเกินไป เพื่อให้การแยกมีประสิทธิภาพ ดังนั้นผู้วิจัยแนะนำให้มีการตรวจสอบและทดลองย่อยในโรงงาน

(Pilot Testing) เพื่อกำหนดค่าสมมูลที่เหมาะสมที่สุดในสภาพแวดล้อมจริง และ 4) การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางสถิติในระบบควบคุม ซึ่งสามารถนำแบบจำลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ให้ใกล้เคียงจุดที่เหมาะสมแบบอัตโนมัติ เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต และลดความผันแปรที่เกิดจากมนุษย์ กล่าวโดยรวมการควบคุมค่าของอัตราการป้อนและความแรงของมอเตอร์เขย่าให้อยู่ในช่วงที่แนะนำ โดยคำนึงถึงผลกระทบจากมุมตะแกรงร่วมด้วย จะสามารถลดเวลาในการคัดแยกเศษปลากระดูก เพิ่มความแม่นยำของกระบวนการ และเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบคัดแยกเศษปลากระดูก ได้อย่างมีประสิทธิภาพในภาคปฏิบัติ

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสดรมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ในด้านสถานที่และสิ่งอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณนางสาวฮาบี๊ะ กาเซ็ง จากโรงงานผลิตปลากระดูกตากแห้ง ตำบลปะเสยะวอ อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี สำหรับคำแนะนำเกี่ยวกับกระบวนการคัดแยกเศษปลากระดูก รวมถึงขอขอบคุณคุณมุฮัมหมัดอัสมิน มะมูมา และคุณยศพงศ์ ห้วยหนา สำหรับความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมของเครื่องคัดแยกเศษปลากระดูก

6 เอกสารอ้างอิง

- วีระพล แก้วเก่า. 2556. การพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลาตุก. รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27, ชลบุรี : มหาวิทยาลัยบูรพา. 16-18 ตุลาคม 2556, ชลบุรี.
- อมรรัตน์ ขาดิขยัน, ชาพร บุญประคม, สถาพร สุภาพงศ์, ญัฐวุฒิ อริยะจินโณ. 2564. การออกแบบและพัฒนาเครื่องร่อนทราย. รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมครั้งที่ 3, 605-611. เลย : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย. 26 มีนาคม 2564, เลย.
- เอกสิทธิ์ ศรีธรรม, อานาจ คูตะคุ. 2561. การออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากระดูกแห้ง. รายงานการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 56, 499-506. กรุงเทพมหานคร : สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 6-9 กุมภาพันธ์ 2561, กรุงเทพมหานคร.
- FAO, & Thai Department of Fisheries. 2018. Thailand marine capture fisheries overview. FAO Fisheries

- and Aquaculture Division. Available at: <https://www.seafdec.org/fisheries-country-profile-thailand/>. Accessed on 13 July 2025.
- Majka, M. 2024. Ordinary Least Squares – A comprehensive examination of OLS regression. Available at: https://www.researchgate.net/publication/384403324_Ordinary_Least_Squares. Accessed on 13 July 2025.
- Almine, N. 2023. Understanding dried fish value chain and marketing strategy during COVID-19 pandemic: A case study from Thailand. Masters thesis. Memorial University of Newfoundland.
- Pattani Industry Office. 2019. โครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและส่งเสริมธุรกิจแปรรูปปลากระตัก จังหวัดปัตตานี. สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดปัตตานี.
- Smith, J.A., Patel, R.K., Lee, Y.H. 2021. Application of a controlled experiment to assess the effect of mesh sizes and opening angles on selectivity of sorting grids. *Journal of Marine Engineering*, 9(4), 372.
- Tridge. 2024. Export of dried anchovy from Thailand (HS 160416). Available at: <https://www.tridge.com/intelligences/dried-anchovy/TH/export>. Accessed on 13 July 2025.
- World Bank Comtrade. 2023. Thailand exports of prepared or preserved anchovies (HS 160416). Available at: <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/THA/year/2023/tradeflow/Exports/partner/ALL/product/160416>. Accessed on 13 July 2025.



การพัฒนาเครื่องลดความชื้นด้วยอุณหภูมิต่ำแบบปั๊มความร้อนสำหรับพืชสกุลกัญชา

Development of low temperature dryer with heat pump for cannabis

จิรวาส จีเยตรกุล^{1*}, ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์¹, อานนท์ สายคำฟู¹, ปรีชา อานันท์รัตนกุล¹, ณัฐสิทธิ์ อยู่เย็น¹, เวียง อากรชิ²
Jirawat Chiatrakul^{1*}, Parinyawat Yoothongin¹, Arnon Saicomfu¹, Preecha Ananrattanukul¹, Nuthasit Youyen¹,
Weang Arekornchee²

¹สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม, กรมวิชาการเกษตร, ลาดยาว, จตุจักร, กรุงเทพฯ, 10900

¹Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok, 10900

²ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น, กรมวิชาการเกษตร, ตำบลบ้านทุ่ม, อำเภอเมืองขอนแก่น, ขอนแก่น, 40000

²Khonkaen Agricultural Engineering Research Center, Department of Agriculture, Ban Thum, Muang khon kean, Khon kaen, 40000

*Corresponding author: Tel: +66-8-9757-6496, E-mail: jirawat026@gmail.com

บทคัดย่อ

เครื่องลดความชื้นด้วยระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump) เป็นเทคโนโลยีการลดความชื้นรูปแบบหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการลดความชื้นที่ใช้กัญชา เนื่องจากสามารถคงปริมาณสารสำคัญภายในพืชกัญชาไว้ได้ (THC, CBD) การทดสอบลดความชื้นด้วยเครื่องต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการต้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ และปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องในเบื้องต้น ที่อุณหภูมิ 43°C พบว่าสามารถลดความชื้นจาก 80% (มาตรฐานเปียก) ให้เหลือความชื้นต่ำกว่า 10% (มาตรฐานเปียก) ด้วยระยะเวลาในการลดความชื้นประมาณ 20 ชั่วโมง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการลดความชื้นด้วยวิธีของเกษตรกรที่ใช้ระยะเวลา 7-14 วัน (อุณหภูมิ 21°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50%) พืชสกุลกัญชาที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ (THC, CBD) และวัดค่าสี เปรียบเทียบกับวิธีของเกษตรกร และการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อน (Hot air) ที่อุณหภูมิ 43, 60 และ 103°C พบว่าปริมาณ THC-A มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนไปเป็น Δ9-THC ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ค่าความสว่าง L* ของตัวอย่างพืชกัญชาในการทดสอบกับวิธีการของเกษตรกรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ค่า a* มีความแตกต่างกันระหว่างการลดความชื้นด้วยปั๊มความร้อน (43°C) และการลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบลมร้อน (60°C) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และค่า b* มีความแตกต่างกันระหว่างการลดความชื้นด้วยปั๊มความร้อน (43°C) และการลดความชื้นเครื่องลดความชื้นแบบลมร้อน (103°C) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: กัญชา, THC, CBD, เครื่องลดความชื้นด้วยระบบปั๊มความร้อน

Abstract

A heat pump dryer is a popular drying technology used in low temperature drying because it can maintain the active ingredients in cannabis plants (THC, CBD). A preliminary laboratory prototype dryer test was conducted to study the feasibility and related factors at 43°C found that the dryer could reduce the moisture content from 80 percent (wet basis) to less than 10 percent (wet basis) in approximately 20 hours. When compared to the farmers' dehumidification drying method that took 7-14 days (at 21°C, and 50% relative humidity), The cannabis plants were analyzed for their active ingredients (THC, CBD) and color after the drying process. Compared to the farmers' method and drying with a hot air dryer at temperatures of 43, 60 and 103°C, it was found that the THC-A tends to convert to Δ9-THC as the temperature increased. The brightness L* values of the cannabis plant samples tested with the farmers' method were significantly different ($p < 0.05$). The a* values of the heat pump dryer at 43°C and the hot air dryer at 60°C were significantly different ($p < 0.05$) and the b* values of the heat pump dryer at 43°C and the hot air dryer at 103°C were significantly different ($p < 0.05$).

Keywords: Cannabis, THC, CBD, Heat pump dehumidifier

1 บทนำ

พืชกัญชา (*Cannabis sativa* L.) เป็นพืชดอก (flowering plant หรือ angiosperm) ในสกุล (genus) *Cannabis* มีต้นกำเนิดมาจากประเทศจีน และมีการปลูกอย่างแพร่หลายทั่วโลก สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ภูมิอากาศร้อน ในประเทศไทย พบว่ามีการปลูกกัญชามาตั้งแต่อดีต จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์ที่มีการบันทึกอยู่ในช่วงปี 2199-2231 ถูกใช้เป็นส่วนประกอบในตำรับยา และการใช้ประโยชน์จากเส้นใยโดยกลุ่มชาวเขา มีการใช้ประโยชน์จากกัญชาอย่างแพร่หลาย

สารประกอบที่วิเคราะห์ได้จากช่อดอกเพศเมียของพืชกัญชาที่เป็นประโยชน์ สามารถจำแนกได้ในปัจจุบัน 560 ชนิด (Chandra et al., 2017) แบ่งกลุ่มสารสำคัญออกเป็น 3 กลุ่ม (Bonini et al., 2018) 1.กลุ่ม Phytocannabinoids เป็นสารสำคัญที่มีประโยชน์ทางการแพทย์ มีประมาณ 120 ชนิด ซึ่งสามารถแบ่งได้ 10 กลุ่ม 1) delta-8-THC 2) delta-9-THC 3) CBC 4) CBD 5) CBE 6) CBG 7) CBL 8) CBN 9) CBND 10) CBT 2.กลุ่ม Terpenoids เป็นสารที่มีกลิ่นหอมของพืชกัญชา มีประมาณ 200 ชนิด ชนิดที่พบมากที่สุดคือ 1) D-limonene 2) Beta-myrcene 3) Alpha-pinene 4) D-linalool 5) Beta-caryophyllene 6) Caryophyllene oxide 7) Phytol 3. กลุ่ม Flavonoids พืชอื่นๆ เช่น perrottetinene, macamides, guineensine และ panaxynol

นอกจากการสำคัญยังมี โปรตีน และน้ำมันหอมระเหย (essential oil) ในเมล็ดพืชกัญชา สารที่สำคัญได้แก่ delta-9-tetrahydrocannabinoid (THC) เป็นสารcannabinoid (CBD) (Figure 1) ที่ใช้ทางการแพทย์ และอาจจะเกิดฤทธิ์ที่ไม่พึงประสงค์ได้ง่าย หากไม่ได้ใช้ในทางการแพทย์หรือใช้ขนาดที่ไม่ถูกต้อง และ Cannabidiol (CBD) เป็นสารออกฤทธิ์ตรงกันข้ามกับ THC

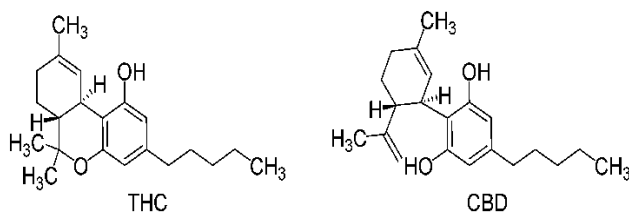


Figure 1 Structures of THC and CBD.

การตากแห้ง หรือลดความชื้นช่อดอกกัญชา วิธีการปกติ (วิธีการของเกษตรกร) (Figure 2) จะต้องแขวนช่อดอกในที่เย็นและมีด ในระยะเวลาที่เหมาะสม ความชื้นประมาณ 50-60% อุณหภูมิระหว่าง 15-21°C ต้องมีการหมุนเวียนอากาศที่ดี แต่ไม่ควรมีลมพัดโดนช่อดอกโดยตรง ใช้เวลาในการลดความชื้นภายใน 1-2 สัปดาห์ ซึ่งใช้ระยะเวลานาน และมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการลดความชื้นที่ค่อนข้างสูง แต่ก็ยังเป็นวิธีการที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดี (สุรกิติ และคณะ, 2564)



Figure 2 Traditional cannabis drying.

การลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน (heat pump) เป็นการลดความชื้นด้วยระบบที่ทำงานในการปั๊มความร้อน โดยใช้หลักการทำงานตามวัฏจักรการทำงานทางเทอร์โมไดนามิกส์หรือที่เรียกว่า Carnot Cycle ทำให้สามารถดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนแล้วนำไปถ่ายเทในบริเวณที่ต้องการความร้อนได้ วัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อนมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Mechanical Vapour Compression System) ที่มีการประยุกต์ใช้งานโดยทั่วไปในเครื่องปรับอากาศ ต่างกันเพียงแต่ปั๊มความร้อนจะเลือกใช้ประโยชน์จากด้านความร้อนเป็นหลักและควบคุมอุณหภูมิด้านความร้อนแทนด้านความเย็น

การพัฒนาเครื่องลดความชื้นด้วยระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump) ที่เป็นระบบการลดความชื้นด้วยอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก และเน้นการใช้ลมแห้งในการลดความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งเหมาะสมกับการลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณสารสำคัญพืชที่มีน้ำมัน หรือเมล็ดพันธุ์ เพื่อคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ จึงเป็นแนวทางในการแก้ไขที่เกิดจากรูปแบบการลดความชื้นแบบเดิม ที่จะสามารถลดระยะเวลาในการลดความชื้น และยังคงรักษาระดับปริมาณสารสำคัญ เป็นการควบคุมคุณภาพ

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างพืชกัญชา (Figure 3) ถูกนำมาตัดแต่งใบ fan leaves และตัดใบที่อยู่รอบตาใบออก ตัดใบ sugar leaves ออก ตัวอย่างบางส่วนถูกนำไปวิเคราะห์หาความชื้นเริ่มต้นด้วยวิธีการมาตรฐาน



Figure 3 Cannabis.

2.2 การออกแบบระบบปั๊มความร้อนต้นแบบ

เครื่องต้นแบบตู้อบลดความชื้นฯ เลือกใช้ผนังห้องลดความชื้นใช้โฟมเป็นฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายในออกไปยังภายนอก โดยระบบปั๊มความร้อนมีอุปกรณ์ในการทำงานหลักๆ คือ คอมเพรสเซอร์ เอ็กซ์แพนชันวาล์ว คอล์ยเย็น คอล์ยร้อน ที่ติดตั้งภายในตู้สำหรับสำหรับลดความชื้นพืชกระถาง แนวคิดการออกแบบการลดความชื้นด้วยระบบปั๊มความร้อนใน (Figure 4 and 5)

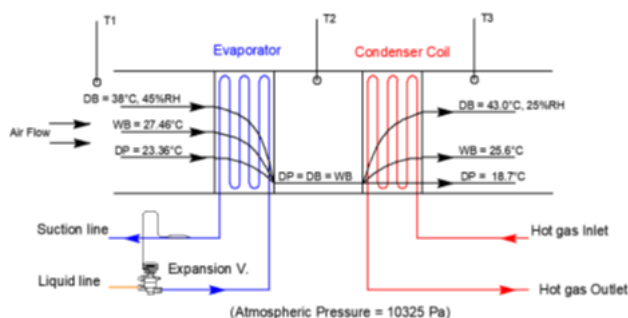


Figure 4 Conceptual for heat pump system
(อานนท์, 2566)

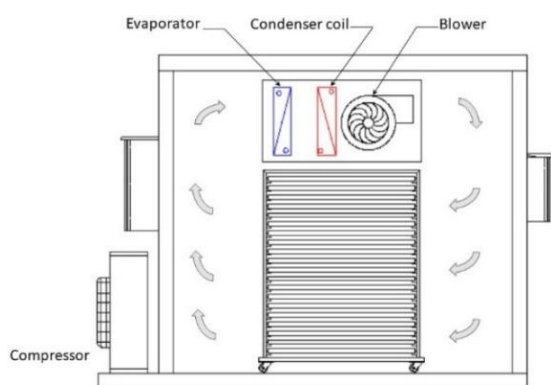


Figure 5 Conceptual design (Close loop system)

2.3 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

ทดสอบการทำงานของเครื่องลดความชื้นต้นแบบฯ เบื้องต้นในอาคารปฏิบัติการ ณ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป บัณฑิตค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายใน และภายนอกห้องลดความชื้น ใช้อุณหภูมิในการลดความชื้นที่ 43 ± 2 °C ทำการเก็บตัวอย่าง มาชั่งน้ำหนัก ทุก ๆ 1 ชั่วโมง เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความชื้น แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาระยะเวลาที่เหมาะสม พร้อมปรับปรุงประสิทธิภาพ เช่น ปรับปรุงการกระจายลมร้อนให้สม่ำเสมอ และทำการเปรียบเทียบคุณภาพของพืชผักที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นต้นแบบ กับวิธีการของเกษตรกร และการลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบลมร้อน

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพของพืชผัก

ปริมาณสาร (THC, CBD)

หลังจากที่ทำการลดความชื้นตัวอย่างพืชผักด้วยเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนต้นแบบแล้ว ตัวอย่างพืชผักจะถูกนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสาร THC ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ Thai Herbal Pharmacopoeia 2012 Supplement 2024 ที่ห้องปฏิบัติการของบริษัท ศูนย์ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางการแพทย์ และการเกษตรแห่งเอเชีย จำกัด (มหาชน) AMARC

การวัดค่าสี

ดำเนินการนำตัวอย่างพืชผักที่ผ่านการลดความชื้นด้วยการใช้ปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 43°C และการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C และ 103°C และการลดความชื้นด้วยวิธีการของเกษตรกร (21°C) การวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Konica Minolta รุ่น CR-10 ที่ให้ผลลัพธ์การวัดค่าสีในพื้นที่สีแบบ L*a*b* (Lab Color Space) ณ อาคารปฏิบัติการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ระบบลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนต้นแบบ

ระบบลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนต้นแบบสำหรับใช้ในการทดสอบลดความชื้นพืชสกุลกัญชาด้วยความร้อนต่ำเบื้องต้นเป็นการติดตั้งระบบปั๊มความร้อน โดยทำการดัดแปลงกับตู้แช่เย็นเพื่อศึกษาแบบการลดความชื้น การจัดวางผลิตภัณฑ์ ความเป็นไปได้ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์กัญชาแห้งที่ผ่านการลดความชื้นในระดับห้องปฏิบัติการ (Figure 6)



Figure 6 Heat pump dryer (prototype)

3.2 ประสิทธิภาพการลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนต้นแบบ

การทดสอบลดความชื้นของพืชกัญชานั้น จะทำการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำไม่เกิน 43°C โดยมีปริมาณการลดความชื้นด้วยเครื่องต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการต่อรอบไม่เกิน 2 kg โดยวางผลิตภัณฑ์กัญชาบนถาด โดยให้ความหนาของกัญชาไม่เพียงชั้นเดียว (ไม่ซ้อนทับกัน) จำนวน 4 ถาดต่อชั้น ทั้งหมด 5 ชั้น

(Figure 7) ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าตัวเครื่องสามารถลดความชื้นพืชกัญชาจากความชื้นเริ่มต้น 80% (มาตรฐานเปียก) ให้เหลือความชื้นต่ำกว่า 10% (มาตรฐานเปียก) ด้วยระยะเวลาในการลดความชื้นประมาณ 20 ชั่วโมง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการลดความชื้นด้วยวิธีของเกษตรกรที่ใช้ระยะเวลา 7-14 วันด้วยการตากในท้องอุมหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (อุมหภูมิ 21°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50%)

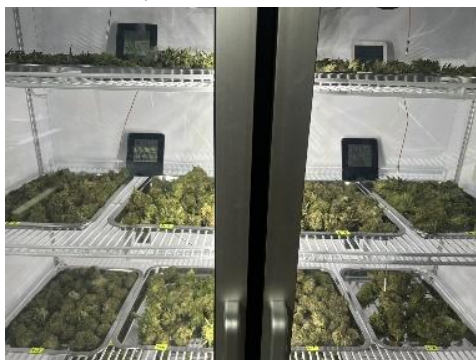


Figure 7 Heat pump dryer with cannabis samples.

ค่าอุมหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ขณะทำการทดสอบเครื่องต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการ (Figure 8) มีค่าเฉลี่ยที่ 42°C

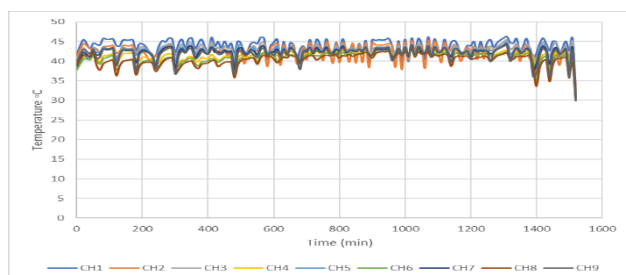


Figure 8 Temperature during testing.

3.3 คุณภาพของพืชกัญชา

ปริมาณสาร (THC)

พืชกัญชาที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นเรียบร้อยแล้วถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ (THC, CBD) โดยทำการเปรียบเทียบกับระหว่างพืชกัญชาที่ลดความชื้นด้วยวิธีของเกษตรกร (21°C) การลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อน (ที่อุมหภูมิ 60°C และ 103°C) และการลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการที่ 43°C เพื่อตรวจสอบและเปรียบเทียบผลของอุมหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารสำคัญในพืชกัญชา พบว่าปริมาณสาร THC ของตัวอย่างพืชกัญชา จำนวน 11 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.95-3.59% ปริมาณสาร THC-A 15.93-16.57% ส่วนปริมาณสาร CBD นั้นไม่สามารถตรวจได้ (เนื่องจากมีปริมาณที่น้อยเกินไป) ดังแสดงใน Table 1

Table 1 THC, THC-A and CBD value of cannabis samples.

		Content (% w/w)		
		CBD	Δ 9-THC	THC-A
1	C-21TD	Not detect	0.9485	15.9302
2	C-43HP	Not detect	1.1404	16.5176
3	C-43HA	Not detect	1.1824	16.2519
4	C-60HA	Not detect	0.8459	16.5676
5	C-103HA	Not detect	3.5869	16.1819

Remark C-21TD = Traditional cannabis drying 21°C.

C-43HP = Heat pump dryer 43°C.

C-43HA = Hot air dryer 43°C.

C-60HA = Hot air dryer 60°C.

C-103HA = Hot air dryer 103°C.

THC-A เป็นสารตั้งต้นของ Δ 9-THC ซึ่งหมายความว่าป็นสารประกอบที่ต้องผ่านการเปลี่ยนแปลงทางเคมีก่อนที่จะกลายเป็น Δ 9-THC การสังเคราะห์ THC-A เกิดขึ้นโดยเอนไซม์เฉพาะในต้นกัญชา เมื่อ THC-A ได้รับความร้อนหรือแสง UV จะสูญเสียกลุ่ม carboxyl และกลายเป็น Δ 9-THC ซึ่ง Δ 9-THC อาจจะไม่ไดเกิดจาก THC-A อย่างเดียว เอนไซม์สามารถสร้าง Δ 9-THC จากสารอื่นในกัญชาได้ด้วย (Figure 9) จาก Table 1 พบว่าที่อุมหภูมิสูง 103°C มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจาก THC-A ไปเป็น Δ 9-THC มากกว่าอุมหภูมิ 21, 43 และ 60°C

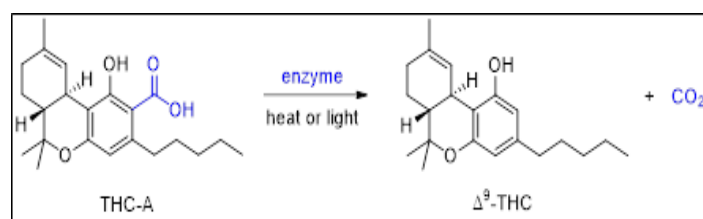


Figure 9 Conversion of THCA to THC.

ค่าสี

ผลการวิเคราะห์ค่าสีพืชกัญชาที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนต้นแบบ ระดับห้องปฏิบัติการ กับการลดความชื้นด้วยวิธีการของเกษตรกร และการลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบลมร้อน เครื่องวัดสี Konica Minolta รุ่น CR-10 (Figure 10) พบว่า ค่า L* ความสว่าง (lightness) มีความแตกต่างกันระหว่างการลดความชื้นด้วยปั๊มความร้อน (43°C) และการลดความชื้นด้วยวิธีการของ

เกษตรกร (21°C) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ค่า a^* (สีเขียวถึงสีแดง) มีความแตกต่างกันระหว่างการลดความชื้นด้วยปั๊มความร้อน (43°C) และการลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบลมร้อน (60°C) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และ b^* (สีน้ำเงินถึงสีเหลือง) มีความแตกต่างกันระหว่างการลดความชื้นด้วยปั๊มความร้อน (43°C) และการลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบลมร้อน (103°C) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 2-8



Figure 10 Konica Minolta model CR-10

Table 2 t-test comparing average L^* , a^* , b^* value of C-21TD and C-43HP.

	Parameter		
	L^*	a^*	b^*
C-21TD	45.00	2.82	19.32
C- 43HP	42.14	4.16	15.32
t-test	2.84 [*]	-0.86 ^{ns}	1.36 ^{ns}

Remark ns = Not significant

** = Significant at 0.01 level

* = Significant at 0.05 level

Table 3 t-test comparing average L^* , a^* , b^* value of C-21TD and C-43HA.

	Parameter		
	L^*	a^*	b^*
C-21TD	45.00	2.82	19.32
C- 43HA	43.56	1.88	19.00
t-test	1.36 ^{ns}	0.66 ^{ns}	0.16 ^{ns}

Remark ns = Not significant

** = Significant at 0.01 level

* = Significant at 0.05 level

Table 4 t-test comparing average L^* , a^* , b^* value of C-21TD and C-60HA.

	Parameter		
	L^*	a^*	b^*
C-21TD	45.00	2.82	19.32
C- 60HA	42.94	1.84	20.82
t-test	2.14 ^{ns}	0.78 ^{ns}	-0.90 ^{ns}

Remark ns = Not significant

** = Significant at 0.01 level

* = Significant at 0.05 level

Table 5 t-test comparing average L^* , a^* , b^* value of C-21TD and C-103HA.

	Parameter		
	L^*	a^*	b^*
C-21TD	45.00	2.82	19.32
C- 103HA	43.3	5.42	21.02
t-test	0.96 ^{ns}	-0.84 ^{ns}	-1.39 ^{ns}

Remark ns = Not significant

** = Significant at 0.01 level

* = Significant at 0.05 level

Table 6 t-test comparing average L^* , a^* , b^* value of C-43HP and C-43HA.

	Parameter		
	L^*	a^*	b^*
C-43HP	42.14	4.16	15.32
C- 43HA	43.56	1.88	19.00
t-test	-1.74 ^{ns}	1.84 ^{ns}	-1.08 ^{ns}

Remark ns = Not significant

** = Significant at 0.01 level

* = Significant at 0.05 level

Table 7 t-test comparing average L^* , a^* , b^* value of C-43HP and C-60HA.

	Parameter		
	L^*	a^*	b^*
C-43HP	42.14	4.16	15.32
C- 60HA	42.94	1.84	20.82
t-test	-1.17 ^{ns}	2.21 [*]	-1.71 ^{ns}

Remark ns = Not significant

** = Significant at 0.01 level

* = Significant at 0.05 level

Table 8 t-test comparing average L*, a*, b* value of C-43HP and C-103HA.

	Parameter		
	L*	a*	b*
C-43HP	42.14	4.16	15.32
C- 103HA	43.30	5.42	21.02
t-test	-0.72 ^{ns}	-0.42 ^{ns}	-1.89*

Remark ns = Not significant

** = Significant at 0.01 level

* = Significant at 0.05 level

4 สรุป

การทดสอบลดความชื้นของพืชกัญชาที่อุณหภูมิ 43°C ระบบลดความชื้นแบบอุณหภูมิต่ำแบบระบบปั๊มความร้อนต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการที่ได้พัฒนาตัดแปลงมาจากตู้แช่เย็น สามารถบรรจุตัวอย่างกัญชาต่อรอบไม่เกิน 2 kg พบว่าสามารถลดความชื้นจาก 80% (มาตรฐานเปียก) ให้เหลือความชื้นต่ำกว่า 10% (มาตรฐานเปียก) ด้วยระยะเวลาในการลดความชื้นประมาณ 20 ชั่วโมง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการลดความชื้นด้วยวิธีของเกษตรกรที่ใช้ระยะเวลา 7-14 (อุณหภูมิ 21°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50%) พืชสกุลกัญชาที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ (THC, CBD) และวัดค่าสีเปรียบเทียบกับวิธีของเกษตรกร และการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อน (Hot air) ที่อุณหภูมิ 43, 60 และ 103°C พบว่าปริมาณ THC มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ค่า L* ความสว่าง (lightness) มีความแตกต่างกันระหว่างการลดความชื้นด้วยปั๊มความร้อน (43°C) และการลดความชื้นด้วยวิธีการของเกษตรกร (21°C) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ค่า a* (สีเขียวถึงสีแดง) มีความแตกต่างกันระหว่างการลดความชื้นด้วยปั๊มความร้อน (43°C) และการลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบลมร้อน (60°C) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และ b* (สีน้ำเงินถึงสีเหลือง) มีความแตกต่างกันระหว่างการลดความชื้นด้วยปั๊มความร้อน (43°C) และการลดความชื้นเครื่องลดความชื้นแบบลมร้อน (103°C) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยผลการทดสอบที่ได้จากการศึกษาในเบื้องต้นนี้ จะนำไปเป็นข้อมูลสำหรับการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนสำหรับพืชกัญชา และพืชที่มีมูลค่าสูงต่อไป

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปและกองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร สำหรับสถานที่ สิ่งอำนวยความสะดวกและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย

6 เอกสารอ้างอิง

- สุรจิต ศรีกุล, สมคิด ดำน้อย, สญชัย ขวัญแก้ว และทรงเมธ สังข์น้อย. (2564). คู่มือสำหรับเกษตรกร การผลิตพืชสกุลกัญชา (*Cannabis sativa* L.) เพื่อประโยชน์ทางการแพทย์และอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร
- อานนท์ สายคำฟู. 2566. การออกแบบและพัฒนาระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสำหรับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย (Thai Society of Agricultural Engineering Journal).
- Bonini, S. A., Premoli, M., Tambaro, S., Kumar, A., Maccarinelli, G., Memo, M., & Mastinu, A. 2018. Cannabis sativa: A comprehensive ethnopharmacological review of a medicinal plant with a long history. Journal of Ethnopharmacology, 227, 300-315.
- Chandra, S., Lata, H., ElSohly, M. A., Walker, L. A., & Potter, D. 2017. Cannabis cultivation: Methodological issues for obtaining medical-grade product. Epilepsy & Behavior, 70, 302-312.



การศึกษาและพัฒนาเครื่องหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์มสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทะลายปาล์ม

Study and development on palm oil mesocarp cutting machine for oil palm bunch analysis

ปรีดาพรรณ ไชยศรีชลธาร^{1*}, นายวัชรพงษ์ ตามไรสง¹, ศิริลักษณ์ สมณี² และ ชุศักดิ์ ชาวประดิษฐ์¹

Preedawan Chaisrichonlathan^{1*}, Watcharapong Tamthaisong¹, Siriluk Somnuek² and Chusak Chavapradit¹

¹สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม, กรมวิชาการเกษตร, ปทุมธานี, 12120

¹Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Pathumthani, 12120

²ศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน, อุบลราชธานี, 34000

²Ubon Ratchathani Field Crop Research Center, Field and Renewable Energy Crop Research Institute, Ubon Ratchathani, 34000

*Corresponding author: +66-8-0588-4959, Fax: +66-25-290-664, E-mail: jasmine.1100@hotmail.com

บทคัดย่อ

ทะลายปาล์มประกอบด้วยส่วนที่ให้น้ำมันและไม่ให้น้ำมัน เพื่อให้เกิดความยุติธรรมในการซื้อขายปาล์มของเกษตรกร กรมวิชาการเกษตรจึงกำหนดวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทะลายปาล์มเป็นวิธีมาตรฐานในการสุ่มตัวอย่างผลปาล์มจากทะลายแล้วนำเฉพาะส่วนเปลือกปาล์มหรือส่วนไฟเบอร์น้ำมันปาล์มมาหั่นบาง อบแห้ง แล้วนำมาสกัดน้ำมันด้วยเครื่องวิเคราะห์ไขมัน ในการนี้ต้องหาน้ำหนักของแต่ละส่วนประกอบของทะลายปาล์ม เช่น แกนทะลาย ก้านช่อ ผลปาล์ม เปลือกปาล์มหรือไฟเบอร์น้ำมันปาล์ม กะลาปาล์ม เป็นต้น การแยกเปลือกปาล์มหรือไฟเบอร์น้ำมันออกจากกะลาปาล์มในปัจจุบัน จำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีความชำนาญมาก และเมื่อทำงานไประยะเวลาหนึ่งจะเกิดปัญหานิ้วล็อค ทำให้ต้องการเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์องค์ประกอบทะลาย เครื่องหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์มเป็นส่วนหนึ่งของชุดเครื่องมือดังกล่าว ตัวเครื่องประกอบด้วยช่องป้อนเมล็ดปาล์ม ใบมีดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว ช่องออกของไฟเบอร์น้ำมันแผ่นบางที่ถูกหั่นแล้ว ช่องออกของกะลาปาล์ม และมอเตอร์ ผลการทดลองกับ ผลปาล์มครึ่งละ 25 เม็ดต่อตัวอย่างจำนวน 100 ตัวอย่าง พบว่า สามารถหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์มให้เป็นแผ่นมีความหนาเฉลี่ย 1 มิลลิเมตร มีความเร็วในการทำงาน 11.54 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สามารถหั่นไฟเบอร์น้ำมันได้ถึง 85%

คำสำคัญ: เครื่องหั่น, ไฟเบอร์น้ำมัน, วิเคราะห์องค์ประกอบทะลาย

Abstract

Palm bunches consist of oil and non-oil parts. For commercially fairness, Department of Agriculture has established palm bunches analyzing method as a standard method for statistically sampling palm fruits from bunch sample, and then slicing, drying, and extracting oil with Soxtec system from mesocarp only. These need to know exactly weight of each component of the palm bunch, such as stalk, spikelet, mesocarp, kernel nut etc. Currently, mesocarp was sliced manually from kernel nut by skilled labor. In long time period of work time, most of them occurred finger lock problems. Causing demand for machine set to support palm bunch analyze. One of machine in palm bunch analyze set is palm oil mesocarp cutting machine. The machine consists of a palm fruits feeder, a 10" of diameter of blade, outlet channel for sliced palm oil mesocarp, outlet of the palm kernel and motor. The results of the experiment with 25 palm fruits per sample and testing with 100 samples showed that they could slice palm oil mesocarp into sheets with an averager thickness of 1 millimeter, with a working speed of 11.54 kilogram per hour with 85% of mesocarp cutting

Keywords: cutting machine, palm oil mesocarp, bunch analysis

1 บทนำ

ประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์ปาล์ม ได้แก่ น้ำมันพืช กาก และเศษเหลือสำหรับทำอาหารสัตว์ พืชน้ำมัน มีปริมาณการส่งออก 1.13 billion tons มีมูลค่าส่งออก 52.176 billion baht (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) ผลผลิตปาล์มกว่า

ร้อยละ 80 ใช้ภายในประเทศ โดยสัดส่วนการใช้ไขมันปาล์มดิบในประเทศ ประกอบด้วยอุตสาหกรรมอาหารและน้ำมันพืช 51% ไบโอดีเซล 38% ที่เหลืออีก 11% เป็นอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหาร (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2556) การส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ อยู่ในรูปของน้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และแพรกซ์ น้ำมันปาล์มอื่น น้ำมันปาล์มและแพรกซ์น้ำมันปาล์มผ่าน

กรรมวิธีไฮโดรจิเนชั่น และที่ผ่านกรรมวิธีออกซิเดชั่น รวมทั้งน้ำมันเนื้อในเมล็ดปาล์มที่บริโภคได้ เป็นต้น ทำรายได้เข้าประเทศ 17,646 ล้านบาทต่อปี ผลัดกันส่งออกสูงสุดในรูป น้ำมันปาล์มดิบส่งออกจำนวน 480,082 tonnes คิดเป็น 66 %ของทั้งหมด ทำรายได้เข้าประเทศ 10,866 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566)

การเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันในช่วงที่ปาล์มสุกพอดีจะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์น้ำมันดีที่สุดในที่สุด เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บเกี่ยวปาล์มที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำมัน 21% แทน 17% ที่ผลผลิตเท่ากัน 11.62 Mtonnes จะทำให้ประเทศไทยมีรายได้เพิ่มขึ้น 90,000 ล้านบาทต่อปี เทียบเท่ากับพื้นที่ปลูกปาล์มถึง 781,000 ไร่ (เพ็ญศิริ, 2557) การซื้อขายปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่อยู่ในรูป การซื้อขายทั้งทะลายปาล์มโดยทะลายปาล์มน้ำมันจะประกอบด้วย ก้านทะลาย ก้านทะลายย่อย และผลปาล์มน้ำมัน ผลปาล์มประกอบด้วย เยื่อหุ้มผลหรือเปลือก (Pericarp) มี 3 ชั้น ได้แก่ เปลือกชั้นนอก (Exocarp) ชั้นกลางหรือเส้นใยไฟเบอร์ (Mesocarp หรือ pulp) และชั้นในหรือกะลา (Endocarp) เนื้อผลเป็นส่วนที่รวมเปลือกชั้นนอกและชั้นกลาง ส่วนเมล็ดคือส่วนของกะลาและเนื้อในเมล็ด (Endosperm หรือ kernel) (เรวัต, 2541) ส่วนที่ให้น้ำมันมี 2 ส่วนคือ เปลือกชั้นกลาง (Mesocarp) และส่วนเนื้อในเมล็ด (Endosperm) รัฐบาลไทยมีนโยบายให้ซื้อขายทะลายปาล์มน้ำมันตามเปอร์เซ็นต์น้ำมันในทะลายปาล์ม ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 5702-2552 เรื่อง ทะลายปาล์มน้ำมัน ได้กำหนดวิธีชักตัวอย่าง และกำหนดการวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันจากการสกัดผลปาล์มน้ำมันโดยไม่รวมเนื้อในเมล็ดปาล์มด้วยวิธี American oil chemists society (AOCS) official method Ac-3-44 หลักการ Solvent extraction (Soxtec system) (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2552) แต่เนื่องจากความสุกแก่ของผลปาล์มในทะลายปาล์มไม่เท่ากันทั้งทะลาย โดยมีการสุกจากด้านนอกสุดของทะลายเข้าสู่แกน ทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันของแต่ละผลปาล์มในทะลายปาล์มไม่เท่ากัน กรมวิชาการเกษตรจึงกำหนดวิธีวิเคราะห์หองค์ประกอบทะลายปาล์ม (Bunch analysis) เพื่อเป็นวิธีมาตรฐานในการสุ่มตัวอย่างผลปาล์มจากทะลายแล้วนำมาสกัดน้ำมันด้วยเครื่องวิเคราะห์ไขมัน Soxtec system (Hartley, 1988, อีระ, 2554, กรมวิชาการเกษตร, 2548 และ เบญจมาภรณ์ 2553) ในการนี้ต้องหาน้ำหนักของแต่ละส่วนประกอบของทะลายปาล์ม เช่น แกนทะลาย ก้านช่อ ผลปาล์ม เปลือกปาล์ม กะลาปาล์ม เป็นต้น การแยกเปลือกปาล์มหรือไฟเบอร์น้ำมันปาล์มออกจากกะลาปาล์มในปัจจุบัน ต้องใช้แรงงานที่มีความชำนาญมาก แต่เมื่อทำงานไประยะเวลาหนึ่งจะเกิดปัญหานี้ลื้อคทำให้เกิดความต้องการเครื่องมือช่วยวิเคราะห์หองค์ประกอบทะลาย

งานวิจัยเครื่องหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์มนี้ซึ่งเป็นหนึ่งในงานวิจัยชุดเครื่องมือช่วยวิเคราะห์หองค์ประกอบทะลาย โดยเครื่องหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์มทำงานหลังจากเลือกตัวอย่างเมล็ดปาล์ม 25 เมล็ดต่อตัวอย่าง แล้ว ซึ่งช่วยลดปัญหาด้านแรงงานฝีมือในการวิเคราะห์หองค์ประกอบทะลายปาล์ม และเนื่องจากยังไม่มีการวิจัยเกี่ยวกับเครื่องหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์มทำนองอื่น ทางโครงการวิจัยจึงใช้หลักการการทำงานของเครื่องหั่นผักผลไม้ แต่มีส่วนประกอบพิเศษที่สามารถนำกะลาปาล์มออกได้

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์

เครื่องหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์ม ประกอบด้วย ใบมีดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว ช่องออกของไฟเบอร์น้ำมันที่ถูกหั่นแล้ว ช่องออกของกะลาปาล์ม และมอเตอร์

2.2 วิธีการ

1. ออกแบบและสร้างเครื่องหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์มตาม Figure 1



(A)



(B)

Figure 1 Drawing of palm oil mesocarp cutting machine; (A) Outside of the machine (1) Palm fruits feeder (2) Outlet channel for sliced palm oil mesocarp and (b) Inside of the machine (3) Blade

2. ทำการทดสอบหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์มด้วยเครื่องหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์ม จำนวนตัวอย่างละ 25 ผล จำนวน 100 ตัวอย่าง ตามมาตรฐานการสุ่มตัวอย่างในวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลาย ทำการทดสอบเวลาในการหั่นที่เหมาะสมในการหั่นไฟเบอร์ให้เหลือเปลือก (mesocarp) ติดกะลาให้น้อยที่สุด หลังทดสอบในแต่ละตัวอย่างต้องทำความสะอาดเปลือก (mesocarp) ด้วยแปรงขัดและเป่าลมทุกครั้งก่อนทดสอบตัวอย่างต่อไป คำนวณประสิทธิภาพในการทำงานในการหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์ม ตามสมการที่ 1

$$C = \frac{(M \times 100)}{T} \quad (1)$$

โดยที่

C คือ ประสิทธิภาพในการทำงานในการหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์ม

M คือ น้ำหนักแผ่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์มที่ออกจากเครื่องหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์ม (g)

T คือ น้ำหนักไฟเบอร์น้ำมันปาล์มจากเครื่องหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์มและแรงงานกลส่วนที่เหลือ (g)

3 ผลและวิจารณ์

เม็ดปาล์มประกอบด้วยเยื่อหุ้มผลหรือเปลือก (Pericarp) มี 3 ชั้น ได้แก่ เปลือกชั้นนอก (Exocarp) ชั้นกลางหรือเส้นใยไฟเบอร์น้ำมัน (Mesocarp หรือ pulp) และชั้นในหรือกะลา (Endocarp) เนื้อผลเป็นส่วนที่รวมเปลือกชั้นนอกและชั้นกลาง ส่วนเมล็ดคือส่วนของกะลาและเนื้อในเมล็ด (Endosperm หรือ kernel) (เรวัต, 2541) ส่วนที่ให้น้ำมันมี 2 ส่วนคือ เปลือกชั้นกลาง (Mesocarp) และส่วนเนื้อในเมล็ด (Endosperm) (Figure 2) ผลการทดสอบหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์ม Figure 3

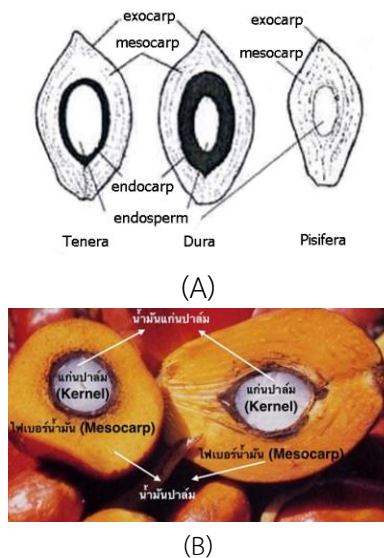


Figure 2 Internal characteristics of palm oil seed
(ภาควิชาพืชไร่, 2557 และ เอเอสทีวี ผู้จัดการออนไลน์, 2556)

เนื่องจากวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลายจำเป็นต้องแยกกะลาปาล์มกับเปลือกปาล์ม (mesocarp) ออกจากกันให้หมด จึงใช้แรงงานกลแยกกะลาปาล์มที่เหลือได้ผลตาม Figure 4 เพื่อนำน้ำหนักของส่วนประกอบปาล์มต่างๆ เช่น เมล็ดในปาล์ม เปลือกปาล์มหรือไฟเบอร์น้ำมันปาล์ม น้ำหนักผลปาล์ม ก้านช่อ ทะลายปาล์ม ไปคำนวณองค์ประกอบหลายปาล์มต่อไป

ผลการทดสอบเครื่องหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์ม ใช้สูตรคำนวณประสิทธิภาพในการทำงานในการหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์มตามสมการที่ 1 พบว่า ประสิทธิภาพในการทำงานในการหั่นไฟเบอร์น้ำมันปาล์ม 85 เปอร์เซ็นต์ และมีความเร็วในการทำงานเฉลี่ย 11.54 กิโลกรัมต่อชั่วโมง



(A)



(B)

Figure 3 palm oil mesocarp cutting machine; (1) Outlet channel for sliced palm oil mesocarp and (2) Outlet of the palm kernel



Figure 4 Sliced palm oil fiber mesocarp and palm kernels from palm oil mesocarp cutting machine

4 สรุป

เครื่องหันไฟเบอร์น้ำมันปาล์มเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องมือช่วยวิเคราะห์ห้องค้ประกอบหลาย มีความเร็วในการทำงานเฉลี่ย 11.54 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งมีความเร็วกว่าแรงงานคนถึง 3 เท่า ประสิทธิภาพการทำงานในการนำไฟเบอร์น้ำมันปาล์มออกคือ 85 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สามารถช่วยลดปัญหานี้ลื้อคและความต้องการใช้แรงงานที่มีความชำนาญในการหันแยกเปลือกปาล์มหรือไฟเบอร์น้ำมันปาล์มออกจากกะลาปาล์ม ต้นทุนเครื่องราคา 50,000.- บาท สามารถคุ้มทุนภายใน 1 ปี

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ในการสนับสนุนทุนวิจัยวิจัยและพัฒนาเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มด้วยหัววัดแบบกดปลายแหลมสำหรับโรงงานน้ำมันปาล์มและแบบปากกาสำหรับเกษตรกร ซึ่งบทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการดังกล่าว

6 เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2548. เอกสารวิชาการ ปาล์มน้ำมัน. เอกสารวิชาการลำดับที่ 16/2547 ISBN 974-436-315-7 พิมพ์ครั้งที่ 2 สิงหาคม 2548 ชุมชุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย
- ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2554. อัตราพันธุกรรมและสหสัมพันธ์ของลักษณะเชิงปริมาณ ในการปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมัน หน้า 259-308. สงขลา : ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เบญจมาภรณ์ พิมพ์. 2553 โครงการศึกษาปริมาณน้ำมันในทะลายปาล์มสุกและสภาวะการบ่มที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณน้ำมันปาล์มดิบในจังหวัดสุราษฎร์ธานี รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สกว.

เพ็ญศิริ จำรัสฉาย. 2557. ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม ใครได้ใครเสีย. ในการอภิปราย “ปาล์มน้ำมันไทยแข่งขันได้ด้วยวิชาการ – ประเทศก้าวหน้า เกษตรกรมั่นคง” ห้องประชุมมนตรี รุมาคม ชั้น 4 อาคารเฉลิมพระเกียรติ สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร วันที่ 30 พฤษภาคม 2557

ภาควิชาพืชไร่. 2557. บทปฏิบัติการที่ 18 ปาล์มน้ำมัน (oil palm). คณะเกษตรกำแพงแสน แหล่งข้อมูล : http://agri.kps.ku.ac.th/agron/main.php?pg=chapter&et_id=18&_id=1 เข้าถึงเมื่อ 5 กรกฎาคม 2560

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2556 จากปาล์มน้ำมันสู่ น้ำมันปาล์ม แหล่งข้อมูล : http://www.nstda.or.th/nac2_0_1_3/_download/presentation/NAC2013_Set2/CO-113-03/Kewalin%20.pdf เข้าถึงเมื่อ 5 กรกฎาคม 2560

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตร, 2552. ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร : ทะลายปาล์มน้ำมัน มกษ. 5702-2552 จำนวน 7 หน้า

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566. ข้อมูลการส่งออกปาล์มน้ำมัน. แหล่งข้อมูล : <https://oae.go.th/view/1/siteunderconstruction/TH-TH>. เข้าถึงเมื่อ 15 มีนาคม 2567.

เอเอสทีวี ผู้จัดการออนไลน์, 2556 ปฏิวัติน้ำมันพืช โดย ปานเทพ พัวพงษ์พันธ์ แหล่งข้อมูล : <http://www.manager.co.th/Home/ViewNews.aspx?NewsID=9560000127603> ลงวันที่ 10 ตุลาคม 2556 เข้าถึงเมื่อ 5 กรกฎาคม 2560.

Hartley C.W.S. 1988. The Oil Palm. 2nd Longman Publishers Ltd., London. 706 pp.



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 26 วันที่ 18 – 19 กันยายน 2568

ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1 กรมส่งเสริมการเกษตร กรุงเทพมหานคร

TSAE
2025

การวิจัยและพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดข้าวเปลือก สำหรับการทดสอบเพื่อประเมินเครื่องเกี่ยวนวดข้าว
มาตรฐาน มอก. 1428-2560

Research and develop a paddy separator for testing purposes to evaluate rice combine
harvesters according to TIS 1428-2560 standard

ศักดิ์ชัย อาษาวัง^{1*}, เวียง อากรชี¹, กลวัชร ทิมินกุล¹, วัชรพงษ์ ตามไธสง¹, ทิวักร กาลจักร¹, ยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์²,
พัทธวิภา สุทธิวาริ³, ธารารัตน์ มณีน่วม⁴, ชัยรัตน์ จันทรหนู⁵

Sakchai Arsawang^{1*}, Weang Arkorchee¹, Kolawat Timingkul¹, Watcharapong Tamthaisong¹,

Tiwakorn Kalachak¹, Yutthana Khruehan-phanpong², Pakwipa Sutthiwari³, Thararat Manee-nuam⁴,

Chairat Channu⁵

¹ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น, ขอนแก่น, 40000

²สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม, กรุงเทพมหานคร, 10900

³ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี, จันทบุรี, 22000

⁴ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, ปทุมธานี, 12120

⁵ศูนย์วิจัยข้าวชัยนาท, ชัยนาท, 17000

¹Khonkaen Agricultural Engineering Research Center, Khonkaen, 40000

²Agricultural Engineering Research Institute, Bangkok, 10900

³Agricultural Engineering Research Center Chanthaburi, Chanthaburi, 22000

⁴Pathum Thani Rice Research Center, Pathum Thani, 12120

⁵Chai Nat Rice Research Center, Chai Nat, 17000

*Corresponding author: Tel: +66-8-9422-2535, Fax: +66-43-255-038, E-mail: sakchaiaw@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มุ่งพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดข้าวเปลือกออกจากฟางของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว เพื่อประเมินประสิทธิภาพเครื่องเกี่ยวนวดข้าวตามมาตรฐาน มอก. 1428-2560 เครื่องต้นแบบประกอบด้วยชุดตะแกรงร่อนและชุดต้อน โดยศึกษาผลของสองปัจจัยหลัก ได้แก่ อัตราส่วนเมล็ดต่อวัสดุที่ไม่ใช่เมล็ด (MOG = 0.004, 0.008 และ 0.013) และระยะห่างระหว่างซี่นวดกับตะแกรงบน (UC = 80, 120, 160 และ 200 mm) การทดสอบในห้องปฏิบัติการดำเนินการด้วยข้าวพันธุ์เดียว โดยเตรียมตัวอย่างให้ได้ MOG ตามแผนการทดลอง ผลการวิเคราะห์พบว่า ชุดนวดที่ UC = 120 mm และ MOG = 0.008 ให้ประสิทธิภาพการแยกเมล็ดสูงสุด 96.79 % และความสะอาดของเมล็ด 93.06 % ขณะที่ชุดตะแกรงร่อนที่ MOG = 0.013 ให้ประสิทธิภาพการแยกเมล็ด 95.30 % แต่ความสะอาดเมล็ดลดลงเหลือ 89.98 % การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบ Pearson พบว่า UC มีความสัมพันธ์เชิงลบสูงกับประสิทธิภาพการแยกเมล็ด ($r = -0.88$) และความสะอาดของเมล็ด ($r = -0.92$) การทดสอบภาคสนามในข้าวสามพันธุ์ชี้ว่า กข 49 ให้ผลดีที่สุด (ประสิทธิภาพการแยกเมล็ดของชุดนวด 93.61 %, ความสูญเสียจากการนวดของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวที่เก็บตัวอย่าง 1.29 %) ทั้งนี้ฟางที่มีความชื้นสูงในแปลงจริงส่งผลให้เกิดการม้วนติดในลูกนวด ซึ่งสามารถแก้ไขโดยลด UC เหลือ 100 mm เครื่องต้นแบบนี้มีศักยภาพสูงในการใช้งานจริง และสามารถปรับให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมภาคสนามที่เปลี่ยนแปลงได้

คำสำคัญ: เครื่องแยกเมล็ดข้าวเปลือก, การทดสอบเครื่องเกี่ยวนวดข้าว, มอก. 1428-2560

Abstract

This study aimed to develop a rice-straw separation device for combine harvesters and evaluate its performance in accordance with TIS 1428-2017 standards. The prototype consisted of a sieve unit and a peg-tooth threshing unit. Two key factors were investigated: the grain-to-material other than grain ratio (MOG = 0.004, 0.008 and 0.013) and the clearance between the peg tooth and the upper concave (UC = 80, 120, 160 and 200 mm). Laboratory experiments with a single rice variety revealed that the threshing unit at UC = 120 mm and MOG = 0.008 achieved the highest separation efficiency of 96.79% and grain cleanliness of 93.06 %. The sieve unit at MOG = 0.013 yielded a separation efficiency of 95.30 %, but grain cleanliness decreased to 89.98 %. Pearson's

correlation analysis showed a strong negative relationship between UC and both separation efficiency ($r = -0.88$) and grain cleanliness ($r = -0.92$). Field tests with three rice varieties indicated that กข49 performed best, with a threshing separation efficiency of 93.61 % and combine harvester threshing loss of 1.29 %. High-moisture straw in actual fields caused wrapping around the threshing cylinder, which could be mitigated by reducing UC to 100 mm. The prototype demonstrated strong potential for practical use and adaptability to varying field conditions.

Keywords: paddy separation device, combine harvester testing, TIS 1428-2017

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาเกษตรกรรมสมัยใหม่ของประเทศไทยต้องอาศัยเครื่องจักรกลเกษตรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดความเหนื่อยยากของเกษตรกร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องเกี่ยวนวดข้าว ซึ่งมีบทบาทสำคัญในระบบการผลิตข้าวของประเทศไทย เพิ่มประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยวและลดการพึ่งพาแรงงานคน อย่างไรก็ตาม ความสูญเสียจากการใช้เครื่องเกี่ยวนวดในการเก็บเกี่ยวข้าวต่างพันธุ์ยังคงเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไข

การควบคุมคุณภาพเครื่องเกี่ยวนวดข้าวให้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 1428-2560 จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรกรรมของประเทศ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ได้ดำเนินการก่อตั้งห้องปฏิบัติการทดสอบเครื่องเกี่ยวนวดข้าวแห่งแรกของประเทศไทย ณ ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น ตั้งแต่ปี 2562 เพื่อรองรับความต้องการของบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายเครื่องเกี่ยวนวดข้าวของประเทศไทย

1.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความสูญเสียจากเครื่องเกี่ยวนวดข้าว

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดความสูญเสียจากการเกี่ยวข้าวด้วยเครื่องเกี่ยวนวดประกอบด้วย 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ 1. สภาพพืช (พันธุ์ข้าว ความชื้นเมล็ด มุมเอียงต้นข้าว อัตราส่วนเมล็ดต่อวัสดุที่ไม่ใช่เมล็ด และความหนาแน่นต้นข้าว) 2. สภาพการทำงานของเครื่องเกี่ยวนวด (ปัจจัยการทำงานของชุดหัวเกี่ยวและชุดนวด) (วินิต และคณะ, 2544; Andrews et al., 1993; Yore et al., 2002)

1.2.2 ลักษณะความสูญเสียตามพันธุ์ข้าว

งานวิจัยของ วินิต และคณะ (2542) เผยให้เห็นความแตกต่างของรูปแบบความสูญเสียระหว่างข้าวพันธุ์ต่าง ๆ อย่างชัดเจนสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่เมล็ดร่วงง่าย พบว่ามีความสูญเสียเฉลี่ยร้อยละ 4.81 โดยความสูญเสียส่วนใหญ่เกิดจากหัวเกี่ยว (ร้อยละ 2.00 - 3.43) ในขณะที่ความสูญเสียจากการนวดมีเพียงร้อยละ 0.0062 - 0.0215

ตรงกันข้ามกับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ลูกผสมและเมล็ดข้าวร่วงยาก มีความสูญเสียเฉลี่ยร้อยละ 6.25 โดยความ

สูญเสียส่วนใหญ่เกิดจากการคัดแยกและทำความสะอาด (ร้อยละ 5.36) ขณะที่ความสูญเสียจากหัวเกี่ยวมีเพียงร้อยละ 0.64 (วินิต และคณะ, 2544) ความแตกต่างนี้แสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีปัญหาความสูญเสียจากชุดหัวเกี่ยวเป็นหลัก ในขณะที่ข้าวพันธุ์ลูกผสมมีปัญหาความสูญเสียจากชุดนวดเป็นสำคัญ

1.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของชุดนวด

การศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อความสูญเสียจากชุดนวดพบว่า สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ ปัจจัยจากการใช้งานและการปรับแต่ง (มีอิทธิพลประมาณร้อยละ 17) และปัจจัยจากการออกแบบชุดนวด (มีอิทธิพลประมาณร้อยละ 83) (สมชาย และวินิต, 2554)

ปัจจัยจากการใช้งานและการปรับแต่งที่สำคัญประกอบด้วย มุมครีบกวนเดือนจากแนวเพลาลูกนวด (ร้อยละ 7.11) ความชื้นของเมล็ด (ร้อยละ 5.72) อัตราการป้อน (ร้อยละ 3.14) ความเร็วเชิงเส้นปลายชุดนวด (ร้อยละ 0.42) และอัตราส่วนเมล็ดต่อวัสดุที่ไม่ใช่เมล็ด (ร้อยละ 0.37) (Chuan-udom & Chinsuwan, 2012)

สำหรับปัจจัยจากการออกแบบชุดนวด พบว่ามีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าว โดยสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุด คือ จำนวนชุดนวด (ร้อยละ 30.43) ตามด้วยระยะห่างระหว่างชุดนวดกับตะแกรงนวดด้านข้าง (ร้อยละ 28.20) และระยะห่างระหว่างชุดนวดกับตะแกรงบน (ร้อยละ 27.31) (สมชาย และวินิต, 2554) ขณะที่สำหรับข้าวชัยนาท 1 ช่องว่างระหว่างชุดตะแกรงนวดมีอิทธิพลมากที่สุด (ร้อยละ 27.54) ตามด้วยระยะห่างระหว่างชุดนวดกับตะแกรงนวดด้านข้าง (ร้อยละ 25.86) และระยะห่างระหว่างชุดนวดกับตะแกรงนวดล่าง (ร้อยละ 20.29) (Chuan-udom & Chinsuwan, 2012)

1.3 ปัญหาในการทดสอบความสูญเสียเมล็ดข้าวปัจจุบัน

มี 3 สาเหตุหลัก ประกอบด้วย

1.3.1 ข้อกำหนดการทดสอบตามมาตรฐาน

การทดสอบความสูญเสียเมล็ดข้าวเปลือกจากการเกี่ยวนวดในภาคสนามตาม มอก. 1428-2560 กำหนดให้ความสูญเสียรวมไม่เกินร้อยละ 3 ซึ่งประกอบด้วย 1.ความสูญเสียก่อนเกี่ยว 2. ความสูญเสียจากหัวเกี่ยว 3. ความสูญเสียจากการนวด และ 4. ความสูญเสียจากการคัดแยกและทำความสะอาด ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างความสูญเสียจากการนวด การคัดแยกและทำความสะอาด

สะอาด ต้องใช้มุ้งตาข่ายดักเก็บเมล็ดและฟางที่ถูกขับจากตะแกรงทำความสะอาดและที่ถูกขับออกจากช่องปล่อยฟางเป็นระยะทาง 20 เมตร

จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าเมล็ดที่ถูกขับออกราว 0.82 กิโลกรัม และมีฟางราว 103 กิโลกรัม อัตราส่วนเมล็ดต่อวัสดุที่ไม่ใช่เมล็ดที่ได้จากการทดสอบมีค่าประมาณ 0.008 ต่อ 1 ซึ่งต่ำมาก ทำให้การคัดแยกเมล็ดออกจากฟางด้วยแรงงานคนใช้เวลานานและมีโอกาสเกิดความผิดพลาดสูงมาก

1.3.2 ข้อจำกัดของวิธีการปัจจุบัน

การคัดแยกเมล็ดข้าวเปลือกออกจากฟางด้วยเครื่องนวดข้าวทั่วไปยังมีข้อจำกัดเมื่อใช้ในการประเมินความสูญเสียของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว เนื่องจากประสิทธิภาพการคัดแยกขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ระยะห่างระหว่างซี่นวดกับตะแกรงบนและล่าง ระยะห่างซี่ตะแกรงนวด ความเร็วรอบของลูกนวด มุมครีบนวด และอัตราการป้อน ร่วมกับความชื้นของเมล็ดและฟางซึ่งส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลการคัดแยก การใช้แรงงานคนในการคัดแยกแม้จะทำได้ แต่มีความเสี่ยงต่อความผิดพลาดและอคติ ส่งผลให้การประเมินการสูญเสียไม่เป็นมาตรฐาน ทั้งที่เกณฑ์การสูญเสียรวมของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวในภาคสนามไม่ควรเกิน 3% โดยการสูญเสียเกิดจากกระบวนการนวด การคัดแยก และการทำความสะอาดเป็นหลัก ปัจจุบันการประเมินยังคงพึ่งพาแรงงานคนซึ่งใช้เวลานานและอาจขาดความแม่นยำ

1.4 ความสำคัญของเครื่องมือทดสอบที่ได้มาตรฐาน

ปัจจัยที่จะทำให้ได้ห้องปฏิบัติการทดสอบที่มีคุณภาพต้องประกอบไปด้วยบุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญ และที่สำคัญคืออุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดทดสอบในการประเมินผลให้เป็นไปตามข้อกำหนดจึงมีความสำคัญมาก ปัญหาการขาดเครื่องมือมาตรฐานทำให้การประเมินการสูญเสียไม่ได้มาตรฐานไม่ได้รับการยอมรับ อาจมีการเอื้อประโยชน์หรือกลั่นแกล้งต่อบริษัทที่รับการทดสอบได้ ซึ่งส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของห้องปฏิบัติการทดสอบ

ห้องปฏิบัติการทดสอบเครื่องเกี่ยวนวดข้าว มาตรฐาน มอก. 1428-2560 ของศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น เป็นแห่งแรกและแห่งเดียวของประเทศไทย ณ ปัจจุบัน ซึ่งคาดว่าจะสามารถรับความต้องการของบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายเครื่องเกี่ยวนวดข้าวของประเทศไทย ในอนาคตคาดว่าเครื่องเกี่ยวนวดข้าวที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน มอก. 1428-2560 อาจจะเป็นข้อกำหนดหนึ่งในการกำหนดคุณลักษณะของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวในการจัดซื้อจัดจ้าง และสร้างความเชื่อมั่นต่อลูกค้าทั้งผู้ซื้อใช้งานและเกษตรกรเจ้าของแปลงข้าว

1.5 ช่องว่างทางวิชาการและความจำเป็นของการวิจัย

แม้ว่าจะมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อความสูญเสียจากเครื่องเกี่ยวนวดข้าวอย่างแพร่หลาย แต่ยังคงขาดเครื่องมือมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของการคัดแยกเมล็ดข้าวเปลือกออกจากฟางภายหลังการเก็บเกี่ยว การขาดเครื่องมือมาตรฐานสำหรับการทดสอบเครื่องเกี่ยวนวดข้าวตามมาตรฐาน มอก. 1428-2560 ส่งผลให้เกิดความไม่แน่นอนในการประเมินประสิทธิภาพ ความไม่สม่ำเสมอของผลการทดสอบ และความไม่น่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องเกี่ยวนวดข้าวในอนาคต

จากการศึกษาปัญหาดังกล่าวข้างต้น เห็นได้ว่าการพัฒนาเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวเปลือกสำหรับการทดสอบเพื่อประเมินเครื่องเกี่ยวนวดข้าว มาตรฐาน มอก. 1428-2560 จะช่วยให้มีเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการทดสอบที่ได้มาตรฐาน ลดความผิดพลาด และเพิ่มความน่าเชื่อถือในการประเมินรถเกี่ยวนวดข้าว

1.6 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ:

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการคัดแยกเมล็ดข้าวเปลือกออกจากฟางในสภาพที่มีอัตราส่วนเมล็ดต่อวัสดุที่ไม่ใช่เมล็ดต่ำ
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวเปลือกที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการทดสอบเครื่องเกี่ยวนวดข้าว
3. เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวเปลือกที่พัฒนาขึ้นให้สอดคล้องกับมาตรฐาน มอก. 1428-2560
4. เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวเปลือกที่พัฒนาขึ้น

1.7 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้มีขอบเขตดังนี้:

1. การศึกษาจำกัดเฉพาะข้าวพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ 105 ชัยนาท 1 และข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 หรือข้าวที่นิยมปลูกในประเทศไทย
2. การทดสอบประสิทธิภาพการคัดแยกในช่วงอัตราส่วนเมล็ดต่อวัสดุที่ไม่ใช่เมล็ดตั้งแต่ 0.008 ถึง 0.013 ต่อ 1
3. การพัฒนาเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวเปลือกให้สอดคล้องกับเงื่อนไขการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 1428-2560
4. การประเมินประสิทธิภาพในห้องปฏิบัติการภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้
5. การศึกษาการใช้งานเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวเปลือกเฉพาะในกระบวนการทดสอบเครื่องเกี่ยวนวดข้าว ไม่รวมถึงการใช้งานเชิงพาณิชย์

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การวิจัยนี้คาดว่าจะได้เครื่องมือทดสอบที่มีความแม่นยำสูง ลดความผิดพลาดในการประเมิน และเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบเครื่องเกี่ยวนวดข้าว ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลการเกษตรและการยกระดับมาตรฐานการทดสอบในประเทศไทย หากมีการวิจัยและพัฒนาเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวเปลือกสำหรับการทดสอบเพื่อประเมินเครื่องเกี่ยวนวดข้าว มาตรฐาน มอก. 1428-2560 จะทำให้มีเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการทดสอบที่ได้มาตรฐาน ลดความผิดพลาด และน่าเชื่อถือในการประเมินรถเกี่ยวนวดข้าวในส่วนการสูญเสียเมล็ดข้าวได้อย่างดีสำหรับห้องปฏิบัติการทดสอบเครื่องเกี่ยวนวดข้าว

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์วัดและประเมินผล

เครื่องชั่งดิจิตอลพิกัด 3 kg (ความละเอียด 0.1 g) สำหรับตัวอย่างขนาดเล็ก และเครื่องชั่งดิจิตอลพิกัด 60 kg (ความละเอียด 2 g) สำหรับตัวอย่างขนาดใหญ่ เครื่องมือวัดประกอบด้วย ตู้อสำหรับหาความชื้นเมล็ดและฟางข้าวที่นาฬิกาจับเวลา เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า และเครื่องมือวัดขนาดต่าง ๆ รวมถึงเครื่องมือช่างโรงงานสำหรับการปรับแต่งและซ่อมบำรุง

2.2 วิธีการ

ดำเนินการวิจัยเป็นขั้นตอน ประกอบด้วย การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคัดแยกเมล็ดข้าวเปลือกออกจากฟาง การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการ ทดสอบเครื่องต้นแบบ และคัดเลือกภาวะที่เหมาะสม เพื่อนำต้นแบบไปทดสอบระดับภาคสนาม และการสรุปรายงานผลการวิจัย มีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการ

มีความสามารถในการคัดแยกเมล็ดไม่น้อยกว่า 300 kg h⁻¹ พิจารณาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ ชุดตะแกรงร่อนสำหรับคัดแยกเมล็ดข้าวที่ร่วงหลุดจากรวงแล้ว แลพชุดต้นนวดสำหรับคัดแยกเมล็ดข้าวที่ยังติดอยู่กับรวง ต้นกำลังเป็นเครื่องยนต์เบนซินขนาด 5.5 แรงม้า

2.2.2 วิธีการทดสอบระดับห้องปฏิบัติการ

ปัจจัยที่ศึกษามี 2 ปัจจัย ประกอบด้วย

1.UC: ระยะห่างระหว่างปลายขึ้นนวดกับตะแกรงบน (80, 120, 160 และ 200 mm)

2. MOG: อัตราส่วนเมล็ดต่อฟาง (0.004, 0.008 และ 0.013) โดยใช้แผนการทดลอง 4 × 3 factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ เพื่อวิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยกเมล็ด (%) และ ความสะอาดของเมล็ดข้าว (%) ทั้งในส่วนของคุณสมบัติการร่อนสำหรับคัดแยกเมล็ดข้าวที่ร่วงหลุดจากรวงแล้ว และชุดนวดสำหรับคัดแยกเมล็ดข้าวที่ยังติดรวง หาความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างปัจจัย และค่าชี้ผล

วัสดุทดสอบ ใช้ข้าวพิษณุโลก 2 ข้าวชัยนาท 1 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 หรือข้าวที่นิยมปลูกในพื้นที่ ตามมาตรฐาน มอก.1428-2560 เตรียมตัวอย่าง 30 kg โดยแยกเป็นฟาง เมล็ดข้าว และเมล็ดข้าวติดรวง (ทำสัญลักษณ์ที่ฟางข้าวที่เมล็ดติดรวง) ผสมกับฟางให้สม่ำเสมอ โดยให้มี MOG: อัตราส่วนเมล็ดต่อฟาง (0.004, 0.008 และ 0.013) ตามแผนการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบ เริ่มด้วยการนำตัวอย่างทดสอบกับเครื่องต้นแบบเพื่อคัดแยกเมล็ดในส่วนของการคัดแยกเมล็ดด้วยตะแกรงร่อน ส่วนเมล็ดติดรวงจะผ่านเข้าไปนวดแยกเมล็ดที่ชุดนวดเมล็ดติดรวง ซึ่งน้ำหนักเมล็ดและฟางที่ช่องรับเมล็ด และชั่งน้ำหนักเมล็ดที่ช่องเป่าลมที่สูญเสียไปของทั้งสองส่วนการทำงาน

ประสิทธิภาพการคัดแยกของส่วนตะแกรงร่อนแยกเมล็ดคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างเมล็ดที่คัดแยกได้ในช่องรับเมล็ดกับผลรวมของเมล็ดสูญเสียที่ช่องเป่าลมกับเมล็ดในช่องรับเมล็ด

ความสะอาดของเมล็ดของส่วนตะแกรงร่อนแยกเมล็ดคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างเมล็ดในช่องรับเมล็ดกับผลรวมของเมล็ดและฟางในช่องรับเมล็ด

ประสิทธิภาพการคัดแยกของส่วนนวดเมล็ดติดรวง คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างเมล็ดที่คัดแยกได้ในช่องรับเมล็ดกับผลรวมของเมล็ดสูญเสียที่ช่องเป่าลมและช่องขับฟางกับเมล็ดในช่องรับเมล็ดของชุดนวดเมล็ดติดรวง

ความสะอาดของเมล็ดของส่วนนวดเมล็ดติดรวง คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างเมล็ดในช่องรับเมล็ดกับผลรวมของเมล็ดและฟางในช่องรับเมล็ดของชุดนวดเมล็ดติดรวง

2.2.3 วิธีการทดสอบในภาคสนาม

เลือกกรรมวิธีที่ให้ผลดีที่สุดจากห้องปฏิบัติการ มาทดสอบในภาคสนามฤดูกาลนาปรัง 3 แปลง (ข้าวพิษณุโลก 2 หรือข้าวชัยนาท 1 หรือข้าวที่นิยมปลูกในพื้นที่) ใช้แผนการทดลอง RCBD จำนวน 3 ซ้ำ เก็บตัวอย่างท้ายเครื่องเกี่ยวนวดข้าวตามความกว้างหัวเกี่ยว ระยะการเกี่ยว 20 m นำตัวอย่างมาทดสอบกับเครื่องต้นแบบ ชั่งน้ำหนักเมล็ดและฟางที่ช่องรับเมล็ด และชั่งน้ำหนักเมล็ดที่ช่องเป่าลมที่สูญเสียไปของทั้งสองส่วน

ประสิทธิภาพการคัดแยกของส่วนตะแกรงร่อนแยกเมล็ดคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างเมล็ดที่คัดแยกได้ในช่องรับเมล็ดกับผลรวมของเมล็ดสูญเสียที่ช่องเป่าลมกับเมล็ดในช่องรับเมล็ด

ความสะอาดของเมล็ดของส่วนตะแกรงร่อนแยกเมล็ด คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างเมล็ดในช่องรับเมล็ดกับผลรวมของ เมล็ดและฟางในช่องรับเมล็ด

ประสิทธิภาพการคัดแยกของส่วนนวดเมล็ดโดยตรง คำนวณ จากอัตราส่วนระหว่างเมล็ดที่คัดแยกได้ในช่องรับเมล็ดกับผลรวม ของเมล็ดสูญเสียที่ช่องเป่าลมและช่องขับฟางกับเมล็ดในช่องรับ เมล็ดของชุดนวดเมล็ดโดยตรง

ความสูญเสียจากการคัดแยกและทำความสะอาดของเครื่อง เกี่ยวนวดข้าวที่เก็บตัวอย่าง คำนวณจากอัตราส่วนเมล็ดที่ได้จาก ช่องรับเมล็ดรวมกับเมล็ดที่สูญเสียของชุดตะแกรงแยกเมล็ดจาก เครื่องต้นแบบหารด้วยผลผลิตต่อไร่ของแปลงทดสอบ บนฐาน พื้นที่เก็บตัวอย่างเท่ากัน

ความสูญเสียจากการนวดของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวที่เก็บ ตัวอย่าง คำนวณจากอัตราส่วนเมล็ดที่ได้จากช่องรับเมล็ดรวมกับ เมล็ดที่สูญเสียของชุดนวดแยกเมล็ดโดยตรงจากเครื่องต้นแบบหาร ด้วยผลผลิตต่อไร่ของแปลงทดสอบ บนฐานพื้นที่เก็บตัวอย่าง เท่ากัน

3 ผลและวิจารณ์

ผลการวิจัยประกอบด้วย ผลการออกแบบและสร้างต้นแบบ ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการ และผลการ ทดสอบเครื่องต้นแบบระดับภาคสนาม

3.1 ผลการออกแบบและสร้างต้นแบบ

ส่วนประกอบหลักของเครื่องต้นแบบ

1. ระบบตะแกรงร่อนคัดแยกเมล็ดที่หลุดจากรวงแล้ว ประกอบด้วยตะแกรงรูลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 mm ระยะ ชัก 37 mm ความเร็วเชิงเส้น 0.17 ms^{-1} มีช่องดักเก็บเมล็ดที่ร่วง จากตะแกรง และพัดลมแบบหอยโข่งสำหรับเป่าเมล็ดลีบและเศษ ฟางออกจากช่องเป่าลม

2. ระบบนวดและคัดแยกเมล็ดที่ยังติดรวง ประกอบด้วย ลูกนวดเส้นผ่าศูนย์กลาง 155 mm ชี้นวดเหล็กเส้นกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 mm ความยาว 80 mm และ 70 mm วาง สลับกัน จำนวน 4 แถบ ความเร็วเชิงเส้นปลายชี้นวด 6.60 ms^{-1} ตะแกรงนวดล่างมีรัศมีความโค้ง 390 mm ช่องว่างระหว่างชี้นวด 20 mm ระยะห่างระหว่างชี้นวดกับตะแกรงนวดล่าง 11 mm ตะแกรงบนปรับระยะห่าง UC ได้ 4 ระดับ: 80, 120, 160 และ 200 mm ความยาวตะแกรงนวด 450 mm มีครีบบางเดือน 3 ครีบ ติดตั้งจากด้านป้อนถึงด้านขับฟาง เอียงทำมุมกับแนว แกนเพลลา 60° , 70° และ 70° ห่างกัน 16 mm ระบบทำความสะอาด ใช้ชุดพัดลมแบบหอยโข่งเป่าลมจากด้านล่างผ่านรู ตะแกรงโยกแบบรูลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 mm ระยะชัก 22 mm ความเร็วเชิงเส้น 0.10 ms^{-1} เป่าเมล็ดลีบและเศษฟางออก ทางช่องเป่าลม พร้อมโครงเหล็กฐานเครื่องและฝาครอบป้องกัน

เมล็ดกระเด็น เมล็ดที่ถูกนวดร่วงผ่านตะแกรง มีเกลียวลำเลียง เมล็ดดีสำหรับลำเลียงเมล็ดที่คัดแยกแล้วสู่ช่องเก็บเมล็ด ระบบ ขับฟางประกอบด้วยใบพัดขับฟางแบบใบตรงสลับกัน 6 ใบ กว้าง 80 mm ยาว 150 mm แบบและเครื่องต้นแบบแสดงดัง figure 1



Figure 1 drawing and prototype of rice separator

3.2 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการ

ผลการทดสอบแยกเป็นการทดสอบชุดตะแกรงร่อนแยกเมล็ด สำหรับเมล็ดที่หลุดจากรวงแล้ว โดยทดสอบเฉพาะปัจจัยของ MOG และทดสอบชุดนวดเพื่อคัดแยกเมล็ดที่ยังติดรวงโดย ทดสอบทั้งปัจจัยจาก MOG และ UC

3.2.1 ผลการทดสอบชุดตะแกรงร่อนแยกเมล็ดที่หลุดจากรวง

โดยทั่วไป หากประสิทธิภาพการคัดแยกสูง อาจทำให้ความ สะอาดลดลงเพราะอาจมีฟางปนมาเพิ่มขึ้น ผลวิเคราะห์ข้อมูล ทางสถิติ ใช้ ANOVA (Analysis of Variance) เพื่อทดสอบว่ามี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มที่มี MOG (0.004, 0.008, 0.013) ต่อ ประสิทธิภาพการคัดแยก และ ความ สะอาดของเมล็ดข้าว ผลทดสอบดัง Table 1 พบว่า ประสิทธิภาพ การคัดแยกมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อ MOG เพิ่มขึ้น ความสะอาดมี ค่าเฉลี่ยลดลงเล็กน้อยเมื่อ MOG เพิ่มขึ้น การวิเคราะห์ ANOVA ด้านประสิทธิภาพการคัดแยก มีหลักฐานว่าประสิทธิภาพการคัด แยกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทดสอบ Post-hoc (Tukey HSD) พบว่ากลุ่ม 0.004 ให้ประสิทธิภาพต่ำกว่ากลุ่ม 0.008 และ 0.013 อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนกลุ่ม 0.008 และ 0.013 ไม่แตกต่าง กัน ด้านความสะอาดของเมล็ดข้าว ผลลัพธ์ ANOVA p-value = 0.012 แสดงว่ามีความแตกต่างของความสะอาดอย่างมีนัยสำคัญ

ทดสอบ Post-hoc (Tukey HSD) กลุ่ม 0.004 ให้ความสะอาดสูงกว่ากลุ่ม 0.008 และ 0.013 อย่างมีนัยสำคัญ กลุ่ม 0.008 และ 0.013 ไม่แตกต่างกัน

Table 1 Test results of the Sieve set for separating grains that have fallen out of the panicle

MOG	sorting efficiency (%)	grain cleanliness (%)
0.004	93.80 ± 0.19	91.00 ± 0.09
0.008	94.68 ± 0.78	90.36 ± 0.04
0.013	95.30 ± 1.20	89.98 ± 0.19

MOG: Grain to material other than grain

สรุปผลทางสถิติด้านประสิทธิภาพการคัดแยก:

การเพิ่ม MOG จาก 0.004 เป็น 0.008 หรือ 0.013 ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (~3.5-4 %) แต่ 0.008 กับ 0.013 ไม่แตกต่างกัน

สรุปผลทางสถิติด้านความสะอาดของเมล็ดข้าว:

MOG 0.004 ให้ความสะอาดสูงสุด (~90.78 %)

หากต้องการประสิทธิภาพสูง อาจต้องยอมรับความสะอาดลดลงเล็กน้อย (~0.7-0.9 %)

ข้อเสนอแนะ:

หากต้องการสมดุลระหว่างประสิทธิภาพและความสะอาด เลือก 0.008 หากต้องการ ความสะอาดสูงสุด เลือก 0.004

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Pearson) สำหรับชุดคะแนนร่อนด้านประสิทธิภาพการคัดแยกพบว่า มีความสัมพันธ์ทางบวกสูงกับ MOG ($r = 0.892$) นั่นคือ เมื่ออัตราส่วนเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ด้านความสะอาด พบว่ามีความสัมพันธ์ทางลบสูงมาก ($r = -0.982$) หมายถึงเมื่ออัตราส่วนเพิ่มขึ้น ความสะอาดลดลง

การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น สำหรับประสิทธิภาพการคัดแยก ประสิทธิภาพ = $93.01 + 178.57 \times (\text{MOG})$ นั่นคือทุก ๆ การเพิ่มขึ้นของ MOG 0.001 จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 0.18% สำหรับความสะอาด ได้สมการ: ความสะอาด = $91.27 - 128.57 \times (\text{MOG})$ นั่นคือ: ทุก ๆ การเพิ่มขึ้นของ MOG 0.001 จะทำให้ความสะอาดลดลง 0.13%

กราฟแสดงความสัมพันธ์ ของประสิทธิภาพและ MOG: พบว่ากราฟแสดงแนวโน้มเพิ่มขึ้นเชิงเส้นชัดเจนแสดงดัง Figure 2

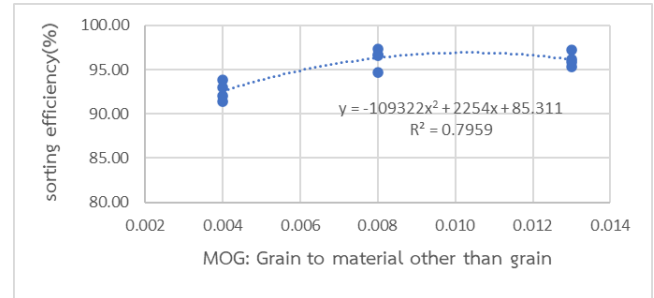


Figure 2 Grain sorting results_Sieve set to separate grains that have fallen out of the panicle

กราฟระหว่าง ความสะอาดและ MOG: กราฟแสดงแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนแสดงดัง Figure 3

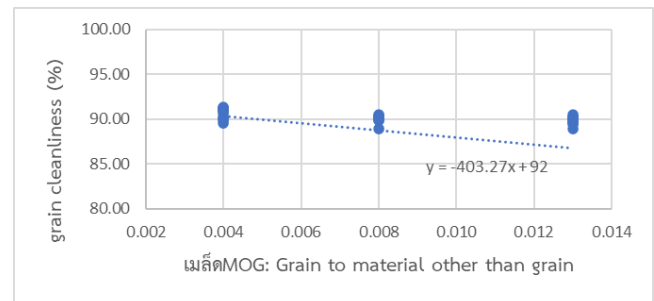


Figure 3 grain cleanliness results_Sieve set to separate grains that have fallen out of the panicle

ข้อเสนอแนะการใช้งาน หากต้องการประสิทธิภาพสูง: ใช้ MOG 0.013 (ได้ประสิทธิภาพ ~95.3 %) แต่ต้องยอมรับความสะอาดที่ลดลง (~90.0%) หากต้องการความสะอาดสูง: ใช้ MOG 0.004 (ได้ความสะอาด ~91.0%) แต่ประสิทธิภาพจะอยู่ที่ ~93.8 % จุดสมดุลที่แนะนำ: MOG 0.008 ให้สมดุลระหว่างประสิทธิภาพ (94.7 %) และความสะอาด (90.4 %)

3.2.2 ผลการทดสอบชุดขนาดแยกเมล็ดที่ตีตรง

มีการทดลองภายใต้ 2 ปัจจัย คือ UC และ MOG ค่าชี้ผลคือ ประสิทธิภาพการคัดแยกเมล็ด และความสะอาดเมล็ดดัง Table 2 พบว่าทุก UC ให้ประสิทธิภาพและความสะอาดต่ำกว่า UC 120 mm อย่างชัดเจน ข้อเสนอแนะ: เลือก UC 120 mm และ MOG 0.008 เพื่อสมดุลประสิทธิภาพและความสะอาด หลักเลียง UC 160 – 200 mm เพราะให้ผลลัพธ์ต่ำ หากต้องการความสะอาดสูงสุด เลือก MOG 0.004 ข้อสังเกตเพิ่มเติมคือ UC 120 mm อาจเหมาะสมกับขนาดเมล็ดข้าว ทำให้แยกเมล็ดจากฟางได้ดี UC แคบ (80 mm) หรือกว้าง (160 – 200 mm) อาจทำให้เมล็ดเสียหายหรือคัดแยกไม่หมด มีผลวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

1. ผลวิเคราะห์ anova (Two-way ANOVA) ระหว่างตัวแปรอิสระ กับค่าชี้ผล

1.1 ประสิทธิภาพการคัดแยก (%): UC และ MOG มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพ ($p < 0.001$) Interaction มีนัยสำคัญ ($p = 0.028$) แสดงว่าผลของ MOG ขึ้นอยู่กับ UC

1.2 ความสะอาดของเมล็ดข้าว (%): UC และ MOG มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความสะอาด ($p < 0.001$) Interaction มีนัยสำคัญ ($p = 0.016$) แสดงว่าผลของ MOG ขึ้นอยู่กับ UC

Table 2 Test results of Threshing set to separate grains attached to the panicle

UC (mm)	MOG	sorting efficiency (%)	grain cleanliness (%)
120	0.004	94.85 ± 0.07	91.88 ± 0.09
	0.008	96.79 ± 0.10	93.06 ± 0.11
	0.013	95.73 ± 0.24	90.86 ± 0.47
80	0.004	77.52 ± 0.61	89.14 ± 0.45
	0.008	77.31 ± 0.29	91.27 ± 0.34
	0.013	77.35 ± 0.28	88.19 ± 0.29
160	0.004	69.50 ± 1.67	88.93 ± 0.36
	0.008	71.13 ± 0.41	91.21 ± 0.33
	0.013	72.71 ± 0.52	87.36 ± 0.45
200	0.004	69.49 ± 1.50	89.72 ± 0.50
	0.008	70.19 ± 0.87	91.32 ± 0.45
	0.013	72.05 ± 1.55	86.86 ± 0.53

UC: Upper concave clearance

MOG: Grain to material other than grain

2. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) ใช้ สัมประสิทธิ์เพียร์สัน (Pearson's r) ระหว่างตัวแปรอิสระ (UC, MOG) และตัวแปรตาม (ประสิทธิภาพ, ความสะอาด): ข้อสรุป: UC มีความสัมพันธ์เชิงลบสูงกับทั้งประสิทธิภาพและความสะอาด นั่นคือ UC ยิ่งกว้าง ประสิทธิภาพและความสะอาดยิ่งลดลง MOG มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับประสิทธิภาพ แต่เชิงลบเล็กน้อยกับความสะอาด

3. การวิเคราะห์ถดถอย (Regression)

3.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการคัดแยก

ประสิทธิภาพ = $98.21 - 0.15 \times UC + 120.5 \times MOG$

$-0.62 \times (UC \times MOG)$

อธิบายได้ว่า:

UC: ทุก 1 mm ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพลดลง 0.15%

MOG: ทุก 0.001 ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 0.12%

Interaction: ผลของ MOG จะลดลงเมื่อ UC เพิ่มขึ้น

3.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสะอาด

ความสะอาด = $92.10 - 0.02 \times UC - 85.3 \times MOG$

อธิบายได้ว่า:

UC: ทุก 1 mm ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความสะอาดลดลง 0.02%

MOG: ทุก 0.001 ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความสะอาดลดลง 0.085%

4. ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดคือ: UC ส่งผลเชิงลบต่อทั้งประสิทธิภาพและความสะอาด (120 mm ให้ผลดีที่สุด) MOG 0.008 ให้สมดุลระหว่างประสิทธิภาพและความสะอาด หากตั้งค่า UC = 120 mm และ MOG = 0.008: ประสิทธิภาพ ≈ 96.8 % ความสะอาด ≈ 93.1 % ข้อเสนอแนะ: เลือก UC 120 mm และ MOG 0.008 เพื่อผลลัพธ์ที่ดีที่สุด หลีกเลี่ยง UC > 120 mm เพราะทำให้ประสิทธิภาพและความสะอาดลดลง

3.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพสูงสุดของชุดตะแกรงร่อนแยกเมล็ดที่หลุดจากรวงและชุดขนาดแยกเมล็ดที่ติดรวง ระดับห้องปฏิบัติการ

ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพสูงสุด แสดงดัง Table 3 กราฟระหว่างประสิทธิภาพการแยกเมล็ด และความสะอาดของชุดแยกเมล็ดติดรวงเมื่อ UC 120 mm แสดงดัง Figure 4 และ Figure 5

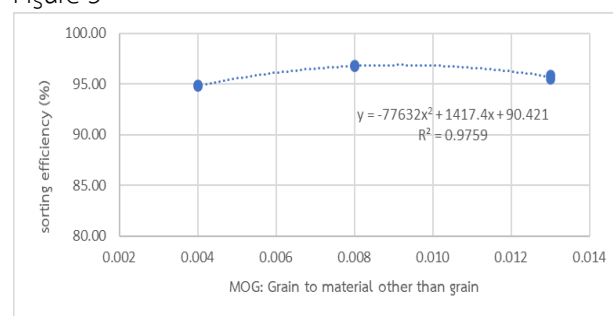


Figure 4 Grain sorting results_Threshing set to separate grains attached to the panicle _UC 120 mm.

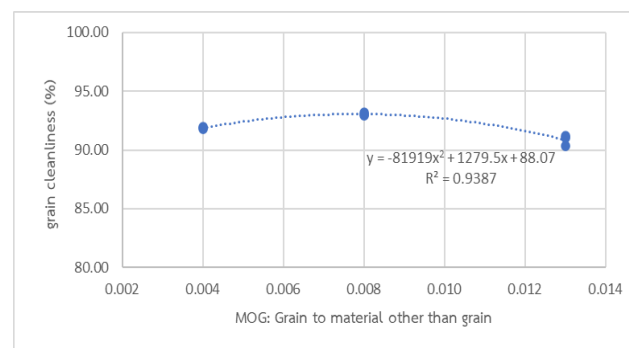


Figure 5 grain cleanliness (%)_Threshing set to separate grains attached to the panicle _UC 120 mm.

Table 3 Comparison table of maximum efficiency of Sieve set to separate grains that have fallen out of the panicle and Threshing set to separate grains attached to the panicle

section	Optimum conditions	sorting efficiency (%)	grain cleanliness (%)
Sieve set to separate grains that have fallen out of the panicle	MOG 0.013	95.30	89.98
Threshing set to separate grains attached to the panicle	UC 120 mm, MOG 0.008	96.79	93.06

3.3 การทดสอบภาคสนาม

ผลการทดสอบเบื้องต้นในภาคสนาม พบว่าฟางข้าวมีความชื้นสูง และม้วนติดในลูกนวดของชุดนวด ซึ่งแตกต่างจากในห้องปฏิบัติการที่ฟางข้าวมีความชื้นน้อยกว่า จึงได้ทำการปรับแต่งมุมการเอียงของครีบบวงเดือที่ไม่ทำให้เกิดการติดขัดของฟาง และปรับแต่งให้ความสูงของตะแกรงบนลดลง จากเดิมที่มีระยะห่างระหว่างซี่นวดกับตะแกรงบน 120 mm เหลือ 100 mm เพื่อให้ฟางที่ม้วนตัวในต่อนวดสัมผัสกับครีบบวงเดือได้มากขึ้น ลดการติดขัดในชุดนวดแยกเมล็ดดีตรง การเก็บตัวอย่างภาคสนาม และการทดสอบเครื่องต้นแบบภาคสนาม แสดงดัง Figure 6



Figure 6 Field sampling and field testing of prototypes _UC 100 mm.

การทดสอบเครื่องแยกเมล็ดข้าวออกจากฟาง ซึ่งฟางที่ได้มาจากการเก็บตัวอย่างจากเครื่องเกี่ยวนวดข้าวคันเดียวกันแต่เก็บ

เกี่ยวคนละแปลง แต่ละแปลงเป็นข้าวคนละพันธุ์ แต่ละตัวอย่างเก็บในพื้นที่ 2*20 m² แปลงละ 3 ซ้ำ แต่ละส่วนมีค่าชี้ผลหลักคือ

A. ชุดตะแกรงร่อนแยกเมล็ดที่หลุดจากรวงแล้ว ได้แก่

1. ประสิทธิภาพการคัดแยกเมล็ด (%)

2. ความสะอาดเมล็ด (%)

B. ชุดต่อนวดแยกเมล็ดดีตรง ได้แก่

1. ประสิทธิภาพการคัดแยกเมล็ด (%)

2. ความสะอาดเมล็ด (%)

โดยมีข้อมูลประกอบในแต่ละตัวอย่าง ได้แก่

MOG ความชื้นเมล็ด (% wb) ความชื้นฟาง (% wb) พื้นที่เก็บตัวอย่าง (m².) ผลผลิตข้าวในแปลงจริง (kg ra⁻¹)

และเมื่อได้ค่าชี้ผลหลักแล้ว เอาไปคำนวณหาผลการเก็บเกี่ยวของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวคันที่เก็บตัวอย่างฟาง โดยมีค่าชี้ผล หรือค่าทำนาย ได้แก่ ความสูญเสียจากการคัดแยกและทำความสะอาด (%) ความสูญเสียจากการนวด (%) ในกระบวนการเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องนวดข้าวเครื่องนั้น ๆ

ผลวิเคราะห์แบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) โดยใช้ข้อมูลจากภาคสนาม (3 พันธุ์ x 3 ซ้ำ, แต่ละซ้ำถือเป็น block) วิเคราะห์ ANOVA สำหรับแต่ละตัวแปรหลัก การเปรียบเทียบค่ากลาง (post hoc) และข้อสังเกตเชิงลึก ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ ANOVA Table (RCBD) สำหรับแต่ละตัวแปรหลัก

A. ประสิทธิภาพการคัดแยกเมล็ด (%) ของชุดตะแกรงร่อน
สรุป: ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพันธุ์ (p > 0.05)

B. ประสิทธิภาพการคัดแยกเมล็ด (%) ของชุดต่อนวด
สรุป: มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพันธุ์ (p < 0.01)

C. ความสูญเสียจากการคัดแยกและทำความสะอาดของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว (%)

สรุป: มีแนวโน้มแตกต่าง (borderline significant, p ≈ 0.058)

D. ความสูญเสียจากการนวดของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว (%)
สรุป: มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพันธุ์ (p < 0.05)

2. Post Hoc Comparison (เปรียบเทียบค่ากลางระหว่างพันธุ์) แต่ละด้านมีผลดังนี้

2.1 ด้านประสิทธิภาพการคัดแยก (%) ของชุดต่อนวด (p < 0.01) ดัง Table 4

Table 4 Average sorting efficiency of Threshing set to separate grains attached to the panicle_ UC 100 mm

Rice varieties	Average sorting efficiency (%)
กข 49	93.61 a
กข 79	92.43 b
กข 61	91.13 c

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกัน (a, b, c) หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

2.2 ด้านความสูญเสียจากการนวดของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว (%) ($p < 0.05$) ดัง Table 5

Table 5 Average threshing loss of combine harvester (%)

Rice varieties	Average threshing loss of combine harvester (%)
กข 49	1.29 a
กข 79	1.34 ab
กข 61	1.40 b

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกัน (a, b, c) หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

3. ข้อสังเกต Block (ซ้ำ/แปลง) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญในทุกตัวแปร ($p > 0.05$) แสดงว่าความแปรปรวนระหว่างซ้ำต่ำ ค่าชี้

Table 6 Mean Comparison Table

Rice varieties	sorting efficiency _ Sieve set (%)	grain cleanliness _Sieve set (%)	sorting efficiency _Grain sorting set (%)	grain cleanliness _Grain sorting set (%)	MOG	Grain Mc (%)	Straw Mc (%)	sorting and cleaning loss _combine harvester	Threshing loss _combine harvester
กข 49	96.79	96.53	93.61	93.21		0.0110	23.2	67.6	1.05
กข 79	96.63	96.28	92.43	92.12	0.0114	24.5	66.4	1.17	1.30
กข 61	96.19	95.88	91.13	91.15	0.0109	22.3	63.6	1.24	1.40

ผลที่มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ คือ ด้านประสิทธิภาพการคัดแยกเมล็ดของชุดนวดเครื่องต้นแบบ และความสูญเสียจากการนวดของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว กข 49 ให้ประสิทธิภาพการคัดแยกเมล็ดสูงสุดและความสูญเสียจากการนวดของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว น้อยสุด ส่วน กข 61 ให้ประสิทธิภาพการคัดแยกต่ำสุดและเครื่องเกี่ยวนวดข้าวมีความสูญเสียจากการนวดสูงสุด

ผลการเปรียบเทียบค่ากลาง (Mean Comparison Table), ผลสหสัมพันธ์ (Correlation), ผล Regression มีดังนี้

1. ตารางเปรียบเทียบค่ากลาง (Mean Comparison Table) แสดงดัง Table 6

2. ผลสหสัมพันธ์ (Correlation Matrix) แสดงดัง Table 7

3. Regression

โมเดล:

$Y = \text{ประสิทธิภาพการคัดแยก (\%)} \text{ ของชุดต้นนวด}$

$X1 = \text{MOG}, X2 = \text{ความชื้นเมล็ด}, X3 = \text{ความชื้นฟาง}$

สมการ:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X1 + \beta_2 X2 + \beta_3 X3 + \varepsilon$$

ผลวิเคราะห์:

$$R^2 = 0.23 \text{ (23 \%)}$$

$$p\text{-value (รวม)} = 0.34$$

ไม่มีตัวแปรอิสระใดมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

β_1 (อัตราส่วนเมล็ด/ฟาง): 91.2 ($p = 0.29$)

β_2 (ความชื้นเมล็ด): 0.18 ($p = 0.56$)

β_3 (ความชื้นฟาง): 0.04 ($p = 0.79$)

ตัวแปรประกอบไม่สามารถทำนายประสิทธิภาพต้นนวดได้อย่างมีนัยสำคัญ

Table 7 Mean Comparison Table

var X / Y	sorting efficiency _ Sieve set	sorting efficiency _ Grain sorting set	sorting and cleaning loss _ combine havester	Threshing loss _ combine harvester	MOG	Grain Mc (%)	Straw Mc (%)
sorting efficiency_ Sieve set	1.00	0.62	-0.58	-0.59	0.21	0.16	0.14
Sorting efficiency_ Grain sorting set	0.62	1.00	-0.71	-0.68	0.25	0.12	0.09
Sep and cleaningloss _comb	-0.58	-0.71	1.00	0.67	-0.17	0.13	0.16
Threch loss _comb	-0.59	-0.68	0.67	1.00	-0.10	0.11	0.08
MOG	0.21	0.25	-0.17	-0.10	1.00	0.33	0.28
Grain Mc	0.16	0.12	-0.13	-0.11	0.33	1.00	0.24
Straw Mc	0.14	0.09	-0.16	-0.08	0.28	0.24	1.00

หมายเหตุ:

ความสัมพันธ์ที่เด่นชัด: ประสิทธิภาพตั่ววนด (%) กับสูญเสียคัดแยกกา (-0.71)

อัตราส่วนเมล็ด/ฟาง, ความชื้นเมล็ด, ความชื้นฟาง ไม่มีความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญกับค่าชี้ผลหลัก

ผลสรุปการทดสอบภาคสนาม พบว่า กข 49 มีประสิทธิภาพ8คัดแยกเมล็ดสูงสุดและเครื่องเกี่ยวนวดข้าวสูญเสียน้อยสุดในชุดตั่ววนด ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรประกอบกับค่าชี้ผลหลักต่ำ Regression ไม่พบตัวแปรทำนายที่มีนัยสำคัญ

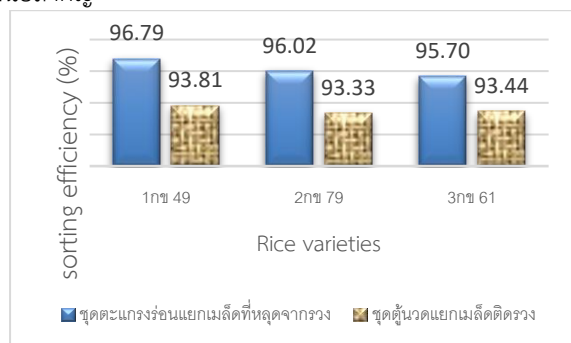


Figure 7 Grain sorting results_ Sieve set to separate grains that have fallen out of the panicle VS Threshing set to separate grains attached to the panicle _UC 100 mm

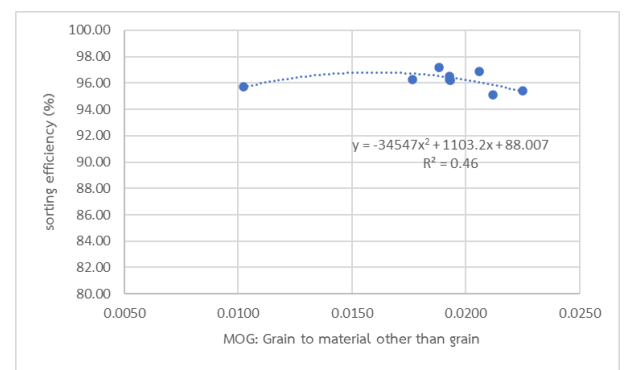


Figure 8 Grain sorting results_ Sieve set to separate grains that have fallen out of the panicle_ UC 100 mm

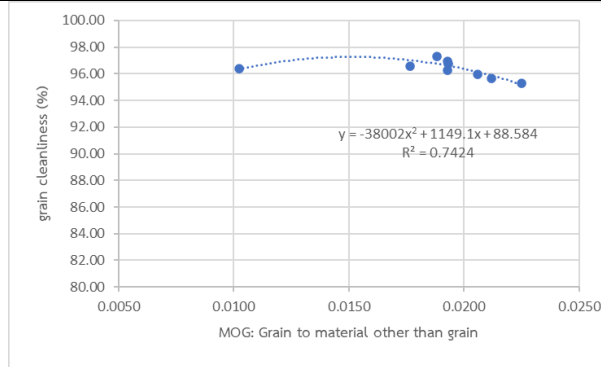


Figure 9 grain cleanliness results_Sieve set to separate grains that have fallen out of the panicle _UC 100 mm

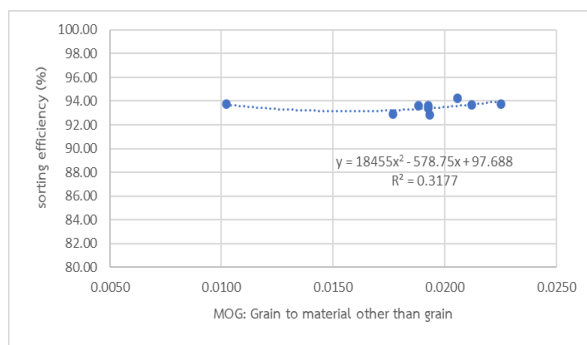


Figure 10 Grain sorting results_ Threshing set to separate grains attached to the panicle _UC 100 mm

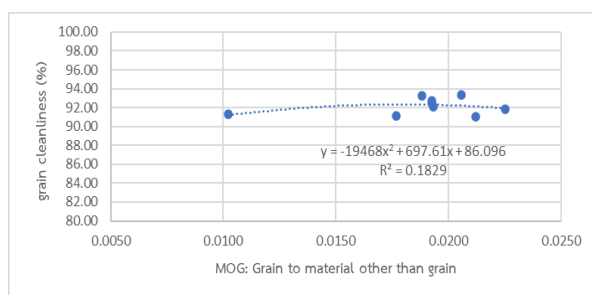


Figure 11 grain cleanliness (%)_Threshing set to separate grains attached to the panicle _UC 100 mm

4 สรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องแยกเมล็ดข้าวเปลือกออกจากฟางที่ประกอบด้วยระบบคัดแยก 2 ชุดหลัก คือ ชุดตะแกรงร่อนและชุดต้อนวด ซึ่งให้ประสิทธิภาพการทำงานในระดับที่น่าพอใจ ด้านประสิทธิภาพการทำงาน พบว่าชุดตะแกรงร่อนให้ประสิทธิภาพคั่งที่ประมาณ 93-95% สำหรับเมล็ดที่หลุดจากรวงแล้ว ในขณะที่ชุดต้อนวดสามารถให้ประสิทธิภาพสูงถึง 96.79% สำหรับแยกเมล็ดที่ยังติดรวง ด้านความสะอาดของเมล็ด พบว่าทั้งสองระบบให้ความสะอาดในระดับ 89-93% ซึ่ง

อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการใช้งานทดสอบภาคสนาม ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมระดับห้องปฏิบัติการ ควรตั้งค่าระยะห่างบน (UC) ที่ 120 mm และ MOG 0.008 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการสร้างสมดุลระหว่างประสิทธิภาพการแยกและความสะอาด ความเหมาะสมกับพันธุ์ข้าว ข้าวพันธุ์ กข 49 แสดงประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องต้นแบบและเครื่องเกี่ยวขนาดข้าวที่เก็บตัวอย่างมีการสูญเสียที่น้อยที่สุด ซึ่งให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกใช้เครื่องให้เหมาะสมกับลักษณะพันธุ์ข้าว การทดสอบในสภาพจริงเผยให้เห็นปัญหาสำคัญคือความชื้นของฟางข้าวที่สูงกว่าในห้องปฏิบัติการ ทำให้เกิดการม้วนติดในลูกนวด ซึ่งต้องมีการปรับปรุงออกแบบโดยการปรับมุมครีบบนและลดระยะห่างตะแกรงบนจาก 120 mm เหลือ 100 mm เพื่อแก้ปัญหาคัดขาดในชุดนวด ข้อเสนอแนะการปรับปรุง การปรับแต่งระบบให้เหมาะสมกับสภาพความชื้นของฟางในสภาพจริงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการนำไปใช้งานในระดับภาคสนาม การออกแบบที่มีความยืดหยุ่นในการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

เครื่องต้นแบบนี้มีศักยภาพในการนำไปใช้งานจริงในระดับภาคสนาม โดยเฉพาะเมื่อมีการปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพความชื้นของฟางในสภาพจริง และควรทดสอบเพิ่มกับข้าวหลากหลายพันธุ์

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สกสว.ที่ให้ทุนวิจัย รวมถึงผู้ประกอบการเครื่องเกี่ยวขนาดข้าวและเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น ที่ให้ความร่วมมือและเอื้อเฟื้อแปลงวิจัยสำหรับการทดสอบ รวมถึง เจ้าหน้าที่ทุกท่านที่มีได้เอื้อน้อม ที่ช่วยเหลือร่วมมือในการสร้าง และการทดสอบต้นแบบในงานวิจัยนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- วินิต ชินสุวรรณ, สมชาย ขวนอุดม และวราจิต พยอม. 2544. การประเมินความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวข้าว. วารสารวิจัย มข. 6(1), 59-67.
- วินิต ชินสุวรรณ, สมชาย ขวนอุดม, วสุ อุดมเพทายกุล, วราจิต พยอม และณรงค์ ปัญญา. 2542. ความสูญเสียในการเก็บเกี่ยวข้าวหอมมะลิโดยใช้แรงงานคนและใช้เครื่องเกี่ยวขนาด. วารสารวิจัย มข. 4(2), 4-7.
- สมชาย ขวนอุดม และวินิต ชินสุวรรณ. 2554. อิทธิพลของการออกแบบชุดนวดของเครื่องเกี่ยวขนาดข้าวแบบไหลตามแกนที่มีต่อความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวเมื่อเก็บเกี่ยวข้าวหอมมะลิ. วารสารวิจัย มข. 16(3), 252-260.



- Andrews, S.B., Siebenmorgen, T.J., Vories, E.D.,
Loewer, D.H., Mauromoustakos, A. 1993. Effects of
combine operating parameters on harvest loss
and quality in rice. Transactions of the ASAE 36(6),
1599-1607.
- Chuan-udom, S., Chinsuwan, W. 2012. Effects of
threshing unit feature on threshing unit losses for
thai axial flow rice combine harvesters. AMA 43(4),
66-71.
- Yore, M.W., Jenkins, B.M., Summers, M.D. 2002.
Cutting properties of rice straw. Presented at the
2002 ASAE Annual International Meeting, 2002,
July 28-July 31, Illinois, USA.



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 26 วันที่ 18 – 19 กันยายน 2568

ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1 กรมส่งเสริมการเกษตร กรุงเทพมหานคร

TSAE
2025

ระบบช่วยการขับชีรแทรกเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้ด้วยปัญญาประดิษฐ์บนระบบสมองฝังตัว

Electric tractor driving assistance system using artificial intelligence on embedded systems

ธันต์ เขียวเขิน^{1*}, ทวีพล ชือสัตย์¹, จิตรวีร์ สมศรี², วิชาญ บุญมาก²

Thanat Khiawkhoen^{1*}, Taweeapol Suesut¹, Jitthawee Somsri², Wichan Bunmak²

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

¹School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang District, Bangkok

²วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาภิเษกมหานคร แขวง แสนแสบ เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร

²Kanchanaphisek Technical College, Saen Saep Subdistrict, Min Buri District, Bangkok

*Corresponding author: Tel : +66-6-2803-8422, E-mail : 66016147@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้นำเสนอระบบช่วยขับชีรแทรกเตอร์ไฟฟ้าอัตโนมัติด้วยปัญญาประดิษฐ์บนระบบสมองฝังตัว โดยใช้กล้องเพื่อตรวจสอบสิ่งกีดขวางขณะขับเคลื่อน ระบบสามารถตรวจจับวัตถุและสั่งหยุดรถโดยอัตโนมัติเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ พร้อมส่งสัญญาณเตือนไปยังผู้ควบคุม โดยใช้ Raspberry Pi 5 เป็นหน่วยประมวลผลหลักเชื่อมต่อกับกล้องรับภาพ และใช้โมเดล Yolo V8n ที่พัฒนาโดย Roboflow สำหรับตรวจจับวัตถุ เช่น คน รถยนต์ รถจักรยาน รถจักรยานยนต์ ต้นไม้ และสัตว์ต่าง ๆ เช่น สุนัข วัว และควาย โปรแกรมพัฒนาโดยใช้ภาษา Python เพื่อวิเคราะห์ภาพและควบคุมการหยุดเคลื่อนที่เมื่อพบสิ่งกีดขวาง ผลการทดลองเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถตรวจจับบุคคลในขณะเดินได้แม่นยำถึง 97.22% และในขณะวิ่งได้ 83.33% ระบบยังสามารถทำงานได้ดีในช่วงเวลาเช้าและเย็น ด้วยความแม่นยำ 95% และ 85% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในสภาพแสงน้อยช่วงกลางคืน ความแม่นยำลดลงเหลือ 40% แต่สามารถเพิ่มเป็น 90% เมื่อมีการเพิ่มแสง ระบบมีความแม่นยำในระดับที่สามารถประยุกต์ใช้ได้จริง และแสดงถึงศักยภาพของ Raspberry Pi 5 ในการเป็นหน่วยประมวลผล AI สำหรับเกษตรอัจฉริยะในอนาคต

คำสำคัญ: Electric Tractor, Raspberry Pi 5, Yolo V8n

Abstract

This research presents an autonomous driving system for electric tractors, incorporating artificial intelligence on embedded systems. The system utilizes a camera to detect obstacles during operation. It can identify objects and automatically stop the vehicle to prevent accidents, while simultaneously sending a warning signal to the controller. The Raspberry Pi 5 serves as the main processing unit, connected to a camera and running an object detection model Yolo V8n developed using Roboflow. The system is capable of recognizing various objects, including people, cars, bicycles, motorcycles, trees, and animals such as dogs, cows, and buffaloes. The software is developed in Python to process image data and control vehicle motion based on detected obstacles. Preliminary results demonstrate that the system can detect walking individuals with an accuracy of 97.22% and running individuals with 83.33% accuracy. It performs well under different lighting conditions, achieving 95% accuracy in the morning and 85% in the evening. However, accuracy decreases to 40% in low-light nighttime conditions, which can be improved to 90% with additional lighting. The results indicate that the system achieves a practical level of accuracy and highlights the potential of the Raspberry Pi 5 as an AI processor for smart agriculture applications in the future.

Keywords: Electric Tractor, Raspberry Pi 5, Yolo V8n

1 บทนำ

ปัจจุบันภาคเกษตรกรรมทั่วโลกกำลังเผชิญปัญหาสำคัญ 2 ประการ คือ การขาดแคลนแรงงาน และ ความเสี่ยงด้านความปลอดภัยจากการใช้เครื่องจักรกลที่ต้องมีผู้ขับ ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตและความยั่งยืนของภาคเกษตร (Walsh et al., 2019). จากปัญหาดังกล่าว ทำให้แนวคิด Smart Farming และการพัฒนายานเกษตรอัตโนมัติ (autonomous tractor) ได้รับความสนใจมากขึ้น โดยมุ่งเน้นให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้ด้วยตนเอง ลดการพึ่งพาแรงงานมนุษย์ และเพิ่มความปลอดภัยในภาคสนาม (Noguchi et al., 2019).

หนึ่งในเทคโนโลยีหลักที่ทำให้รถแทรกเตอร์อัตโนมัติเป็นไปได้ คือ GNSS-RTK (Real-Time Kinematic Global Navigation Satellite System) ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งได้แม่นยำในระดับเซนติเมตร และถูกนำไปใช้จริงในหลายงานวิจัยเพื่อการนำทางในพื้นที่เกษตรขนาดใหญ่ (Oksanen & Visala, 2009). อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการนำทางจะมีความแม่นยำสูง แต่ ความปลอดภัยในการตอบสนองต่อสิ่งกีดขวางแบบฉับพลัน เช่น มนุษย์ สัตว์ หรือ วัตถุที่เคลื่อนที่เข้ามาใกล้ ยังคงเป็นความท้าทายสำคัญ (Milioto et al., 2017). เพื่อจัดการกับปัญหานี้ จึงมีการกำหนดมาตรฐานสากล ISO 18497 ว่าด้วยความปลอดภัยของเครื่องจักรเกษตรอัตโนมัติ (ISO, 2024)

อย่างไรก็ตาม หลายการศึกษาายังเห็นพ้องว่ามาตรฐานดังกล่าวยังไม่ครอบคลุมระบบที่ใช้ AI รุ่นใหม่ และจำเป็นต้องมีการเสริมแนวทางเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในอนาคต (Griepentrog et al., 2022). ขณะเดียวกัน ฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กอย่าง Raspberry Pi ก็ได้รับความสนใจในฐานะหน่วยประมวลผลราคาถูก พกพาง่าย และสามารถนำไปใช้ได้จริงในงานเกษตรอัจฉริยะ แม้จะมีข้อจำกัดด้านพลังการประมวลผล โดยเฉพาะ Raspberry Pi 5 ที่เพิ่งเปิดตัว มีศักยภาพในการรันโมเดล AI ได้ดีกว่ารุ่นก่อน แต่ยังคงอยู่ภายใต้ข้อจำกัดด้านพลังงานและหน่วยความจำ ซึ่งทำให้การเลือกใช้โมเดลที่เหมาะสม เช่น YOLOv8n มีความสำคัญอย่างยิ่ง (Boddu & Mukherjee, 2025).

เพื่อให้การพัฒนาเป็นไปได้จริง งานวิจัยนี้ใช้แพลตฟอร์ม Roboflow สำหรับการสร้างและจัดการชุดข้อมูลภาพจากสภาพแวดล้อมจริงในพื้นที่เกษตร เช่น คน วัว ควาย และรถจักรยานยนต์ โดยชุดข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาฝึกสอน (train) และ ส่งออก (export) ในรูปแบบ YOLOv8n ที่เหมาะสมกับการทำงานบน Raspberry Pi 5. กระบวนการนี้ไม่เพียงแต่สอดคล้องกับแนวโน้มของงานวิจัยสากลด้าน AI in agriculture แต่ยังเน้นการทดสอบ ประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และข้อจำกัด ของระบบในสภาพแวดล้อมจริงของเกษตรกรรมไทยอย่างเป็นระบบ

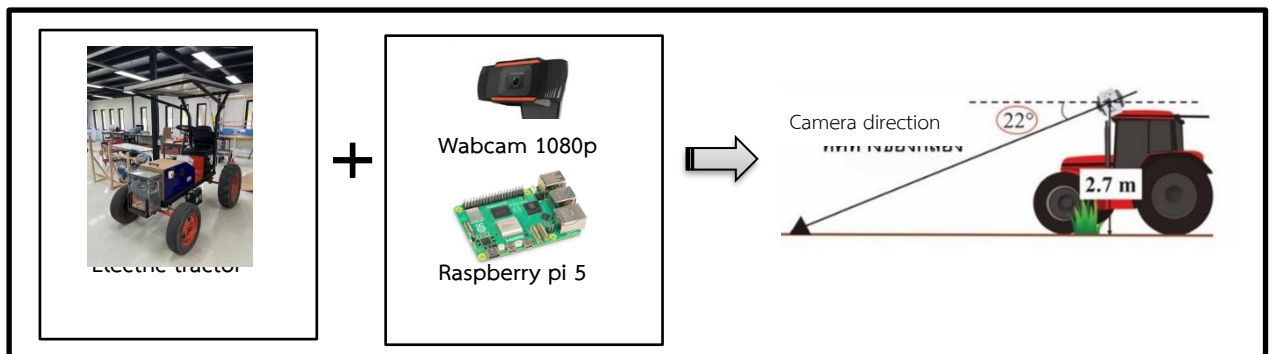


Figure 1 Overview of the equipment and installation characteristics of web cam cameras on electric tractors

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบการใช้ Raspberry Pi 5 ในการประมวลผลภาพสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์อัตโนมัติ
2. เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานรถแทรกเตอร์อัตโนมัติในพื้นที่เกษตร
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพและข้อจำกัดของ Raspberry Pi 5 ในการประยุกต์ใช้กับระบบเกษตรอัตโนมัติ

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 รถแทรกเตอร์ไฟฟ้า

จาก Figure 1 แสดงการติดตั้งกล้อง Wabcam และบอร์ด Raspberry pi 5 บนรถแทรกเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งตัวรถเป็นของสาขาวิศวกรรมวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ของรถแทรกเตอร์ไฟฟ้าดังแสดงใน Figure 2

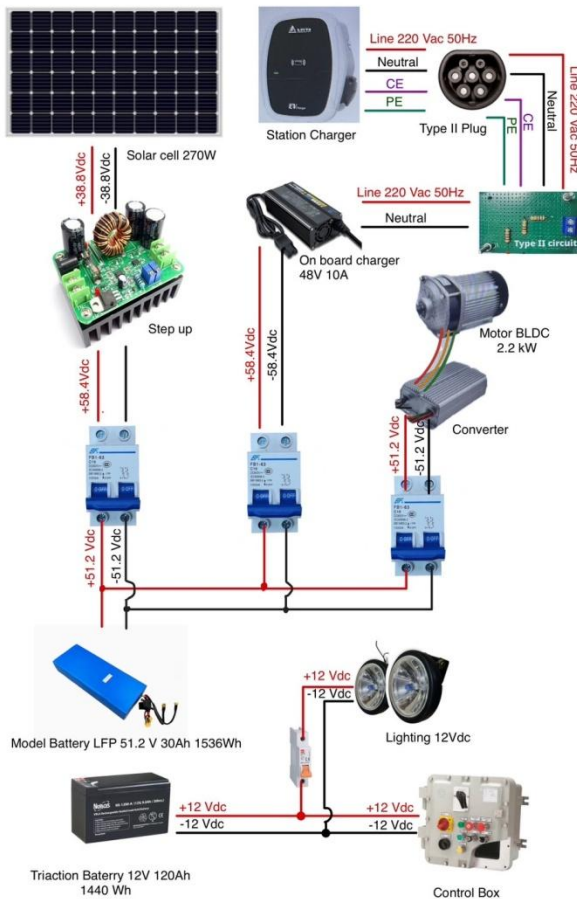


Figure 2 Electrical schematic diagram

ซึ่งรถแทรกเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบการทำงานวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดที่ 10 km/hr เนื่องจากข้อจำกัดที่แบตเตอรี่ทำงานสูงสุดที่ 30 Ah โดยผลการทดสอบเบื้องต้นของระบบรถแทรกเตอร์เพื่อหาผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับการรับภาพไป

ประมวลผลของ Rapsberry pi 5 ขณะที่ยานแทรกเตอร์ขับเคลื่อนที่ความเร็วต่างๆ โดยทดสอบที่ 3 , 5 , 10 km/hr มีรายละเอียดการใช้พลังงานของรถดัง Table 1 (น้ำหนักรถ 160 kg)

Table 1 Energy consumption testing of electric tractors.

Speed (km/hr)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Running time (minutes)
3	53.6	15	804.0	114
5	53.6	21	1125.6	81
10	53.6	29	1554.4	57

2.2 Raspberry pi 5

ระบบช่วยขับเคลื่อนรถแทรกเตอร์อัตโนมัติที่เสนอในงานวิจัยนี้ ออกแบบโดยอิงจากแนวคิดของระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) ซึ่งใช้การประมวลผลภาพกับปัญญาประดิษฐ์แบบเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เพื่อการตรวจจับวัตถุในสภาพแวดล้อมทางการเกษตรแบบเรียลไทม์ โดยจะใช้ Raspberry Pi 5 ซึ่งมีหน่วยประมวลผล ARM Cortex-A76 แบบ Quad-core และรองรับการใช้งานโมเดล AI แบบเบา (Lightweight Deep Learning Models) เป็นประมวลผลหลักในการประมวลผลโดยไม่ต้องใช้ GPU ภายนอก อุปกรณ์รับภาพคือ HD Camera (1080p) ติดตั้งบริเวณด้านบนของตัวรถแทรกเตอร์เพื่อใช้แทนมุมมองของผู้ขับขี่ โดยส่งข้อมูลภาพแบบต่อเนื่อง (streaming) ให้กับโมเดลที่ถูกเทรนขึ้นมาใน roboflow เพื่อให้สามารถเลือกเฉพาะสิ่งที่ต้องการตรวจจับได้โดยตัวโมเดลจะอยู่ในรูปของ YOLOv8n (nano) สำหรับการตรวจจับวัตถุ ซึ่งครอบคลุมประเภทวัตถุทั่วไปในพื้นที่เกษตร เช่น บุคคล วัว ควาย สุนัข รถจักรยานยนต์ เป็นต้น

พลังงานสำหรับระบบทั้งหมดถูกจ่ายผ่านแบตเตอรี่รี 12Vdc และมีหม้อแปลง 12V/5V ที่สามารถจ่ายกระแสได้อย่างต่อเนื่องให้กับระบบควบคุมบนตัวรถ หากใช้แหล่งจ่าย 5Vdc จากภายนอกจ่ายให้กับ Raspberry pi 5 ควรมีกำลังไฟอย่างน้อย 5V/5A หรือมากกว่า 25 W

2.3 โมเดลซอฟต์แวร์และการประมวลผลโมเดล

ระบบซอฟต์แวร์พัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษา Python ร่วมกับไลบรารีสำคัญ ได้แก่ Ultralytics, OpenCV และ Torch ซึ่งทำหน้าที่ในการประมวลผลภาพและโหลดโมเดล YOLOv8 สำหรับการตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ โดยโมเดลของ YOLO

(You Only Look Once) เวอร์ชันที่ 8 เป็นแบบ single-shot detection ซึ่งสามารถคำนวณ bounding box และจำแนกประเภทวัตถุได้ภายในการประมวลผลครั้งเดียว ทำให้สามารถใช้งานได้ในระบบที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร เช่น ระบบสมองกลฝังตัว ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้โมเดล YOLOv8n (nano) ซึ่งเป็นเวอร์ชันขนาดเล็กที่สุดของ Ultralytics YOLOv8 ที่ออกแบบมาให้ทำงานได้บนอุปกรณ์ประมวลผลขนาดเล็ก แต่รักษาความแม่นยำให้อยู่ในระดับเหมาะสมกับงานตรวจจับสิ่งกีดขวางในพื้นที่เกษตร

การฝึกโมเดล (training) ดำเนินการผ่านแพลตฟอร์ม Roboflow ซึ่งเป็นระบบแบบคลาวด์ที่รองรับการสร้างและบริหารจัดการชุดข้อมูลภาพ รวมถึงการเทรนโมเดลด้วย GPU ได้ในระบบออนไลน์ โดยขั้นตอนการฝึกมีรายละเอียดดังนี้

1. การเตรียมข้อมูล ทำการรวบรวมภาพถ่ายจากฟาร์มจริงซึ่งประกอบด้วยวัตถุเป้าหมาย เช่น คน วัว ควาย สุนัข รถจักรยานยนต์ และรถยนต์ จากนั้นทำการติดป้ายกำกับ (annotation) ด้วยเครื่องมือใน Roboflow

2. การจัดการชุดข้อมูล แพลตฟอร์มจะจัดแบ่งข้อมูลเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ชุดฝึก (Training set), ชุดตรวจสอบ (Validation set) และชุดทดสอบ (Test set) ตามสัดส่วน 80:10:10 โดยในการใส่ข้อมูลในโปรแกรมจะใช้ทั้งหมด 137 รูป (Figure 3)

3. การปรับปรุงข้อมูล ใช้ฟีเจอร์ของ roboflow ในการเพิ่มข้อมูลโดยอัตโนมัติ เช่น การหมุนภาพ (rotation), การเปลี่ยนความสว่าง (brightness/contrast), และการใส่ noise เพื่อเพิ่มความหลากหลายของข้อมูลและลด overfitting

4. การฝึกโมเดล ใช้โมเดล YOLOv8n ที่ฝังอยู่ในระบบ Roboflow โดยเลือกใช้ฟังก์ชัน transfer learning เพื่อเร่งกระบวนการเรียนรู้ชุดข้อมูลที่มีจำนวนไม่มาก

เมื่อเสร็จสิ้นการฝึก Roboflow จะส่งออกโมเดลในรูปแบบที่สามารถนำมาใช้ในระบบ Ultralytics ได้ทันที โดยมีไฟล์ .pt สำหรับการโหลดผ่าน Python API ซึ่งถูกติดตั้งและใช้งานใน Raspberry Pi เพื่อให้สามารถตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์บนอุปกรณ์ปลายทาง

ในการทดสอบระบบใช้ภาพคนในสิ่งแวดล้อมจากวิดีโอทดสอบจริงขณะเคลื่อนภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลือกเป็นภาพที่เฟรมต่างๆ จำนวน 100 ภาพและมีการใส่ฟิลเตอร์ คือ ใส่รอยด่าง หมุนภาพที่มุมต่างๆกัน และทำเป็นภาพขาวดำ อีกจำนวน 100 รูป รวม 200 รูป

ส่วนภาพสัตว์ จะใช้ภาพสัตว์ 2 ชนิดคือ วัวและควายที่อาจพบได้ตามพื้นที่การเกษตรของไทย รูปต้นฉบับจำนวน 50

รูป และนำรูปต้นฉบับมาใส่ฟิลเตอร์แบบรูปของบุคคลอีกจำนวน 87 รูป ดังแสดงใน Figure 3

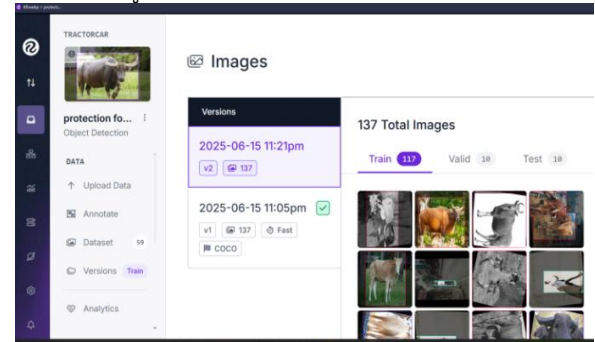


Figure 3 Training models through Roboflow with 137 images

2.4 หลักการทำงานของ Deep Learning บน Raspberry Pi 5

กระบวนการประมวลผลภาพบน Raspberry Pi 5 ใช้หลักการ Convolutional Neural Network (CNN) โดยมีกระบวนการ 4 ขั้นตอนดังนี้

1) Convolution Operation การคำนวณฟีเจอร์จากภาพด้วยสมการ (1)

$$f_{i,j} = \sum_{M=0}^{M-1} \sum_{N=0}^{N-1} I_{i+M,j+N} \times K_{M,N} \quad (1)$$

โดยที่

I_i = อินพุตภาพ (image input)

$K_{M,N}$ = ฟิลเตอร์ (kernel/filter)

$f_{i,j}$ = ค่าฟีเจอร์ที่ตำแหน่ง (i, j)

2) Activation Function (ReLU) ด้วยสมการ (2)

$$a = \max(0, z) \quad (2)$$

โดยที่

ใช้เพื่อแปลงค่าเชิงเส้นให้มีความไม่เชิงเส้น (non-linearity)

3) Fully Connected Layer การรวมฟีเจอร์เพื่อตัดสินใจผลลัพธ์ด้วยสมการที่ (3)

$$y = \sigma \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad (3)$$

โดยที่

w_i = ค่าน้ำหนัก (weight)

x_i = อินพุตจาก neuron ก่อนหน้า

b = bias

σ = ฟังก์ชัน activation

4) Loss Function เช่น Cross-Entropy สำหรับการจำแนกวัตถุด้วยสมการ (4)

$$L = - \sum_{i=1}^C y_i \log(\hat{y}_i) \quad (4)$$

โดยที่

C = จำนวนคลาสทั้งหมด

y_i = ค่า target (ground truth)

$\hat{y}_i$ = ค่า probability ที่โมเดลทำนาย

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ความแม่นยำ

การทดสอบจะทดสอบความแม่นยำของหน่วยประมวลผลจากภาพที่รับเข้ามาในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อบ่งบอกความแม่นยำของการทำงานในช่วงเวลาที่ต่างกัน ได้แก่ กลางวัน เย็น และกลางคืน การทดลองจะทำการทดลองโดยการให้ รถแทรกเตอร์วิ่งด้วยความเร็ว 10 km/hr และมีคนเดินผ่านที่ระยะ 3 5 10 เมตร ดัง Figure 4 และจาก Figure 5 เป็นตัวอย่างภาพที่กล้องสามารถจับบุคคลได้ในช่วงเวลากลางวันและช่วงเย็น



Figure 4 Images of an electric tractor driving at 5 km/h at various distances during the day.



Figure 5 Images of obstacles detected during the day and evening



Figure 6 Image of an obstacle detected at night is incorrect

จาก Figure 6 เป็นการจับภาพในช่วงเวลากลางคืน ทำให้กล้องไม่สามารถเห็นวัตถุได้ชัดเจนทำให้ตรวจจับเงาว่าเป็นคน จึงเพิ่มไฟแสงสว่างที่หน้ารถเพื่อการทำงานอีกครั้ง

ในการเก็บค่าข้อมูลเชิงสถิติเพื่อหาระยะและช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อนำข้อมูลไปปรับปรุงต่อไป เช่น เพิ่มระบบเบรก เพิ่มเสียงเตือน หรือเพิ่มการทำงานร่วมกับเซนเซอร์อื่นๆ เป็นต้น ซึ่งค่าที่หา 3 ค่า ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และช่วงความเชื่อมั่น

1) ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) สูตรที่ใช้ $\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$

2) ค่า Standard Deviation (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

สูตรที่ใช้ $s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$

3) ค่า Confidence Interval (ช่วงความเชื่อมั่น)

เป็นช่วงที่ใช้บอกว่า ค่าเฉลี่ยจริงของประชากร น่าจะอยู่ในช่วงนี้ด้วยความเชื่อมั่นตามที่กำหนด เช่น 95%

สูตรที่ใช้ $CI = \bar{X} \pm Z_{\alpha/2, df} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$

โดยที่

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยจากกลุ่มตัวอย่าง

s = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

n = ขนาดกลุ่มตัวอย่าง

$Z_{\alpha/2, df}$ = ค่าจากตารางปกติ

Table 2 Record the distance between the car and the person behind. Raspberry pi 5 will process that if there is an obstacle in front of the car, it will immediately stop the motor. The tractor runs at a speed of 5 km/hr in a distance of 3 meters.

People walking past at a distance of 3 meters				
No.	Distance between vehicle and person (meters)			
	during the day	evening	Nighttime (No lights)	At night (lights)
1	1.2	0.8	-	1.2
2	0.8	0.7	-	0.8
3	1.1	1.2	-	1.3
4	1.0	-	1.2	1.0
5	0.6	1.3	-	-
6	-	1.1	-	0.8
7	1.0	0.9	-	-
8	1.3	0.8	-	1.1
9	0.7	0.5	0.9	1.2
10	0.9	1.2	-	1.1
Caught (times)	9	9	2	8
%Error	10%	10%	80%	20%
$\bar{x}$	0.86	0.71	0.22	0.87
S.D.	0.37	0.32	0.47	0.47
95% CI	0.60-1.12	0.48-0.94	-0.11-0.55	0.53-1.21

Table 3 Record the distance between the car and the person behind. Raspberry pi 5 will process that if there is an obstacle in front of the car, it will immediately stop the motor. The tractor runs at a speed of 5 km/hr in a distance of 5 meters.

People walking past at a distance of 5 meters				
No.	Distance between vehicle and person (meters)			
	during the day	evening	Nighttime (No lights)	At night (lights)
1	3.4	2.8	-	2.5
2	2.9	3.6	-	2.1
3	3.2	3.0	-	2.5
·	·	·	·	·
9	3.0	3.2	1.8	2.3
10	2.8	3.0	-	2.4
Caught (times)	9	8	1	8
%Error	10%	20%	80%	20%
$\bar{X}$	3.12	3.25	1.80	2.73
S.D.	0.19	0.23	NA	0.15

95% CI	2.96-3.22	2.96-3.28	NA	2.27-2.49
--------	-----------	-----------	----	-----------

Table 4 Record the distance between the car and the person behind. Raspberry pi 5 will process that if there is an obstacle in front of the car, it will immediately stop the motor. The tractor runs at a speed of 10 km/hr in a distance of 10 meters.

People walking past at a distance of 10 meters				
No.	Distance between vehicle and person (meters)			
	during the day	evening	Nighttime (No lights)	At night (lights)
1	-	8.6	-	2.5
2	8.2	-	-	2.1
3	8.0	8.0	-	2.5
·	·	·	·	·
9	-	7.8	6.4	-
10	7.7	-	-	2.4
Caught (times)	7	6	1	6
%Error	30%	40%	90%	40%
$\bar{X}$	8.03	8.15	6.4	2.38
S.D.	0.22	0.24	NA	0.15
95% CI	7.87-8.19	7.98-8.32	NA	2.27-2.49

ผลการทดลองโดยให้รถแทรกเตอร์สอบสิ่งกีดขวางที่เป็นบุคคลระยะต่างๆ ได้แก่ 3 5 เมตรด้วยความเร็วรถแทรกเตอร์ 5 km/hr และทดสอบที่ระยะ 10 เมตร ด้วยความเร็วรถแทรกเตอร์ 10 km/hr เนื่องจากกล้องเป็นมุมที่เห็นได้กว้างขึ้น จะเพิ่มความเร็วรถแทรกเตอร์ไฟฟ้าเพื่อดูผลที่ได้ โดยการทดสอบทั้งสองได้ผลดัง Table 2, Table 3 และ Table 4

3.2 การทดสอบความแม่นยำในการตรวจจับบุคคลที่ผ่านหน้ารถด้วยความเร็วต่างกัน ในขณะที่รถเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ

จะทดสอบด้วยการที่ให้บุคคลเดินผ่านหน้ารถด้วยความเร็วต่างๆ 3 ระดับ ได้แก่ เดินช้า (1 m/s) เดินปกติ (1.5 m/s) วิ่ง (4 m/s) ที่ระยะห่างจากตัวรถประมาณ 3 เมตร และเดินผ่านในช่วงเวลา 14.00 – 16.00 น. ความเร็วละ 18 ครั้ง โดยจะแสดงเป็นกราฟใน Figure 7 จะเห็นว่ายิ่งบุคคลเคลื่อนไหวเร็วขึ้นทำให้ความแม่นยำลดลงไปด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์กล้องที่มองภาพด้วย แต่ข้อเสียอย่างหนึ่งสำหรับการเห็นภาพกว้าง คือ บางสิ่งไม่ได้อยู่ในเส้นทางการเดินรถระบบไปตรวจจับทำให้เกิดความผิดพลาดได้ จากการทดลองปรับมุมกล้องให้ลดลงมา 22° และมีค่า Error ที่น้อยสุดเมื่อ

เทียบกับมุมอื่นๆ ที่เคยทดลอง ได้แก่ มุม 15° 30° 45° และ 60°

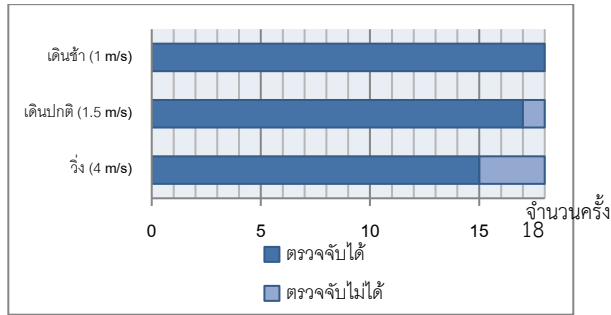


Figure 7 The graph shows the test for the accuracy of detecting people passing in front of the car at different speeds, namely 1, 1.5, and 4 m/s, 18 times each.

4 สรุป

ผลการทดลองเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถตรวจจับบุคคลขณะเดินได้แม่นยำถึง 97.22% และขณะวิ่งได้ 83.33% อีกทั้งยังทำงานได้ในช่วงกลางวันและเย็นด้วยความแม่นยำ 85-90% และ 75-85% ตามลำดับ ที่ระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางและรถแทรกเตอร์ไฟฟ้า 3-5 เมตร เป็นระยะที่เหมาะสมที่ควรใช้มุมกล้องก้มลงมา 22° และความเร็วรถแทรกเตอร์ไฟฟ้า 5-10 km/hr แต่หากวิ่งด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ควรเฝ้าระวังกล้องให้เห็นภาพกว้างมากขึ้นให้เห็นวัตถุในระยะมากกว่า 10 เมตรข้างหน้า แต่จากผลในตารางไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากยังมีการรับภาพที่เป็นมุมกว้างทำให้ภาพที่รับไม่ใช่แค่ภาพจากเส้นทางวิ่งของรถแทรกเตอร์เท่านั้น แต่ยังไปถึงขอบที่ไม่เกี่ยวข้องด้วย ระบบจะตรวจจับวัตถุได้ดี ก็มาจากภาพที่รับเข้ามา เพราะจากการทดสอบในช่วงเวลากลางคืนความแม่นยำในการตรวจสอบลดลงอย่างมากในช่วงกลางคืนหรือในสภาวะแสงน้อย อาทิเช่น ฝนตกมีเมฆดำ (<40%) ซึ่งสามารถปรับปรุงได้โดยเพิ่มไฟแสงสว่างบริเวณที่กล้องถ่ายไปได้ (แม่นยำเพิ่มเป็น 70-80%) ซึ่งจะต้องลดความผิดพลาดที่เกิดจากภาพให้ได้น้อยที่สุดในสภาวะปกติ ระบบสามารถนำเข้าภาพที่มีความละเอียด 1080p ได้ และตรวจเช็คภาพที่รับเข้ามาทุกๆ 10 fps ซึ่งถ้าเป็นสัตว์ที่อยู่ตามพื้นที่การเกษตร เช่น วัวและควาย มีการไหวที่ช้ากว่าคนมาก

และมีลักษณะค่อนข้างจำเพาะทำให้ระบบที่ทดสอบเบื้องต้นความแม่นยำอยู่ที่ 85-95%

แต่ทั้งนี้จากระบบเดิมที่ระบบ RTK-GNSS และเซนเซอร์จับสิ่งกีดขวาง (ไม่ระบุชนิดสิ่งกีดขวางได้) เมื่อนำกล้องและระบบ deep learning ประมวลผลใน raspberry pi 5 เป็นหน่วยประมวลผลแบบสมองกลฝังตัวด้วยความแม่นยำที่กล่าวไปข้างต้นอยู่ในระดับที่สามารถประยุกต์ใช้ได้จริงได้ แต่ควร

ทำงานร่วมกับ sensor fusion ตัวอื่นร่วมด้วย อาทิเช่น Lidar เป็นต้น เพราะการรับมาประมวล ถ้าหากภาพที่รับมาไม่ดี เช่น เจอแสงสะท้อน มีฝนตกหนัก อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้ ควรศึกษาทั้งมุมกล้องที่รับภาพ ความเร็วของรถแทรกเตอร์ไฟฟ้าที่จะไปติดตั้ง เพื่อให้ภาพที่ส่งไปยัง raspberry pi 5 สามารถใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5 เอกสารอ้างอิง

- ประภาส เริงริน., ทวีพล ชี้อัตย์. 2565. ยานยนต์ไฟฟ้าอเนกประสงค์เพื่อเกษตรกรรม. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23(1). 193-144.
- Boddu S., Mukherjee A. 2025. Efficient edge deployment of quantized YOLOv4 tiny for aerial emergency object detection on Raspberry Pi 5. arXiv preprint, arXiv:2506.12345.
- Griepentrog H.W., Pedersen S.M., Nielsen J., Andersen J.C. 2022. Safety in autonomous agricultural machinery—status and future challenges. Computers and Electronics in Agriculture 193, 106653.
- Mazzia V., Khaliq A., Chiaberge M. 2020. Real-time apple detection system using embedded systems with hardware accelerators: An edge AI application. arXiv preprint, arXiv:2004.09345.
- Milioto A., Lottes P., Stachniss C. 2017. Real-time semantic segmentation of crop and weed for precision agriculture robots leveraging background knowledge in CNNs. arXiv preprint, arXiv:1709.06764.
- Noguchi N., Will J., Reid J., Zhang Q. 2019. Development of autonomous tractors and agricultural field robots: A review. Biosystems Engineering 178, 94–113.
- Oksanen T., Visala A. 2009. Coverage path planning algorithms for agricultural field machines. Journal of Field Robotics 26(8), 651–668.
- Redmon J., Farhadi A. 2018. YOLOv3: An incremental improvement. arXiv preprint, arXiv:1804.02767.
- Walsh J., Campbell S., Mahony N., Carvalho A. 2019. Deep learning vs. traditional computer vision. In: Proceedings of the Computer Vision Conference (CVC).



บทความเต็ม ภาคนิทัศน์



ปัจจัยและการออกแบบเครื่องคัดแยกเมล็ดโกโก้แห้ง

Influence impact Factors of Cacao Sorter Design

พัทธวิภา สุทธิวารีย์^{1*}, ณัฏพล มนต์ชัยวานะกิจ¹, ธิปัตย์ สีลา¹, ศุภกรณ์ เขตนคร¹, ณัฐศักดิ์ คำเปลว²

Phakwipha Sutthiwaree^{1*}, Natchapol Monchaivanakit¹, Thipat Seela¹, Supakorn Ketnakorn¹,

Nattasak Camplew²

¹ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี, 27 หมู่ 1 ต.พลับพลา อ.เมือง จ.จันทบุรี, 22000

¹Chantaburi Agricultural Engineering Research Center, 27 M.1 Plubpla sub district, Mueang District, Chantaburi, 22000

²สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3, 180 หมู่ 27 ต.ศิลา อ.เมืองจ.ขอนแก่น, 40000

²Office of Agricultural Research and Development Region 3, 180 M.27 Sila sub district, Mueang District, Khon Khaen, 40000

*Corresponding author: Tel: +66-98-826-0122, Fax: +66-39-609-652 E-mail: s.pakwipa18@gmail.com

บทคัดย่อ

การคัดขนาดเมล็ดโกโก้มีผลต่อขั้นตอนคั่วเมล็ดเพื่อแปรรูป และการคัดให้เมล็ดมีขนาดเท่ากันเพื่อรักษาคุณภาพเมล็ดโกโก้ โดยเกษตรกรที่แปรรูปเป็นเมล็ดแห้งเพื่อส่งออกมีการแยกขนาดเมล็ดเป็น 2 เกรด คือ ขนาดใหญ่ และขนาดเล็ก คัดเมล็ดลีบและเมล็ดติดออกจากเมล็ดดีด้วยสายตา ซึ่งทำให้ความสามารถในการคัดต่ำ จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าเครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้มีทั้งแบบตะแกรงโยก แบบตะแกรงหมุน และแบบตะแกรงสั่น มีปัจจัยที่มีผลและเกี่ยวข้องกับการออกแบบ คือ ขนาดและรูปร่างของเมล็ดโกโก้ ปริมาณและอัตราการไหลของเมล็ดโกโก้ รูปแบบรูตะแกรง ระดับความสะอาดที่ต้องการ ความสามารถในการทำงาน และความเสียหาย ความสูญเสียจากการใช้เครื่องคัดขนาด ผลการทดสอบเบื้องต้นด้วยเครื่องคัดขนาดระดับห้องทดลอง พบว่า ตะแกรงรูกกลม ขนาด 11 mm. มุมเอียงของตะแกรง 6.6 ° ความถี่ในการสั่น 40-60 Hz เป็นรูปแบบตะแกรงที่สามารถคัดแยกได้ 96.27% โดยมีอัตราการป้อนที่ 2 kg h⁻¹ ซึ่งเป็นข้อมูลเบื้องต้น ที่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์สำหรับสร้างต้นแบบเพื่อเพิ่มความสามารถในการคัดขนาดเมล็ดโกโก้ได้

คำสำคัญ: เครื่องคัดขนาด, โกโก้, เมล็ดโกโก้แห้ง

Abstract

The size grading of cocoa beans affects the roasting process and the sorting to ensure uniform bean size, which helps maintain the quality of the cocoa beans. Farmers who process the beans into dry form for export typically sort the beans into two grades: large and small. They also need to separate flattened beans and beans that are stuck together, often done manually, which is labor-intensive and low capacity. Literature review indicates that cocoa bean grading machines include vibrating screen types, rotary screen types, and shaking screen types. Factors influencing their design include the size and shape of the cocoa beans, the flow rate and volume of beans, the screen pattern, desired cleanliness level, operational capacity, and potential damage or loss of beans during sorting. Initial testing with laboratory-scale grading machines revealed that round-hole screens with 11 mm diameter, inclined at approximately 6.6°, with a vibration frequency of 40–60 Hz, are effective. These screens round hole type achieved a separation efficiency of 96.27% at feed rate of 2 kg h⁻¹. This data can be used to develop prototypes to enhance the grading capacity of cocoa beans.

Keywords: Sorter, Cocoa, Dry cocoa seed

1 บทนำ

โกโก้เป็นพืชที่ถูกนำเข้ามาปลูกในไทยเมื่อ 100 กว่าปีก่อน แต่เป็นที่รู้จักและมีการนำเข้ามาเพื่อศึกษาวิธีการปลูกอย่างจริงจังเมื่อ 50 ปีก่อน โดยนักวิชาการของกรมวิชาการเกษตร และ

ปัจจุบัน ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร เป็นหน่วยงานที่เป็นแหล่งรวบรวมพันธุ์โกโก้ของไทย รวมถึงพัฒนาพันธุ์ที่มีความเหมาะสมกับการปลูกในประเทศไทย คือ พันธุ์โกโก้ลูกผสม

ในปี 2559-2563 โกโก้ได้รับความนิยมมากขึ้น ส่งผลให้พื้นที่ปลูกและผลผลิตเพิ่มขึ้น ร้อยละ 148.16 ต่อปี และ ร้อยละ

109.04 ต่อบี ตามลำดับ แต่ยังไม่เพียงพอกับความต้องการในประเทศ ส่งผลให้ปริมาณการนำเข้าเมล็ดโกโก้และผลิตภัณฑ์โกโก้เพิ่มขึ้น ร้อยละ 18.72 ต่อบี และร้อยละ 7 กรมพัฒนาที่ดิน (2565) สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า ได้วิเคราะห์ด้านการตลาดของโกโก้และผลิตภัณฑ์ ในปี 2566 ไทยส่งออกโกโก้และผลิตภัณฑ์โกโก้ รวมเป็นมูลค่า 87 ล้านเหรียญสหรัฐ (3,004 ล้านบาท) และในปี 2567 ตั้งแต่เดือนมกราคม-เดือนกันยายน ไทยส่งออกโกโก้และของปรุงแต่งที่ทำจากโกโก้ เป็นมูลค่า 74 ล้านเหรียญสหรัฐ (2,630.7 ล้านบาท) เพิ่มขึ้นร้อยละ 16.4 โดยมีตลาดส่งออกสำคัญและมีการขยายตัวคือ ญี่ปุ่น จีน เมียนมา แคนาดา สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ สหรัฐอเมริกา อินโดนีเซีย และรัสเซีย โกโก้และผลิตภัณฑ์จึงเป็นสินค้าเกษตรที่มีความต้องการของตลาดมากขึ้นและมีแนวโน้มมีการขยายตัวมากขึ้น เป็นโอกาสที่ดีของสินค้าโกโก้ ในปี 2565 -2573 ตลาดช็อกโกแลตทั่วโลกถูกคาดการณ์เติบโตร้อยละ 4.4 ต่อบี สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า (2567)

ในปี 2564 สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม โดยศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรีได้วิจัยต้นแบบเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับการแปรรูป คือ เครื่องผ่าผลโกโก้ โรงตากเมล็ดโกโก้แบบแสงอาทิตย์ และเครื่องอบเมล็ดโกโก้ เพื่อช่วยลดเวลา แรงงาน และ แก้ปัญหาการผลิตโกโก้ในช่วงฤดูฝนที่ทำให้ไม่สามารถลดความชื้นโกโก้ได้ตามต้องการ แต่เครื่องมือ เครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปเมล็ดโกโก้ ยังมีการพัฒนาไม่ครบทุกขั้นตอนและยังขาดแคลนเครื่องมือเครื่องจักรที่ทันสมัย ขนาดกะทัดรัดและคณะ(2023) งานวิจัยนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งของการคัดขนาดเมล็ดโกโก้แห้งที่มีการส่งออกและใช้เป็นวัตถุดิบภายในประเทศเพื่อเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์โกโก้ บทความนี้เป็นการวิเคราะห์สถานการณ์การผลิตโกโก้ วิธีการแปรรูปและการใช้เครื่องมือในการแปรรูปจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามและการทดสอบเก็บข้อมูลจากวิธีปฏิบัติของเกษตรกร ผู้แปรรูป ในเขตพื้นที่ จังหวัดจันทบุรี ที่เป็นแหล่งรับซื้อเมล็ดโกโก้ และการตรวจสอบเอกสารเครื่องมือที่ใช้สำหรับการแปรรูปเมล็ดโกโก้แห้ง เพื่อการพัฒนาเครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้แบบแรงสั่น (Vibration sorter) สำหรับการแปรรูปเมล็ดโกโก้เพื่อการส่งออก

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 สรรวจเก็บข้อมูล

ใช้แบบสอบถามแบบคำถามปลายเปิดสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ผลิตและผู้แปรรูปเมล็ดโกโก้ ในจังหวัดจันทบุรี จำนวน 10 ราย เพื่อนำผลที่ได้ ไปใช้ออกแบบให้เหมาะสมกับการปฏิบัติของเกษตรกร

2.2 เก็บข้อมูลทางกายภาพของเมล็ดโกโก้แห้ง

สุ่มตัวอย่างเมล็ดโกโก้แห้งจากผู้ประกอบการแปรรูปเมล็ดโกโก้ ที่คัดแยกด้วยมือ โดยแยกเป็น ขนาดเล็ก ใหญ่ และเมล็ดลีบ-ติด จำนวน ตัวอย่างละ 300 เมล็ด เก็บข้อมูลทางกายภาพของเมล็ดโกโก้แห้ง วัดขนาดเมล็ด (กว้างxยาวxหนา) ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ ความละเอียด 0.02 mm. ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง และตรวจสอบความชื้นเมล็ดด้วยการใช้เครื่องอบแบบลมร้อน (hot oven) ขนาด 53 ลิตร อบที่ 105 °C 15 ชั่วโมง และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสูตรที่อ้างถึง โดย Ato Bart-Plange, Edward A. Baryeh. (2003), Pedro Garcia-Alamilla, Efrain De la Cruz Lazaro (2012), Jaiyeoba Kehinde Folake, Ogunlade Clement Adesoji. (2017) ดังนี้

$$\text{ความชื้นมาตรฐานเปียก (MC, \%)} = \frac{(w-d)}{w} \times 100 \quad (1)$$

w = น้ำหนักก่อนอบ

d = น้ำหนักหลังอบ

$$\text{ความเป็นทรงกลม (Sphericity)} \phi = \frac{\sqrt[3]{L+w+t}}{L} \quad (2)$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางเมล็ดโกโก้แบบเชิงเส้น, } B = (wt)0.5 \quad (3)$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางแบบเรขาคณิต, } D_g = (wLt)1/3 \quad (4)$$

L = ความยาว

w = ความกว้าง

t = ความหนา

$$\text{พื้นที่ผิว (Surface area), } S = \frac{\pi BL^2}{2L-B} \quad (5)$$

$$\text{ปริมาตร (V)} = \frac{\pi B^2 L^2}{6(2L-B)} \quad (6)$$

โดยที่ B = เส้นผ่านศูนย์กลางแบบเชิงเส้น คำนวณจากสมการ (3)

L = ความยาว (Garcia-Alamilla et al. ,2012)

คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดโกโก้สามารถนำไปใช้พิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบเครื่องคัดขนาด ในการเลือกขนาดรูปแบบ ของรูตะแกรง มุมเอียงตะแกรง และ ความถี่ในการสั่นตะแกรง

2.3 ตรวจสอบเอกสาร

ค้นคว้า ตรวจสอบเอกสารเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้สำหรับแปรรูปเมล็ดโกโก้ จากบทความ เอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง และ สรรวจวิธีการใช้เครื่องมือสำหรับการแปรรูปเมล็ดโกโก้แห้งของเกษตรกรในพื้นที่ จังหวัดจันทบุรี เพื่อนำหลักการคัดแยก มาปรับใช้ในการออกแบบ รวมถึงวิธีการทดสอบเครื่องต้นแบบตามหลักทฤษฎีการคัดแยก ประยุกต์รวมกับหลักและวิธีการปฏิบัติของเกษตรกร ให้เครื่องต้นแบบสามารถตอบโจทย์ แก้ปัญหาเรื่องแรงงาน เพิ่มความสามารถในการคัดแยก

2.4 วิเคราะห์ปัจจัยที่จำเป็นสำหรับการออกแบบ

การออกแบบเครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้แห้ง มีปัจจัยทางกายภาพของเมล็ดโกโก้ และปัจจัยทางกลของระบบการคัดแยกที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องฯ เช่น ขนาดและรูปร่างของเมล็ดโกโก้ ปริมาณและอัตราการไหลของเมล็ดโกโก้ รูปแบบรูตะแกรง มุมเอียงของตะแกรง ระดับความสะอาดที่ต้องการระดับของแรงสั่นที่ทำให้เมล็ดเคลื่อนที่ จึงทดสอบการคัดขนาดตัวอย่างเมล็ดโกโก้ด้วยเครื่องคัดขนาดระดับห้องปฏิบัติการ ใช้ตะแกรงเขย่าด้วยมอเตอร์เขย่า (Vibrator motor) 220 V 60 Hz ทดสอบขนาด รูปแบบการจัดวางรูตะแกรง ทั้งแบบรูลม และแบบรูวงรี แบบละ 3 ซ้ำ โดยมีอัตราการป้อนเมล็ด 2 kg h^{-1} เก็บค่าประสิทธิภาพการคัดแยก เพื่อเก็บข้อมูลในระดับห้องปฏิบัติการ หาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการสร้างเครื่องต้นแบบ

3 ผลและวิจารณ์

3.1 สถานการณ์การผลิตโกโก้ กรณีศึกษา จ.จันทบุรี

การปลูกโกโก้ในพื้นที่ จ.จันทบุรี ระยะเวลา 3 ปี และ สรรพากรส่วนมากเป็นการปลูกแบบพืชแซม ในสวนผลไม้ โดยมีแหล่งที่รับซื้อเมล็ดสดในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี 3 ราย และ สรรพากร เพื่อแปรรูปเป็นโกโก้แห้งส่งออก เป็นการจ้างแรงงานคนทั้งหมดทุกขั้นตอน ตั้งแต่การเก็บผล ผ่าผล หมักเมล็ด ตากแห้ง และคัดขนาดเมล็ด โดยผลิตตามมาตรฐานเมล็ดโกโก้แห้งของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2551) กำหนดเมล็ดโกโก้ที่มีคุณภาพ คือ เมล็ดโกโก้ที่ไม่ขึ้นรา ไม่เป็นเมล็ดที่มีสีเทาหินขุ่น ไม่เสียหายจากแมลง ไม่เป็นเมล็ดงอก เมล็ดเกาะ เมล็ดลีบ เมล็ดสีม่วง เมล็ดแตก และกำหนดเกณฑ์คุณภาพของโกโก้ โดยต้องมีเมล็ดลีบปนไม่เกิน 1.5% เมล็ดเกาะเมล็ดแตกปนไม่เกิน 3.5% ไม่มียีสปนผิดปกติ ไม่มีแมลงหรือไร ความชื้นเมล็ดต้องไม่เกิน 7.5% รวมทั้งมีสิ่งแปลกปลอมปนไม่เกิน 0.75% แบ่งชั้นคุณภาพ 3 ระดับ ชั้นพิเศษ ชั้น 1 ชั้น 2 และกำหนดเกณฑ์ขนาดเมล็ด เป็น 4 ขนาด คือ ขนาด 1 น้ำหนัก 100 g 100 เมล็ด (1 g/seed) ขนาด 2 น้ำหนัก 100 g 101-110 เมล็ด (0.9-0.99 g/seed) ขนาด 3 น้ำหนัก 100 g 111-120 เมล็ด (0.9-0.83 g/seed) และขนาด 4 น้ำหนัก 100 g มากกว่า 120 เมล็ด (น้อยกว่า 0.83 g/seed)

3.2 ผลการเก็บข้อมูลทางกายภาพของเมล็ดโกโก้แห้ง

จากข้อมูลมาตรฐานการคัดเกรดของผู้ประกอบการแปรรูปเมล็ดโกโก้แห้งเพื่อส่งออก (ข้อมูลจากการสำรวจ, 2567) แบ่งการคัดเกรดเป็น 2-3 ระดับ คือ ใหญ่ และเล็ก หรือ ใหญ่ กลาง เล็ก ตามคุณภาพของเมล็ดโกโก้ในแต่ละช่วงฤดูการผลิต โดยที่เมล็ดโกโก้ต้องไม่มีเมล็ดลีบ เมล็ดติด และสิ่งเจือปนอื่นๆ สุ่มตัวอย่างเมล็ดโกโก้ เกรด ใหญ่ เล็ก และลีบ ดัง Figure 1 เพื่อวัดคุณสมบัติทางกายภาพ ผลการทดสอบพบว่า เมล็ดโกโก้ตัวอย่าง มีความ

หนาแน่นเฉลี่ย 656.5 kg m^{-3} ตัวอย่างเมล็ดขนาดใหญ่ น้ำหนักเมล็ด 300 เมล็ด น้ำหนักเฉลี่ย 1.06 g/seed ซึ่งเป็นขนาดที่ใหญ่กว่ามาตรฐาน ขนาด 1 และตัวอย่างที่เป็นเมล็ดขนาดเล็กน้ำหนักเฉลี่ย 0.56 g/seed ซึ่งเป็นขนาดที่อยู่ในเกณฑ์ขนาด 4 (ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร) ความชื้นของตัวอย่างทั้งสองขนาดอยู่ในช่วง 6.12-6.89 % ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานความชื้นที่ยอมรับได้ของการผลิตเมล็ดโกโก้แห้ง

คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดโกโก้แบบเมล็ดดี และเมล็ดลีบ (คัดทิ้ง) มีค่าความเป็นทรงกลมของเมล็ดโกโก้ตัวอย่าง เมล็ดขนาดใหญ่ ขนาดเล็ก และเมล็ดลีบ เป็น 0.61, 0.60 และ 0.55 ตามลำดับ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางแบบเชิงเส้นของเมล็ดขนาดใหญ่ เล็ก และลีบ เป็น 9.88, 7.93 และ 1.69 mm. ตามลำดับ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางแบบเรขาคณิต ของเมล็ดขนาดใหญ่ เล็ก และลีบ เป็น 12.67, 10.23 และ 3.11 mm. ค่าพื้นที่ผิวของเมล็ดขนาดใหญ่ เล็ก และลีบ เป็น 427.25, 334.89 และ 31.94 mm^2 ดัง Table 1 จะเห็นได้ว่า ค่าความเป็นทรงกลมของเมล็ดใหญ่และเล็กมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแบบเชิงเส้น และแบบเรขาคณิต ของเมล็ดทั้งสามเกรด มีความแตกต่างกันชัดเจน เป็นปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการพิจารณาเลือกขนาดและรูปแบบรูตะแกรง

Table 1 Physical property of Sample dry cocoa bean

Physical property of dry cocoa bean						
	Weight (g/100seed)	Mc (%)	Spherical	Linear dia. (mm.)	Surface area ($\text{mm}^2 \text{ seed}^{-1}$)	Volume (mm^3)
L	106.22	6.12	0.609	9.89	427.25	713.38
S	56.31	6.89	0.602	7.93	334.89	577.17
Dud	53.96	14.19	0.552	1.69	31.94	9.96



Figure 1 Dried cocoa bean large, small and dud type

3.3 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีการคัดแยกผลผลิตทางเกษตรที่มีลักษณะเป็นเมล็ด (small particle) ที่ได้ปรับเปลี่ยนจากการคัดด้วยสายตา ใช้ความชำนาญ และความคุ้นเคย ปัจจุบันเครื่องมือสำหรับการคัดแยกผลผลิตทางการเกษตร เป็นนวัตกรรมที่ใช้คอมพิวเตอร์ร่วมปรับใช้ในระบบ ผ่านเทคนิคการจำลองการมองเห็น (Artificial Vision) ที่ช่วยเพิ่มความเร็วในการคัดแยกเมล็ดโกโก้ และแยก

คุณภาพของผลิตผลการเกษตร ด้วยการใช้เครื่องมือ Machine Learning ร่วมกับโปรแกรม MATLAB 2536 ได้มีการศึกษาโดยใช้คุณสมบัติการกระเด็น (Bouncing property) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การคืนตัว (Coefficient of Restitution) ของเมล็ดโกโก้แห้งเพื่อการออกแบบและสร้างเครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้พบว่า ไม่สามารถใช้คุณสมบัตินี้ในการคัดแยกเมล็ดได้ (ธนัชชัย และคณะ, 2536)

เครื่องคัดขนาดเมล็ดกระเทียมแบบตะแกรงโยก ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยใช้ตะแกรงคัดขนาดแบบรูกกลม จำนวน 3 ชั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 12.62, 9.37 และ 6.35 mm. ใช้พัดลมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง 1 hp เป็นชุดทำความสะอาดสิ่งเจือปน ทดสอบที่ความเร็วรอบการหมุน 306 rpm พบว่าความสามารถในการทำงาน 391.62 kg h⁻¹ กระเทียมเสียหายแบบแตกหัก 3.40-4.42 % โดยน้ำหนัก (ชัยวัฒน์ และคณะ, 2559) ชุดตะแกรงคัดแยกเมล็ดกาแฟกะลา แบบทรงกระบอก หมุนในแนวนอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 360 mm. ยาว 1200 mm. ขนาดรูตะแกรง 8 x 20 mm. ใช้มอเตอร์ขนาด ½ hp ความเร็วรอบหมุน 24 rpm หรือ 0.46 ms⁻¹ ความสามารถในการทำงาน 1200 kg h⁻¹ วิบูลย์และคณะ (ม.ป.ป)



Figure 2 Coffee bean sorter

เครื่องคัดแยกข้าวตอกแบบตะแกรงรูกกลม 2 ชั้น ขนาดรูตะแกรง 6 และ 5 มม. ใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า เป็นต้นกำลังทดสอบ ความเร็วในการโยกตะแกรง 3 ระดับ คือ 5.8, 6.08 และ 6.83 m/s ที่มุมเอียงของตะแกรง 3 ระดับ คือ 7,15 และ 30 ° พบว่า เปอร์เซ็นต์การคัดแยกข้าวตอกขนาด 6 mm., 5 mm. สิ่งเจือปน และการสูญเสีย เป็น 92%, 3.52%, 4.65% และ 0.33% ประสิทธิภาพการคัดแยก 65.09% แต่ความสามารถในการทำงาน ยังมีค่าต่ำ 1.26 kg h⁻¹ (จาริณี และพลเทพ, 2561)

เครื่องคัดขนาดเมล็ดอัลมอนต์ที่ใช้แรงสั่นให้วัสดุผ่านตะแกรง ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัทในประเทศบราซิล เครื่องคัดเมล็ดโกโก้ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นในประเทศอินโดนีเซีย เพื่อคัดแยกคุณภาพและทำความสะอาดเมล็ดโกโก้แห้ง เครื่องต้นแบบขนาด 0.15 x 1.4 x 1.1 m. (กว้างxยาวx สูง) ประกอบด้วยตะแกรงแบบ

รูกกลม จำนวน 3 ชั้นโดยชั้นที่ 1เป็นตะแกรงรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 mm. ชั้นที่ 2 เป็นตะแกรงรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 mm.เพื่อแยกเมล็ดโกโก้ 3 ขนาด โดย เมล็ดใหญ่ (ขนาดเมล็ดมากกว่า 15 mm.) เมล็ดกลาง (ขนาดเมล็ดอยู่ระหว่าง 10-15 mm.) เมล็ดเล็ก (ขนาดเมล็ดน้อยกว่า 10 mm. มอเตอร์ 220 V 1 hp เป็นต้นกำลัง ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับ การคัดขนาดด้วยแรงงานคน พบว่า เพิ่มความสามารถในการทำงาน 10 เท่า (แรงงานคน 16.12 kg h⁻¹ เครื่องต้นแบบ 172.41 kg h⁻¹) ประสิทธิภาพการคัดขนาดไม่แตกต่างกัน Rahtikal et al. (2023)

เครื่องคัดขนาดแบบใช้มอเตอร์สั่น (Vibratory motor) ที่พัฒนาโดยบริษัทในบราซิล เครื่องคัดเมล็ดแบบตะแกรงหมุน และ เครื่องคัดเมล็ดแบบตะแกรงโยกในแนวระดับ ถูกใช้สำหรับทดสอบคัดขนาดเมล็ดโกโก้ เพื่อเลือกเครื่องที่เหมาะสมกับการคัดขนาดเมล็ดโกโก้ จากวิธีการถ่วงน้ำหนักของปัจจัย ดังนี้ 30% ความน่าเชื่อถือ (Reliability), 30% ต้นทุน (Cost), 20% ความง่ายในการทำความสะดวก (Easy cleaning), 13.3% การดูแลรักษา (Maintenance) และ 6.7% ความสามารถในการทำงาน (capacity) ผลการวิเคราะห์ พบว่า เครื่องคัดเมล็ดแบบตะแกรงโยกในแนวระดับ มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยมีค่าที่ได้จากการถ่วงน้ำหนัก รวม มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องคัดสองแบบ ซึ่งได้มีการพัฒนาให้ใช้การวิเคราะห์ด้วย Machine Vision และอัลกอริทึม Artificial Intelligence คัดแยกเมล็ดคุณภาพดี และด้วยคุณภาพ ด้วยการใช้ Math Lab ผลการใช้ โมเดล supervised learning ให้ค่า 90.5% SVM ผลการทดสอบใช้อัลกอริทึมในการทดสอบคัดแยกเมล็ดโกโก้ พบว่ามีประสิทธิภาพดีเยี่ยม MSc Kelvin et al. (2022)

เครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงโยก ขนาด ยาว 1.4 m. กว้าง 0.75 m. และสูง 1.1 m. ต้นกำลัง มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า 1400 rpm ส่งกำลังผ่านสายพานแบบตัว V ถูกออกแบบและทดสอบคัดขนาดเมล็ดโกโก้ ด้วยตะแกรงรูกกลม ขนาด 14 mm. ทดสอบแยกขนาด เป็น 3 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ (>15 mm.) ขนาดกลาง (10-15 mm.) และขนาดเล็ก (< 10 mm.) ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 172 kg h⁻¹ Rahtika et al. (2023)

ปัจจัยที่มีผลต่อการคัดแยกและทำความสะอาดของเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าว ที่ใช้หลักการความถ่วงจำเพาะ ได้แก่ อัตราการป้อน ความเร็วรอบของตะแกรงโยก และความเร็วลมในการดูด อัตราการป้อนสูง ทำให้สิ่งเจือปนตกค้างมาก ความเร็วลมน้อยจะทำให้สิ่งเจือปนตกค้างมาก ผลการทดสอบ พบว่า อัตราการป้อนเมล็ดข้าว 300 kg h⁻¹ และความเร็วลมดูด 1.5 m s⁻¹ ความเร็วรอบตะแกรงโยก 250 rpm เป็นค่าที่เหมาะสม ซึ่งมีการสูญเสีย

เมล็ดข้าว 1.36 % และสิ่งเจือปนที่เหลือค้ำ 0.43% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ปิยะพงษ์ และคณะ (2558)

เครื่องคัดแยกข้าวพันธุ์คุณภาพ แบบตะแกรงหลุมกลม วางเอียง 5 องศา หมุนที่ความเร็วรอบ 35.67 rpm สามารถคัดแยกกรวด หินขนาดเล็ก ลูกหญ้า เมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ ความสามารถในการทำงาน 181.82 kg h^{-1} ประสิทธิภาพการคัดแยกข้าวเปลือก 99.92 % เปอร์เซ็นต์สูญเสียข้าวเปลือก 0.077% ณฤตล และวรวรรณ (2559)

การแปรรูปโกโก้ด้วยวิธีปฏิบัติของเกษตรกร วิสาหกิจชุมชน

จากการสำรวจวิธีปฏิบัติของ เกษตรกรผู้แปรรูปโกโก้เพื่อการส่งออก “สุริยาโกโก้” อ.ขลุง จ.จันทบุรี พบว่า หลังจากเมล็ดถูกแกะออกจากผลโกโก้ มีขั้นตอนวิธีการและการใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้ ขั้นตอนหมัก: เมล็ดโกโก้ถูกหมักในถังที่ทำจากไม้ ขนาด $1 \times 1 \times 1 \text{ m}$. (กว้าง x ยาว x สูง) คลุมด้วยกระสอบป่านหมักทิ้งไว้ อย่างน้อย 7 วัน จากนั้นนำไปตากแห้งเพื่อลดความชื้นเหลือ 7% โดยตากบนโต๊ะ ขนาด $1.5 \times 3 \text{ m}$. (กว้าง x ยาว) บุด้วยตาข่าย ที่ช่วยระบายความชื้น แต่ปัญหาที่พบ คือ ผลผลิตมาก พื้นที่ตากน้อย เนื่องจากมีผลผลิตโกโก้มากในช่วงฤดูฝน จึงแก้ปัญหาโดย ตากในโรงเรือนพลาสติกทรงพาราโบลา แต่ยังคงประสบปัญหาเรื่องการพลิกกลับและการเกลี่ยเมล็ด เพื่อป้องกันเมล็ดติดกัน และลดการเกิดเชื้อรา



Figure 3 Traditional cocoa processing

ซึ่งระหว่างตากเมล็ดจะต้องเกลี่ยเมล็ดด้วยแรงงานคน เมื่อเมล็ดแห้งแล้ว จะถูกคัดแยกด้วยสายตาและด้วยแรงงานคน (figure 4) โดยการใช้ตะแกรงพลาสติก หรือโต๊ะที่ขึงตาข่าย ให้สะดวกกับการทำงาน ในขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนที่ใช้แรงงานมาก และเป็นแรงงานที่มีความชำนาญในการคัดแยกขนาด ความสามารถในการคัดแยกขนาดด้วยสายตา $1.25\text{-}7.5 \text{ kg h}^{-1}$



Figure 4 Dry cocoa seed manual sorting

3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบและการออกแบบเครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้แบบสั่น

ก่อนที่เมล็ดโกโก้จะถูกนำไปคั่วเพื่อกระเทาะเปลือกออก และถูกแปรรูปเป็นโกโก้ผง เพื่อการผลิตชอคโกแลต หรือ ผงโกโก้ นั้น จำเป็นต้องมีการคัดขนาดและทำความสะอาดเมล็ดโกโก้แห้ง เพื่อให้ได้มาตรฐานการผลิตเมล็ดโกโก้แห้งสำหรับการส่งออก และเพื่อรักษาคุณภาพของโกโก้แปรรูป ในการออกแบบเครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้แห้งนั้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ ขนาดและรูปร่างของเมล็ดโกโก้ ปริมาณและอัตราการไหลของเมล็ดโกโก้ ขนาดและรูปแบบรูตะแกรง ระดับความสะอาดที่ต้องการความสามารถในการทำงาน และความเสียหาย ความสูญเสียจากการคัดขนาด

ในงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยและพัฒนาเครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้ เพื่อการออกแบบเครื่องคัดขนาดแบบใช้มอเตอร์สั่น (Vibration motor) ผลการเก็บข้อมูลเบื้องต้น ปัจจัยด้านอัตราการไหลของเมล็ดโกโก้ และโดยทดสอบการแยกเมล็ดโกโก้ด้วยเครื่องคัดขนาดระดับห้องทดลอง ผลการทดสอบพบว่า ตะแกรงรูกกลมขนาด 11 mm. มุมเอียงของตะแกรงคัดขนาด 6.6° ความถี่ ในการสั่น 40-60 Hz เป็นเงื่อนไขที่สามารถคัดแยกได้ 96.27% โดยอัตราการป้อนที่ 2 kg h^{-1}

ข้อมูลจากการทดสอบเบื้องต้นสามารถนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างต้นแบบ ขนาดบรรจุ 80-100 kg โดยใช้มอเตอร์เขย่า 220 V 3000 rpm ชุดปรับรอบการสั่น พัดลมทำความสะอาด และคัดแยกเมล็ดลิบ ตัด ใช้ตะแกรงแบบรูกกลมขนาด 12 mm. ดัง Figure 5

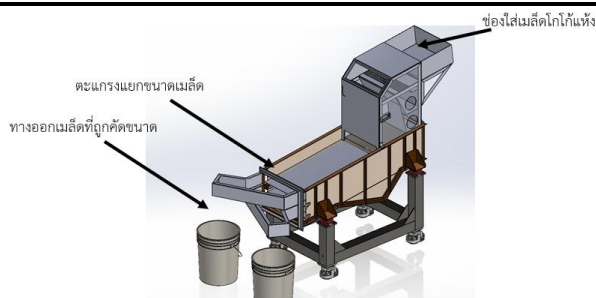


Figure 5 Model of Cocoa sorter vibrator type

4 สรุป

การคัดขนาดเมล็ดโกโก้มีผลต่อขั้นตอนการคั่วเมล็ดโกโก้และรักษาคุณภาพของเมล็ดโกโก้ โดยเกษตรกรที่แปรรูปเป็นเมล็ดโกโก้แห้งเพื่อส่งออก แยกขนาดเมล็ดเป็น 2 เกรด คือ ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ทั้งนี้ต้องมีการคัดเมล็ดลิบและเมล็ดติดออก โดยใช้แรงงานคน ซึ่งความสามารถในการทำงานช้า เนื่องจากความเมื่อยล้า และขาดความชำนาญ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าเครื่องคัดขนาดนั้นมีแบบตะแกรงโยก แบบตะแกรงหมุน และแบบตะแกรงสั่น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบที่เกี่ยวข้องคือ ขนาดและรูปร่างของเมล็ดโกโก้ ปริมาณและอัตราการไหลของเมล็ดโกโก้ ระดับความสะอาดที่ต้องการ ความสามารถในการทำงาน และความเสียหาย ความสูญเสียที่เกิดจากการใช้เครื่องคัดเปรียบเทียบกับคัดด้วยมือ

เมล็ดโกโก้ที่ใช้เป็นตัวอย่าง มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางแบบเชิงเส้นของเมล็ด ขนาดใหญ่ เล็ก และลิบ เป็น 9.88, 7.93 และ 1.69 mm. ตามลำดับ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางแบบเรขาคณิตของเมล็ดขนาดใหญ่ เล็ก และลิบ เป็น 12.67, 10.23 และ 3.11 mm. ที่มีค่าแตกต่างกันชัดเจน จากการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการพบว่า ตะแกรงแบบรูกกลมขนาด 11 mm. สามารถคัดแยกได้ดี ความสามารถคัดแยกได้ 96.27% ที่มุมเอียงของตะแกรง 6.6° ปริมาณและอัตราการไหลของเมล็ดโกโก้วิเคราะห์โดยใช้ความถี่การสั่นของตะแกรง พบว่าความถี่ในการสั่น 40-60 Hz เป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับอัตราการป้อนที่ 2 kg h^{-1} ซึ่งเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการสร้างต้นแบบเพื่อเพิ่มความสามารถในการคัดขนาดเมล็ดโกโก้ได้ และต้องมีการทดสอบในด้าน ระดับความสะอาดที่ต้องการ ความสามารถในการทำงาน และความเสียหาย ความสูญเสียที่เกิดจากการใช้เครื่องคัดขนาด เมื่อสร้างต้นแบบขนาดบรรจุ 80-100 kg

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ ต้องขอขอบคุณ คุณสุรียา ใจสุทธิ เจ้าของสวนสุรียาโกโก้ จันทบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล และเครื่อง

คัดขนาดแบบตะแกรงโยก สำหรับเก็บข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบเครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้

6 เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2565. *เขตการใช้ที่ดินพืชเศรษฐกิจโกโก้*. กรุงเทพฯ: กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2551. *กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร : เมล็ดโกโก้ ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2551*. กทม.: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- จาริณี จงปลื้มปิติ, พลเทพ เวงสูงเนิน. การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกข้าวตอก. วารสารเกษตรพระวรุณ. 15(1), 229-237.
- ชนากานต์ จันทร์สินาค, นภาพร สุวรรณศฤงคาร, เดโช แชน้ำแก้ว, ดำรงค์พันธ์ ใจหาวิระพงศ์, สุธีรา, ใจรักษา เงินถาวร. 2566. แนวทางการส่งเสริมการแปรรูปโกโก้ กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนท่าศาลา(สวนโกโก้ป่าเต็ง) หมู่ 9 ต.สระแก้ว อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช. *Journal of Spatial Development and Policy* ปีที่ 1 ฉบับที่ 5, 1-12.
- ชัยวัฒน์ เผ่าสันตพัฒน์ชัย, อธิศักดิ์ โกเมฆ, สนอง อมฤกษ์, สกิต พงศ์รัตน์คำ, ปรีชา ชมเชียงคำ, สมเดช ไทยแท้, อนุชา เขาว์โชติ, ณฐนน พูแสง. 2559. *ศึกษาและพัฒนาเครื่องแกะและคัดขนาดกลีบกระเทียมพันธุ์*. กทม.: กรมวิชาการเกษตร.
- ณฤตล พอนรัตน์ และ วรวรรธน์ นกน้อย. 2559. *การศึกษาและพัฒนาเครื่องคัดข้าวพันธุ์คุณภาพสำหรับโรงสีสำหรับชุมชน*. นครปฐม: คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- ธนัชชัย พันตาเอก, กันตนิธิ วิจิตรตา, ทศนัย ว่าขานฤทธิ. 2536. *บทความวิจัย ออกแบบและสร้างเครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้โดยใช้คุณสมบัติการกระเด็น*. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลวงการเก็บเกี่ยว. แหล่งข้อมูล: https://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=wf240. เข้าถึงเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2568
- ปิยะพงษ์ วงศ์ขันแก้ว, วิทยา พรหมพฤกษ์, ประยุตต์ คำหอมรีน, และจิระศักดิ์ ชูเกาะ. 2558. ปัจจัยที่มีผลต่อการคัดแยกและทำความสะอาดของเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์สำหรับชุมชน. *ว.วิทย์.เกษตร*, 489-492.
- วิบูลย์ เทเพนท์, ปรีชา อานันท์รัตนกุล, พิมล วุฒิสินธุ์, นิทัศน์ ตั้งพินิจกุล, สุภัทร หนูสวัสดิ์, มปป. *วิจัยและพัฒนาเครื่องมือและเทคโนโลยีการแปรรูปกาแฟ*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.
- สถาบันวิจัยพืชสวน. 2564. *การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิตโกโก้*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.

สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า. 2567. *อัพเดทข่าวสาร*.

สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า: แหล่งข้อมูล
<https://tpso.go.th/news/2411-0000000004>. เข้าถึงเมื่อ
6 กุมภาพันธ์ 2568.

Ato Bart-Plange, Edward A. Baryeh. 2003. The physical properties of Category B cocoa beans, *Journal of Food Engineering*, Volume 60, Issue 3, P. 219-227.

Jaiyeoba Kehinde Folake, Ogunlade Clement Adesoji. 2017. Some physical properties of fermented locust bean produced in four different locations in Nigeria. *International Journal of Research in Engineering Applied Sciences (IJREAS)*. Vol.7 Issue 4. Available online at <http://euroasiapub.org/journals.php>. Accessed on 5 January 2025.

MSc Kelvin, D. M., Ing. Miguel, E. A., & Ing. Jonathan, D. 2022. Design and simulation of an artificial vision sorting machine and cocoa pulping machine. Mexico: *Ciencia Latina Resivsta Cientifica Multidisciplinar*.

Pedro Garcia-Almilla, Efrian De la Lazaro. 2012. Description and physical properties of Mexican cacao during post-harvest processing. publication at: <https://www.researchgate.net/publication/267156719>. Accessed on 5 January 2025.

Rahtika, I., Suarta, I., Rusmariadi, I., & Hardianta, I. 2023. A Design of A Cocoa Bean Sorting Machine. *International Research Journal of Engineering, IT & Scientific Research*, 9(1), 14- 20. Retrieved from <https://sloap.org/journals/index.php/irjeis/>. Accessed on 5 January 2025.



สถานการณ์การใช้เครื่องจักรในการผลิตน้ำตาลมะพร้าว

Usage Scenarios of Coconut Sugar Machinery

คชธร อ่างบุญพงษ์^{1*}, อนุชิต ฉ่ำสิงห์¹, จิรวาส์ เจียรตระกูล¹, ปรีชา อานันท์รัตนกุล¹, ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์¹, สุรชาติ รัชยาทอง¹

Kochathorn Angboonpong^{1*}, Anuchit Chamsing¹, Jirawat Chiatrakul¹, Preecha Ananrattanakul¹, Parinyawat Yoothongin¹, Surachat Rayathong¹

¹สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok, 10900

*Corresponding author: Tel: +66-9-7136-3336, Fax: +66-2-940-5791, E-mail: samms_kub@hotmail.com

บทคัดย่อ

เพื่อศึกษา วิเคราะห์ปัญหาและอุปสรรคในการประยุกต์ใช้เครื่องจักรสำหรับการผลิตน้ำตาลมะพร้าวในจังหวัดสมุทรสงคราม สมุทรสาคร ราชบุรี และเพชรบุรี โดยการรวบรวมข้อมูลหลัก จะใช้วิธีการสัมภาษณ์เชิงลึกและการสังเกตการณ์แบบมีส่วนร่วม ของผู้ประกอบการผลิตน้ำตาลมะพร้าว จำนวน 5 กลุ่ม พบว่ากระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวของแต่ละพื้นที่มีความคล้ายคลึง ตั้งแต่กระบวนการเก็บน้ำตาลช่อดอกมะพร้าว จนกระทั่งกระบวนการหดยอดขึ้นรูปน้ำตาลมะพร้าว โดยในขั้นตอนการรวบรวมน้ำช่อดอกมะพร้าวจะมีการเก็บ 2 รอบต่อวัน ช่วงเช้าเริ่ม 05.00น. และช่วงเย็นเริ่มตั้งแต่ 15.00น. เป็นต้นไป โดยแรงงานภาคเกษตรมีความสามารถในการเก็บน้ำช่อดอกมะพร้าว 16.67 kg.h⁻¹ (0.06 man.h.kg⁻¹) และในขั้นตอนการต้มเคี่ยวเพื่อไล่น้ำออกจะใช้เวลาปริมาณน้ำช่อดอกมะพร้าว ประมาณ 40 liter หรือขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลจากช่อดอกมะพร้าวที่รวบรวมได้ในแต่ละวัน ซึ่งจะใช้เวลาในการต้มเคี่ยวประมาณ 1.30 h น้ำตาลมะพร้าวเคี่ยวที่ได้จะมีความหนืดที่เหมาะสมและจะได้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวประมาณ 8 kg จากนั้นจะนำน้ำตาลมะพร้าวจะถูกนำไปกวนลดอุณหภูมิให้เย็นด้วยตะกร้อเหล็กสปริงโดยใช้วิธีการเทเพื่อไล่ฟองอากาศหรือใช้เครื่องจักรในการช่วยกวนลดอุณหภูมิ ใช้เวลาในการกวนลดอุณหภูมิประมาณ 7-8 min หรือขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำตาลมะพร้าวเคี่ยว และนำไปหดยอดขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวในแบบหรือภาชนะที่แตกต่างกันตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งจะต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จภายในเวลาไม่เกิน 5-10 min เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำตาลแข็งตัวที่ จากการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์จะพบว่าในทุกขั้นตอนต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก และเป็นแรงงานที่มีทักษะประสบการณ์ อย่างน้อย 2 คน ซึ่งในปัจจุบัน แรงงานภาคการเกษตรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (มากกว่า 63%) โดยส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 51-60 ปี (มากกว่า 44%) และมีประสบการณ์ทำงานมากกว่า 9 ปี (มากกว่า 52%) (วรฤทัย หาญโชติพันธุ์, 2559) จากข้อมูลดังกล่าวปัญหาหลักที่พบคือ แรงงานภาคเกษตรเข้าสู่ช่วงสูงวัยและการขาดแคลนแรงงานที่มีทักษะในตรวจสอบคุณภาพน้ำตาลมะพร้าวทั้งกระบวนการต้มและกระบวนการกวนน้ำตาลมะพร้าว ทำให้การผลิตไม่มีมาตรฐานที่ชัดเจนและไม่สามารถขยายกำลังการผลิตได้อย่างเต็มที่ เพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ จึงควรมีการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่สามารถเข้ามาช่วยลดการพึ่งพาทักษะของแรงงาน เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต และสอดคล้องกับวิถีของชุมชน จึงจะได้รับการยอมรับนำไปใช้งาน และแก้ปัญหาของกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวช่วยยกระดับกระบวนการผลิตให้มีความยั่งยืนและแข่งขันได้ในตลาด

คำสำคัญ: น้ำตาลมะพร้าว, น้ำช่อดอกมะพร้าว

Abstract

This study aimed to analyze the problems and obstacles in applying machinery for coconut sugar production in Samut Songkhram, Samut Sakhon, Ratchaburi, and Phetchaburi provinces. Data was collected through in-depth interviews and participatory observation with five groups of coconut sugar producers. The findings indicate that the production process across these areas is similar, from the collection of coconut blossom sap to the final molding of the sugar product. Sap collection occurs twice daily at 5:00 AM and 3:00 PM, with a collection capacity of 16.67 kg/h (0.06 man-h/kg). The boiling and simmering stage to evaporate water uses approximately 40 liters of sap, or an amount dependent on the daily collection. This process takes about 1.5 hours, yielding around 8 kg of thickened

coconut sugar with a suitable viscosity. The thickened sugar is then stirred off-heat to cool down, either manually with a spring-steel whisk to remove air bubbles or with a machine. This stirring process takes 7-8 minutes, depending on the sugar's properties. The sugar is then rapidly molded into various shapes within 5-10 minutes to prevent solidification. The entire process is highly reliant on manual, skilled labor, with at least two individuals required at all times. Based on the data analysis, the primary challenges are the aging agricultural workforce and a shortage of skilled labor to manage quality control during the boiling and stirring processes. This leads to inconsistent production standards and limits the ability to expand production capacity. Therefore, research and development of machinery and equipment are essential to reduce reliance on manual skills, increase production efficiency, and align with community traditions. This will ensure the technology is accepted and implemented, helping to solve production problems and elevate the sustainability and competitiveness of coconut sugar production in the market

Keywords: Coconut sugar, coconut blossom sap

1. บทนำ

น้ำตาลมะพร้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำซอ ดอกมะพร้าว โดยมีแหล่งผลิตสำคัญอยู่ที่จังหวัดสมุทรสงคราม สมุทรสาคร ราชบุรี และเพชรบุรี ในปัจจุบันตลาดน้ำตาลมะพร้าว มีความต้องการเพิ่มขึ้น แต่กลับมีจำนวนเกษตรกรผู้ผลิตลดน้อยลง จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลมะพร้าวกำลังเผชิญกับ ปัญหาการขาดแคลนแรงงานอย่างรุนแรง ซึ่งส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตและความสามารถในการตอบสนองความต้องการของตลาด และกระบวนการผลิตในปัจจุบัน ในหลายขั้นตอนยังคงต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก เนื่องจากยังไม่พบการนำเครื่องมือหรือเครื่องจักรที่เหมาะสมมาช่วยลดภาระงานและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ปัญหาเหล่านี้ไม่เพียงแต่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น แต่ยังเป็นอุปสรรคสำคัญที่ขัดขวางการเติบโตของอุตสาหกรรมในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์ (Objective)

2.1 เพื่อวิเคราะห์ปัญหาและอุปสรรคในการประยุกต์ใช้เครื่องจักรสำหรับการผลิตน้ำตาลมะพร้าว

3. อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

การวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) นี้ใช้วิธีการเก็บข้อมูลจากกลุ่มผู้ผลิตน้ำตาลมะพร้าวในพื้นที่จังหวัดสมุทรสงคราม โดยมีขั้นตอนดังนี้:

- 3.1. กลุ่มผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key Informants) : กลุ่มผู้ผลิตน้ำตาลมะพร้าวที่มีประสบการณ์และได้รับการยอมรับในท้องถิ่น จำนวน 4 กลุ่ม โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling)
- 3.2. เครื่องมือและการเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection Tools and Methods) : การเก็บรวบรวมข้อมูลหลักโดยใช้วิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก และการสังเกตการณ์แบบมีส่วนร่วม

3.3. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) : เพื่อสรุปประเด็นหลักเกี่ยวกับสถานการณ์การใช้เครื่องจักร ปัญหา และความต้องการ

4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง (Results and Discussion)

จากการสำรวจ เก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวในพื้นที่ดังกล่าว ได้แก่ 1.เตาตาลลุงปรีชา 2.อัมพวาชัยพัฒนา 3.เตาไทยเดิม2 4.เตาตาลตันหยง โดยกลุ่มข้อมูลทั้ง 4 กลุ่ม มีกระบวนการผลิตที่คล้ายคลึงกันตั้งแต่กระบวนการเก็บน้ำตาลซอดอกมะพร้าว จนกระทั่งการหยอดขึ้นรูปน้ำตาลมะพร้าว ดัง Figure 1-4 จากวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าว พบปัญหา อุปสรรค ความต้องการ และเงื่อนไขความต้องการที่แตกต่างกัน ดังแสดงใน Table 1 และ 2

Table 1 กระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวและการใช้แรงงานในกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าว		
ขั้นตอน/วิธีการ	รายละเอียด	กรรมวิธี
1.การเก็บน้ำซอดอกมะพร้าว	ขั้นแรกเกษตรกรจะใช้ไม้พอง ในการปีนเก็บน้ำซอดอกมะพร้าว โดยการใช้ปีนดัดขึ้นประมาณ 1-2 มม. และนำกระบอกกรองน้ำหวาน จะทำการเก็บ 2 ชั่วโมง/วัน เช้าและช่วงเย็น	แรงงานคน
2.การคั้นน้ำตาลมะพร้าว	น้ำซอดอกมะพร้าวจะถูกรวบรวมและกรองก่อนที่จะนำมาคั้น ในการคั้นจะใช้ระยะเวลาประมาณ 1.30 ชั่วโมง คั้นน้ำตาลให้ได้สีและความหนืดตามที่ต้องการ	แรงงานคน
3.การกวนน้ำตาลมะพร้าว	ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้ทั้งแรงงานคนและเครื่องจักร โดยจะใช้ระยะเวลาในการกวนประมาณ 5-10 นาที แรงงานคน : 4-5 กระโหลก/คน/วัน แรงงานเครื่องจักร : 8-10 กระโหลก/คน/วัน	แรงงาน เครื่องจักร
4.การหยอดขึ้นรูปน้ำตาลมะพร้าว	เกษตรกรจะหยอดน้ำตาลมะพร้าวลงภาชนะสำหรับบรรจุภัณฑ์ แรงงานคน : 3 นาที/กิโลกรัม	แรงงานคน

Table 2 ปัญหาและอุปสรรคในการประยุกต์ใช้เครื่องจักรในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าว

ขั้นตอน/วิธีการ	ปัญหา	ความต้องการ / เงื่อนไข
1.การเก็บน้ำช่อดอกมะพร้าว	- ต้นมะพร้าวสูง 4-5 เมตร - ใช้ระยะเวลาในการเก็บนาน - เสี่ยงต่อการอุบัติเหตุได้	- พันธ์มะพร้าวต้นเตี้ย - บันไดปีนที่มีความปลอดภัยและเคลื่อนย้ายง่าย - เครื่องรวบรวมน้ำช่อดอกมะพร้าวอัตโนมัติ
2.การต้มน้ำตาลมะพร้าว	- ใช้เวลาในการต้ม 1.30 ชั่วโมง - ใช้ประสบการณ์ของผู้ผลิตในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าว	- ต้องมีการยกน้ำตาลหรือเปลี่ยนกระทะในหลายรอบสำหรับการต้มน้ำตาล 1 กระทะทำให้ก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้
3.การกวนน้ำตาลมะพร้าว	- มีข้อจำกัดในเรื่องของแรงงาน - ต้องมีคนควบคุมการเคลื่อนที่ในระหว่างเครื่องจักรทำงาน - ไม่มีเวลาในการกวนที่แน่นอน - ใช้ประสบการณ์ของผู้ผลิตในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าว	- เครื่องจักรที่สามารถกวนน้ำตาลมะพร้าวได้ทั่วทั้งกระทะ - สามารถกวนน้ำตาลมะพร้าวให้ได้มาตรฐานเดียวกัน - อุณหภูมิและความหนืดใกล้เคียงกันในการกวนแต่ละครั้ง
4.การหยอดขึ้นรูปน้ำตาลมะพร้าว	- มีข้อจำกัดในด้านเวลา - น้ำตาลมะพร้าวแข็งตัวเร็ว - ถ้าวางและนำมอดใหม่จะแข็งขึ้นและแข็งตัวเร็วกว่าเดิม	- แม้พืชมะพร้าวในรูปแบบต่างๆ - ใช้ระยะเวลาในการหยอดน้อยลง - เครื่องจักรเข้ามาช่วยในกระบวนการหยอด - ปริมาณในการหยอดแต่ละครั้งใกล้เคียงกัน



Figure 4 กระบวนการหยอดขึ้นรูปน้ำตาลมะพร้าว

5. สรุป

จากการสำรวจกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวในกลุ่มผู้ผลิต 4 ราย พบว่ากระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวในแต่ละพื้นที่มีความคล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตาม ในแต่ละขั้นตอนยังคงพบปัญหาและอุปสรรคสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและคุณภาพการผลิต โดยปัญหาหลักที่พบคือ การขาดแคลนแรงงานที่มีทักษะในตรวจสอบคุณภาพน้ำตาลมะพร้าวทั้งกระบวนการต้มและกระบวนการกวนน้ำตาลมะพร้าว ทำให้การผลิตไม่มีมาตรฐานที่ชัดเจนและไม่สามารถขยายกำลังการผลิตได้อย่างเต็มที่ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้ จึงควรมีการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่สามารถเข้ามาช่วยลดการพึ่งพาทักษะของแรงงานเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต และสร้างมาตรฐานคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวให้มีความสม่ำเสมอ ซึ่งจะช่วยยกระดับกระบวนการผลิตให้มีความยั่งยืนและแข่งขันได้ในตลาด

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณทีมงานผู้วิจัย และทีมช่างของกลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ที่สนับสนุนการดำเนินงานทุก ๆ ขั้นตอนการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- ปานจันทร์ ศรีจรูญ. 2547. การพัฒนาและศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าว. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วรฤทัย หาญโชติพันธุ์. 2559. ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของผู้ประกอบการน้ำตาลมะพร้าวในภาคตะวันออก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วชิรา จิตต์ปรางค์ และ สุริยพงศ์ วัฒนาศักดิ์. 2550. แนวทางพัฒนาน้ำตาลมะพร้าวปลอดภัยสู่ทางเลือกนโยบายสาธารณะ จังหวัดสมุทรสงคราม. Environment and Natural Resources Journal. 5(2).
- Apriyantono, A., Aristyani, A., Nurhayati, Y., Budiyanto, S., & Soekarto, S. T. 2002. Rate of browning reaction during preparation of coconut and palm sugar. International Congress Series. 1245: 275-278.



Figure 1 กระบวนการเก็บน้ำตาลช่อดอกมะพร้าว



Figure 2 กระบวนการต้มน้ำตาลมะพร้าว



Figure 3 กระบวนการกวนน้ำตาลมะพร้าว



บทคัดย่อ ภาคบรรยาย



การเปรียบเทียบสมรรถนะของการวิเคราะห์ภาพและเสียงในการประเมินความอ่อนแก่ของทุเรียนโดยไม่ทำลายผล Comparison of the Performance of Image and Acoustic Analysis for Non-Destructive Durian Maturity Assessment

พงษ์เจริญ รัชตะธรรมสุข^{1*}, ผศ.ดร.เทวรัตน์ ตริอำนาจ¹

Pongcharoen Ratchatathumasuk^{1*}, Tawarat Treeamnu¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, จังหวัดนครราชสีมา, 30000

¹School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000,

*Corresponding author: Tel: +66-6-2651-9499, E-mail: tripleaeng@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการประเมินความอ่อนแก่ของทุเรียนแบบไม่ทำลายผล ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพและการวิเคราะห์เสียงทุเรียนซึ่งประเมินผลด้วยโมเดลปัญญาประดิษฐ์ (AI) การศึกษานี้ใช้ชุดข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายและการเคาะเสียงทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่มีแหล่งปลูกในจังหวัดจันทบุรีและชุมพร ภาพถ่ายที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ภาพรวมกับการใช้โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network, CNN) ขณะที่การวิเคราะห์เสียง จะนำคลื่นเสียงจากการเคาะแปลงเป็นสเปกโตรแกรมด้วยเทคนิค Short-Time Fourier Transform (STFT) จากนั้นจึงใช้โมเดล CNN ในการเรียนรู้รูปแบบเสียงของทุเรียนที่แก่มากกว่า 80% เพื่อใช้ในการจำแนกประเภทของทุเรียนออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ ทุเรียนอ่อนและทุเรียนแก่ ซึ่งผลจากการศึกษาจากชุดข้อมูลทุเรียน 150 ลูก แบ่งเป็นทุเรียนแก่ 87 ลูก ทุเรียนอ่อน 63 ลูก พบว่าการการประเมินความอ่อนแก่ของทุเรียนด้วยวิธีการเคาะเสียงให้ความแม่นยำในการประเมินที่สูงกว่าการวิเคราะห์ภาพถ่ายอยู่ 15.2%

คำสำคัญ: ความอ่อนแก่ของทุเรียน, ปัญญาประดิษฐ์สำหรับทุเรียน, การวิเคราะห์ทุเรียน

Abstract

This research aims to investigate non-destructive methods for assessing durian maturity using durian image analysis and acoustic tapping techniques, evaluated through artificial intelligence (AI) models. The study utilized datasets comprising images and acoustic tapping data from Monthong durians cultivated in Chanthaburi and Chumphon provinces. The images were analyzed using Convolutional Neural Network (CNN) models, while the acoustic tapping signals were transformed into spectrograms using the Short-Time Fourier Transform (STFT) technique. These spectrograms were then used to train a CNN model to learn the acoustic patterns of durians with over 80% maturity, enabling classification into two categories: immature and mature. Analysis of a dataset comprising 150 durian samples, consisting of 87 mature and 63 immatures, revealed that the acoustic tapping method achieved an accuracy in maturity assessment that was 15.2% higher than that of image-based analysis.

Keywords: durian maturity, durian AI, durian Analysis

Scientific Committee

- | | |
|---|--|
| 1. Prof. Dr.Sakamon Devahastin | King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand |
| 2. Prof. Dr.Panmanas Sirisomboon | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand |
| 3. Prof. Dr.Anupun Terdwongworakul | Kasetsart University, Thailand |
| 4. Prof. Dr.Vijaya G.S. Raghavan | McGill University, Canada |
| 5. Prof. Dr.Rosnah Shamsudin | Universiti Putra Malaysia, Malaysia |
| 6. Prof. Dr.Munehiro Tanaka | Saga University, Japan |
| 7. Prof. Dr.Bim Prasad Shrestha | Kathmandu University, Nepal |
| 8. Prof. Dr.Tri Ratna Bajracharya | Senior Research Fellow, RIFS Research Institute for
Sustainability at GFZ, Potsdam, Germany |
| 9. Prof. Dr.Wouter Saeys | KU Leuven, Belgium |
| 10. Prof. Dr.Abdul Rashid Bin Mohamed Shariff | Universiti Putra Malaysia, Malaysia |
| 11. Prof. Dr.Shyam Sablani | Washington State University, USA |
| 12. Prof. Dr.Xiao Dong Chen | Soochow University, China |
| 13. Assoc. Prof. Dr.Norhashila Binti Hashim | Universiti Putra Malaysia, Malaysia |
| 14. Assoc. Prof. Dr.Prathuang Usaborisut | Kasetsart University, Thailand |
| 15. Assoc. Prof. Dr.Tiraporn Junyusen | Suranaree University of Technology, Thailand |
| 16. Assoc. Prof. Dr. Areeya Rittima | Mahidol University, Thailand |



Organizing Committee

1. Dr. Dares Kittiyopas	Chairperson
2. Mr. Pramote Klaynet	Committee Members
3. Mr. Viboon Thepent	Committee Members
4. Dr. Wuttiaphol Chansrakoo	Committee Members
5. Ms. Chanyanuch Pan-iam	Committee Members
6. Assoc. Prof. Dr. Danuwat Thangdee	Committee Members
7. Assoc. Prof. Dr. Rawin Surbkar	Committee Members
8. Dr. Anuchit Chamsing	Committee Members
9. Mr. Wachirasiri Tavidech	Committee Members
10. Assoc. Prof. Dr. Watcharapol Chayaprasert	Committee Members
11. Assoc. Prof. Dr. Jetsada Posom	Committee Members
12. Asst. Prof. Dr. Sirasa Thangdee	Committee Members
13. Asst. Prof. Dr. Tawarat Treeamnuak	Committee Members
14. Asst. Phattarachai Vichaiya	Committee Members
15. Assist. Prof. D. Vasu Udompetaikul	Committee Members
16. Mr. Cheerawat Munkit	Secretary

List of Reviewers

Prof.Dr.Rosnah Shamsudin	UNIVERSITI PUTRA MALAYSIA
Prof.Dr.Anupun Terdwongworakul	Department of Agricultural Engineering
Prof.Dr.Panmanas Sirisomboon	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Assoc.Prof.Dr.Natcharee Jirukkakul	Khon Kaen University
Assoc.Prof.Dr.Siwalak Pathaveerat	Kasetsart University
Assoc.Prof.Dr.Sunate Surbkar	Maejo University
Assoc.Prof.Dr.Bandit Suksawat	KMUTNB
Assoc.Prof.Dr.Donludee Jaisut	Kasetsart University
Assoc.Prof.Dr.Jetsada Posom	Khon Kaen University
Assoc.Prof.Dr.Juckamas Laohavanich	Faculty of Engineering, Mahasarakham University
Assoc.Prof.Dr.Kannapot Kaewsorn	Rajamangala University of Technology Tawan ok
Assoc.Prof.Dr.Khwantri Saengprachatanarug	Khon Kaen University
Assoc.Prof.Dr.Kittisak Phetpan	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Assoc.Prof.Dr.Natrapee Nakawajana	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Assoc.Prof.Dr.Nittaya Boontian	Suranaree University of Technology
Assoc.Prof.Dr.Prasan Choomjaihan	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Assoc.Prof.Dr.Prathuang Usaborisut	Kasetsart University
Assoc.Prof.Dr.Ratiya Thuwapanichayanan	Kasetsart University
Assoc.Prof.Dr.Sirinad Noypitak	Kasetsart University
Assoc.Prof.Dr.Somchai Chuan-Udom	Khon Kaen University
Assoc.Prof.Dr.Somkiat Prachayawarakorn	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Assoc.Prof.Dr.Supakit Sayasoonthorn	Kasetsart University
Assoc.Prof.Dr.Tiraporn Junyusen	Suranaree University of Technology
Assoc.Prof.Dr.Watcharapol Chayaprasert	Kasetsart University
Assoc.Prof.Dr.Witsanu Attavanich	Kasetsart University
Asst.Prof.Dr.Asst.Prof.Dr.Sirasa Thangdee	kmtnb
Asst.Prof.Dr.Danuwat Thangdee	KMUTNB
Asst.Prof.Dr.Khatha Wathakit	Suranaree University of Technology
Asst.Prof.Dr.Krawee Treeamnuk	Suranaree University of Technology
Asst.Prof.Dr.Tawarat Treeamnuk	Suranaree University of Technology
Asst.Prof.Dr.Nuttapong Ruttanadech	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst.Prof.Dr.Pansa Liplap	Suranaree University of Technology
Asst.Prof.Dr.Preeda Prakotmak	Kasetsart University
Asst.Prof.Dr.Wanrat Abdullakasim	Kasetsart University
Dr.Aphisik Pakdeekaew	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Dr.Arthit Phuphaphud	Khon Kaen University



Dr.Janewit Wannapeera	Suranaree University of Technology
Dr.Kanvisit Maraphum	Rajamangala University of Technology Isan - Surin Campus
Dr.Kiattisak Jaito	Rajamangala University of Technology Krungthep
Dr.Kriengkrai Rayanasuk	Rajamangala University of Technology Tawan-ok
Dr.Lakkana Phitak	Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus
Dr.Naiyawat Sukthang	Rajamangala University of Technology Isan
Dr.Nuttapong Wongbubpa	Rajamangala University of Technology Isan
Dr.Prachak Sapmanee	TSAE
Dr.Samart Bun-Art	Suranaree University of Technology
Dr.Somkiat Maithomklang	Rajamangala University of Technology Tawan-Ok
Dr.Suwan Aekram	Rajamangala University of Technology Lanna
Dr.Thanaporn Singhpoo	Rajamangala University of Technology Isan KhonKaen Campus
Dr.Thipsuphin Hinsui	Suranaree University of Technology



TSAE 2025

"การเกษตรรักษั้บรรยากาศของเอเชีย"