



การประชุมวิชาการ
สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติ ครั้งที่ 27

“วิศวกรรมเกษตรแห่งอนาคตในระบอบโลกใหม่”

TSAE2026



วันที่ 20 - 21 กรกฎาคม 2569
ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1 กรมส่งเสริมการเกษตร

สาส์นจากนายกสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย



การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 27 ใน พ.ศ. 2569 นี้ จัดขึ้นในภาวะที่มีการปรับตัวและตื่นตัวกับการเปลี่ยนแปลงหลายอย่าง ทั้งในระดับโลกจนถึงระดับกิจการและระดับบุคคล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวงการเกษตร ในปีนี้สมาคมฯ จึงได้กำหนดกรอบบทในชื่อ **“วิศวกรรมเกษตรแห่งอนาคตในระเบียบโลกใหม่”** อันสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของโลกที่ทำให้วิศวกรรมเกษตรของไทยต้องตระหนักและพัฒนาให้ทัน เพื่อการอยู่รอดของภาคการเกษตรไทยและอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตรไทย

ประการแรกคือประเด็นที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี AI ที่มีการพัฒนาและเติบโตอย่างรวดเร็วโดยที่เรียกว่าใคร่ไม่ได้ติดตามก็จะล้าสมัยไปได้ทันที ความสำคัญจึงอยู่ที่ว่าวิศวกรเกษตรจะสามารถนำ AI มาช่วยพัฒนาการเกษตรได้ดีและเหมาะสมเพียงใด ทั้งนี้ ต้องคำนึงด้วยว่าวิศวกรรมสาขาอื่นก็พร้อมในการเข้ามาพัฒนาภาคเกษตร แต่วิศวกรเกษตรเองจะเชี่ยวชาญเฉพาะทางกว่าได้มากน้อยเพียงใด

ประการที่สองคือกฎกติกาการค้าสินค้าเกษตรทั่วโลกมีข้อกำหนดสูงขึ้น มากขึ้น ขยายวงกว้างขึ้น ก่อให้เกิดการแข่งขันในการใช้เทคโนโลยีมาสนับสนุนให้บรรลุตามข้อกำหนด อาทิ การกำหนดกำแพงภาษีจากสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นผู้นำเข้าหลัก การยกระดับเงื่อนไขคุณลักษณะต้องห้ามสำหรับการนำเข้าสินค้าเกษตรของจีน ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและเข้มงวดในการตรวจตราอย่างจริงจัง รวมถึงการต้องสำแดงแหล่งเพาะปลูกผลผลิตที่ไม่บุกรุกทำลายป่าของสหภาพยุโรป และอื่น ๆ โดยเงื่อนไขดังกล่าวนี้ วิศวกรเกษตรสามารถพัฒนาเครื่องมือเพื่อสนับสนุนผู้ส่งออกและช่วยแก้ปัญหาให้แก่บ้านเมืองได้มาก ประเด็นสำคัญก็คือวิศวกรเกษตรของเราทราบปัญหาดังกล่าวนี้นหรือไม่

ประการที่สามเกี่ยวข้องกับการพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตรของประเทศที่เคลื่อนตัวช้า ไม่เป็นเอกภาพ ยังคงใช้เทคโนโลยีเดิม เครื่องจักรชนิดเดิม การเรียนรู้และพัฒนาเทคโนโลยีใหม่มีน้อย แข่งขันกันด้วยราคาต่ำ มีเพียงตลาดในประเทศเป็นตลาดหลัก ขาดการเติบโตต่อเนื่อง และไม่สามารถสร้างรายได้เข้าประเทศได้จริงจัง ดังเช่นอุตสาหกรรมประเภทอื่น วิศวกรเกษตรจึงเป็นความหวังของภาคอุตสาหกรรมที่จะยกระดับเทคโนโลยีเครื่องจักรกลการเกษตรให้เติบโตขึ้นได้

ประการที่สี่คือประเด็นที่เกี่ยวข้องกับพัฒนาศักยภาพวิศวกรเกษตรให้ทัดเทียมกับนานาชาติด้วยเกณฑ์มาตรฐานการรับรองความรู้ความชำนาญจากระบบประเมินของสภาวิศวกรที่ใช้เกณฑ์การประเมินที่สอดคล้องกับนานาชาติ การเน้นให้เรียนรู้ตลอดชีวิต โดยวิศวกรต้องติดตามเทคโนโลยีสมัยใหม่ให้ทันอยู่เสมอ และได้รับการยอมรับในประสบการณ์ทำงานเทียบเท่ากับนานาชาติ วิศวกรการเกษตรจึงต้องตระหนักว่าการเข้าสู่ระบบวิศวกรวิชาชีพเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อแสดงสถานะความเป็นวิศวกรอาชีพของตนเอง

ดิฉันในฐานะนายกสมาคมวิศวกรรมเกษตรจึงขอชักชวนให้วิศวกรเกษตรทุกท่านเร่งยกระดับความเชี่ยวชาญในวิชาชีพของตน และใช้วิศวกรรมเกษตรพัฒนาประเทศชาติอย่างเป็นรูปธรรม สมาคมฯ พร้อมเป็นหน่วยสนับสนุนและเสริมความแข็งแกร่งให้พวกเราทุกคนก้าวหน้าไปด้วยกัน



(ดาเรศร์ กิตติโยภาส)

นายกสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

กำหนดการ

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 27
วันที่ 20 - 21 กรกฎาคม 2569
ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1 กรมส่งเสริมการเกษตร

วันจันทร์ที่ 20 กรกฎาคม 2569	
เสวนา "มาตรฐานอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตรไทยไปทางไหนดี: ANTAM หรือ ISO"	
เวลา	กิจกรรม
08.30 – 09.30 น.	ลงทะเบียนเสวนา ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1
09.30 – 10.00 น.	พิธีเปิดการประชุม และ การบรรยายพิเศษ “ยุทธศาสตร์การพัฒนามาตรฐานอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตรของประเทศไทย” โดย คุณดาเรศร์ กิตติโยภาส นายกสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
10.00 – 10.30 น.	เกริ่นนำสู่มาตรฐานการทดสอบเครื่องจักรกลการเกษตร ANTAM "ANTAM มาตรฐานสากลตัวเปลี่ยนเกม ผลกระทบสำคัญต่อผู้ผลิต-ผู้จำหน่ายเครื่องจักรกลการเกษตรไทย" วิทยากร คุณวิบูลย์ เทเพนทร์ อุปนายกสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย “พร้อมหรือยัง? เปิดเส้นทางการจัดตั้งหน่วยทดสอบเครื่องจักรกลเกษตรสู่มาตรฐาน ANTAM” วิทยากร ดร.นิติรงค์ พงษ์พานิชย์ หัวหน้าศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ
10:30 - 11.00 น.	บรรยายหัวข้อ “มาตรฐาน ANTAM TESTING CODE” (ช่วงที่ 1) วิทยากร ดร.นิติรงค์ พงษ์พานิชย์ หัวหน้าศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ 1. ANTAM STANDARD CODE FOR TESTING OF Power Knapsack Misters-Cum-Dusters 2. ANTAM STANDARD CODE FOR TESTING OF Power Tillers
11.00 – 11.30 น.	บรรยายหัวข้อ “มาตรฐาน ANTAM TESTING CODE” (ช่วงที่ 2) วิทยากร ดร.เวียง อากรสี ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร 1. ANTAM STANDARD CODE FOR TESTING OF Paddy Transplanters 2. ANTAM STANDARD CODE FOR TESTING OF Combine Harvesters
11.30 – 12.00 น.	การถกแถลง
12.00 – 13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน
13.00 – 14.00 น.	การบรรยายหัวข้อ “แนวทางการนำมาตรฐาน ISO มาใช้ในรูปแบบเหมือนกันทุกประการมาใช้ในการกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตรไทย” วิทยากร ดร. นวลนภา ไชยสุวรรณ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
14.00 – 14.30 น.	การถกแถลง
14.30 – 14.45 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
14.45 – 16.30 น.	สรุปภาพรวม “มาตรฐานอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตรไทยไปทางไหนดี”

วันอังคารที่ 21 กรกฎาคม 2569 เสวนา "การเข้าถึงแหล่งทุนการวิจัยพัฒนานวัตกรรมเกษตร: ความคาดหวังของแหล่งทุน" และการนำเสนอผลงานวิชาการ	
เวลา	กิจกรรม
08.30 – 09.30 น.	ลงทะเบียนประชุมวิชาการ ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1
09.30 – 12:00 น.	เสวนา เรื่อง "การเข้าถึงแหล่งทุนการวิจัยพัฒนานวัตกรรมเกษตร: ความคาดหวังของแหล่งทุน" วิทยากร - คุณอดิธิสรณ์ ตำนานทอง นักวิเคราะห์อาวุโส 2 สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) - คุณมณฑา ไก่หิรัญ ผู้อำนวยการฝ่ายส่งเสริมวิสาหกิจเริ่มต้น สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) - คุณสุภาพร โชคเฉลิมวงศ์ ผู้อำนวยการกองบริหารทุนวิจัยและนวัตกรรม 1 สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ตอบข้อคำถาม
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/โปสเตอร์ (ช่วงที่ 2)
16.30 – 17.00 น.	มอบรางวัล Best Paper และปิดการประชุม

กำหนดการ

การนำเสนอผลงานภาคบรรยาย

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 27
ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1 กรมส่งเสริมการเกษตร กรุงเทพมหานคร

วันอังคารที่ 21 กรกฎาคม 2569	
ช่วงที่ 1 ประธาน ศ. ดร.สักรมณ เทพหัสดิน ณ อยุธยา	
13.00 – 13.15 น.	ID08 - การทดสอบสมรรถนะและการขยายผลเครื่องบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้ง <i>โดย เกรียงศักดิ์ นักผูก, สติยพงศ์ รัตนคำ, อภิวัฒน์ ปัญญาวงศ์, ศิวพร แสงภัทรเนตร, ฉัตรสุดา เชิงอักษร</i>
13.15 – 13.30 น.	ID12 - โปรแกรมวิเคราะห์คลื่นเสียงสำหรับประเมินความสึกแก่ทุเรียน <i>โดย ปริดาพรรณ ไชยศรีชลธาร, เวียง อากรชี, นายวัชรพงษ์ ตามโสง, นายพงษ์วิ นามวงศ์, ศุภร อ่างบุญพงษ์, ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์, และ ชูศักดิ์ ขวประดิษฐ์</i>
13.30 – 13.45 น.	ID23 - การพัฒนาเครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟขนาดเล็กด้วยน้ำหนักร่องจำเพาะ <i>โดย มานพ รักญาติ, พงษ์ระวี นามวงศ์, กิตติศักดิ์ กิตติรัตน์, สนอง อมฤกษ์, นิติ ผูกจิต, สรวิต จันทรเจนนจบ, วุฒิพล จันทรสระคู</i>
13.45 – 14.00 น.	ID25 - การติดตามการเปลี่ยนแปลงของก๊าซระหว่างการหมักเมล็ดโกโก้โดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ <i>โดย ณัฐวุฒิ เนียมสอน, กิตติศักดิ์ กิตติรัตน์, วิบูลย์ ช่างเรือ, ดามร บัณฑุรัตน์</i>
14.00 – 14.15 น.	ID26 - การพัฒนาอุปกรณ์วัดอัตราการหายใจของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองแบบเรียลไทม์ <i>โดย ณัฐวุฒิ เนียมสอน, พงษ์ระวี นามวงศ์, วิบูลย์ ช่างเรือ, ดามร บัณฑุรัตน์</i>
14.15 – 14.30 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
ช่วงที่ 2 ประธาน ศ. ดร.สักรมณ เทพหัสดิน ณ อยุธยา	
14.30 – 14.45 น.	ID22 - ระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาดอาร์โอและยูวีควรวรรณสองระบบการชำระเงินแบบอัตโนมัติพร้อมแสดงค่าทีดีเอส (TDS) และพีเอช-อุณหภูมิ (pH-TEMP) <i>โดย วีระพงษ์ กาญจนวงศ์กุล, ภาณุวัฒน์ แตระกุล</i>
14.45 – 15.00 น.	ID24 - การพัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจวัดคุณภาพข้าวเปลือกระหว่างการเก็บรักษา <i>โดย ณัฐวุฒิ เนียมสอน, ปัญกุล พงษ์พานิช, วิบูลย์ ช่างเรือ, ดามร บัณฑุรัตน์, พงษ์ประพันธ์ กันทะแก้ว</i>
15.00 – 15.15 น.	ID34 - การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการตัดสินใจวางแผนเพาะปลูกที่เหมาะสมของกลุ่มเกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอนภายใต้ข้อจำกัดที่หลากหลาย <i>โดย อภิภา เสาร์แก้ว</i>



กำหนดการ
การนำเสนอผลงานภาคนิทรรศน์
การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 27
ณ ห้องประชุม 7 ชั้น 5 อาคาร 1 กรมส่งเสริมการเกษตร กรุงเทพมหานคร

วันอังคารที่ 21 กรกฎาคม 2569	
13.00 – 15.30 น.	ID18 – การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าว โดย <i>ประวีณา ศรีแสงเขต</i> , สราวุฒิ ปานทน, ธนาวัฒน์ ทิพย์ชิต, วุฒิพล จันทร์สระคู, ปฐวี หมั่นแจ้ง, ธีรพงษ์ ธรรมวุฒิ, ยุทธจักร รักเที่ยง
	ID19 - การทดสอบเครื่องคัดแยกเมล็ดโกโก้แห้งแบบตะแกรงสั่น โดย <i>พัทธวิภา สุทธิวาริ</i> , ณัฏพล มนต์ชัยวนะกิจ, กิตติศักดิ์ กิตติรัตน์, วรวิทย์ ไชยโส, ศราวิน จันทโชติ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	i
กำหนดการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27	ii
กำหนดการการนำเสนอผลงานภาคบรรยาย	iv
กำหนดการการนำเสนอผลงานภาคนิทรรศน์	v
บทความเต็ม ภาคบรรยาย	
ID08 - การทดสอบสมรรถนะและการขยายผลเครื่องบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้ง	1
ID12 - โปรแกรมวิเคราะห์คลื่นเสียงสำหรับประเมินความสึกแก่ทุเรียน	8
ID22 - ระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาดอาร์โอและยูวีควบรวมสองระบบการชำระเงินแบบอัตโนมัติพร้อม แสดงค่าทีดีเอส (TDS) และพีเอช-อุณหภูมิ (pH-TEMP)	13
ID23 - การพัฒนาเครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟขนาดเล็กด้วยน้ำหนักร่องจำเพาะ	20
ID34 - การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการตัดสินใจวางแผนเพาะปลูกที่เหมาะสมของกลุ่ม เกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอนภายใต้ข้อจำกัดที่หลากหลาย	26
บทความเต็ม ภาคนิทรรศน์	
ID18 - การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าว	37
ID19 - การทดสอบเครื่องคัดแยกเมล็ดโกโก้แห้งแบบตะแกรงสั่น	46
บทความย่อ ภาคบรรยาย	
ID24 - การพัฒนาระบบภูมิปัญญาอิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจวัดคุณภาพข้าวเปลือกระหว่างการเก็บรักษา	52
ID25 - การติดตามการเปลี่ยนแปลงของก๊าซระหว่างการผลิตหมักเมล็ดโกโก้โดยใช้ภูมิปัญญาอิเล็กทรอนิกส์	53
ID26 - การพัฒนาอุปกรณ์วัดอัตราการหายใจของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองแบบเรียลไทม์	54
Scientific Committee	55
Organizing Committee	56
List of Reviewers	57



บทความเต็ม

ภาคบรรยาย



การทดสอบสมรรถนะและการขยายผลเครื่องบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้ง

Tested and Transferred the Roller Compression Machine for Sugar Palm

เกรียงศักดิ์ นึกผูก^{1*}, สถิตย์พงศ์ รัตนคำ¹, อภิวัฒน์ ปัญญาวงศ์¹, ศิวพร แสงภัทรเนตร², ฉัตรสุตา เชิงอักษร²

Kiangsak Nukpook^{1*}, Satitpong Rattanakam¹, Apiwat Panyawong¹, Sivapon Saenmongkhon², Chatsuda Choengaksorn²

¹ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร 235 หมู่ 3 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100

¹Agricultural Engineer Research Center Chiang Mai: Agricultural Engineer Research Institute: Department of Agriculture

²สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1 กรมวิชาการเกษตร 225 หมู่ 3 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100

²Office of Agricultural Research and Development Region 1: Department of Agriculture

*Corresponding author: Tel: 089-2633640, Fax: 053-114119, E-mail: kiangsak3640@gmail.com

บทคัดย่อ

การขยายผลงานวิจัยเครื่องบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้งสู่เกษตรกรในพื้นที่ จ.น่าน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยวและการยอมรับเทคโนโลยีเครื่องบีบผลลูกชิดสำหรับเกษตรกร โดยการประชุมเสวนากับเกษตรกรและทดสอบเครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบดั้งเดิมเทียบกับเครื่องบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้ง เพื่อหาสัดส่วนน้ำหนักเนื้อในลูกชิดต่อผล น้ำหนักที่เพิ่มหลังแช่น้ำ และผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า เครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบดั้งเดิมใช้แรงคน มีความสามารถในการบีบลูกชิด 12.06 ± 2.63 kg hr⁻¹ เครื่องบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้ง มีความสามารถในการบีบลูกชิด 485.7 ± 81.60 kg hr⁻¹ ผลลูกชิดมีน้ำหนักเฉลี่ย 28.23 ± 1.49 g สัดส่วนเนื้อในต่อผลลูกชิด $21.87 \pm 0.50\%$ เนื้อในลูกชิดหลังแช่น้ำ น้ำหนักเพิ่มขึ้นจากเนื้อในลูกชิดแห้ง $79.94 \pm 5.24\%$ เครื่องบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้งราคาประมาณ 78,000 บาท จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้งในแต่ปีละ 5,166 kg ในเวลา 5.56 ปี และการขยายผลงานวิจัยทำให้กลุ่มเกษตรกรให้การยอมรับเครื่องบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้ง

คำสำคัญ: ลูกชิด, เครื่องมือบีบลูกชิด, เครื่องบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้ง

Abstract

The sugar palm compressing equipment technology was transferred to farmers in Nan Province for enhancing harvested efficiency and adopted of the equipment. The experiment tested the traditional manual compressing equipment compared to the roller compression machine for sugar palm, find the proportion weight of kernel sugar palm per fruit, weight kernel after soak in the water and compared the economic cost with the traditional method. It was found that traditional pressing equipment capacity was 12.06 ± 2.63 kg hr⁻¹, while roller compression machine for sugar palm with compression capacity was 485.7 ± 81.60 kg hr⁻¹. The average weight of whole fruit was 28.23 ± 1.49 g., kernel per fruit ratio is $21.87 \pm 0.50\%$, after soaking in water the weight of kernel increased by $79.94 \pm 5.24\%$ compared of the dried flesh kernel. A roller compression machine for sugar palm cost about 78,000 baht with a break-even point of 5,166 kg in 5.56 year. The farmers group accepts the roller compression machine for sugar palm.

Keywords: Sugar palm, Sugar palm compression, Roller compression machine for sugar palm

1 บทนำ

ลูกชิด มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Avenga westerhoutii Griff* (อนุชา, 2553) คนในพื้นที่จังหวัดน่านเรียกกันทั่วไปว่า ลูกตำ เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในวงศ์ปาล์มเช่นเดียวกับตาลและมะพร้าว พบมากในป่าที่มีความชื้นสูง ริมแม่น้ำลำธาร ตามโขดหิน ลูกชิดให้ผลในช่วงอายุ 15-20 ปี ส่วนใหญ่จะให้ผลเพียงครั้ง

เดียว และให้มากที่สุดไม่เกิน 4 ครั้ง หลังจากนั้นจะเจริญเติบโตต่อไปแต่ไม่ให้ผล อำเภอบ่อเกลือ เป็นอำเภอหนึ่งของจังหวัดน่านที่มีผลผลิตลูกชิดออกสู่ท้องตลาดอย่างแพร่หลาย (อภิวัฒน์, 2554) ในปัจจุบันลูกชิดเป็นต้นนิยมของผู้บริโภคมากขึ้น ต้นลูกชิดเจริญเติบโตไม่ทัน ทำให้มีจำนวนลดน้อยลงทุกปี ประกอบกับการตัดไม้ทำลายป่ากันมากขึ้น จนทำให้หลายฝ่ายวิตกว่าต้นลูกชิดอาจจะสูญพันธุ์ได้เพราะมีการเก็บลูกชิดมาขายกันมากขึ้น

และไม่มีการปลูกเพื่อทดแทน ปัจจุบันต้นลูกชิดในธรรมชาติเริ่มขาดแคลน ผลผลิตลูกชิดในประเทศไทย มีไม่เพียงพอต่อความต้องการ มีการนำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อนำมาแปรรูปและบริโภคในประเทศ ปี 2555 มีการนำเข้าลูกชิดมากถึง 1,217 ตัน มูลค่า 11.72 ล้านบาท ซึ่งเป็นปริมาณมากกว่าการผลิตของเกษตรกรจังหวัดน่าน 2-3 เท่าตัว (ด้านตรงพิชเชิงของ, 2557) ลูกชิดเป็นพืชเป้าหมายหนึ่งในโครงการสร้างป่าสร้างรายได้ ที่เกษตรกรมีความต้องการนำต้นกล้าไปปลูกในพื้นที่ของตนเองมากขึ้นและผลดีของการปลูกในไร่ ทำให้มีการดูแลรักษาจนเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในพื้นที่ทำกินของตนเอง ทดแทนการเก็บลูกชิดจากป่า ซึ่งนับวันจะมีปริมาณลดลง ทำให้มีการพัฒนาจากพืชป่ามาเป็นพืชปลูกมีการดูแลรักษา จัดปัญหาการออกเดินทางเข้าป่า การพัฒนาพืชป่าให้เป็นพืชปลูกมีมาตั้งแต่ปี 2541 โดยโครงการพัฒนาเพื่อความมั่นคงพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน พื้นที่ที่ 9 (สบมาง – นานง) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช (เดิมสังกัดกรมป่าไม้) ทำการเพาะพันธุ์ตัว ส่งเสริมให้ปลูกเพื่อให้เกิดการฟื้นฟูป่า และเกษตรกรนำไปปลูกในพื้นที่ทำกินของตนเอง ปัจจุบันมีการปลูกตัวในพื้นที่ขยายผลโครงการศูนย์ภูฟ้าพัฒนา ตำบลภูฟ้า อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน และหมู่บ้านใกล้เคียงเป็นจำนวนมาก โดยพันธุ์ลูกชิดที่ส่งเสริมให้นำไปปลูกในพื้นที่ทำกินของชาวบ้าน กำลังทยอยให้ผลผลิต และมีแนวโน้มมากขึ้นในอนาคต (วิลาสลักษณ์ และคณะ, 2557) ในปัจจุบันปัญหาการบริหารจัดการป่าลูกชิดโดยชุมชนยังขาดประสิทธิภาพและขาดเทคโนโลยีการขยายพันธุ์และการแปรรูป มีรายงานจากพื้นที่โครงการขยายผลโครงการหลวงพื้นที่บ้านโป่งคำ อำเภอสันติสุข และพื้นที่ อำเภอแม่จริม จังหวัดน่าน พบว่าตัวมีการปลูกตามหัวไร่ปลายนา หรือปลูกเป็นแปลงพืช กินยอดเพียงอย่างเดียว ไม่มีการเก็บผลลูกชิด (สุพรรณิการ์ และจารุณี, 2555) แม้จะมีการปลูกมากขึ้น กระบวนการเก็บเกี่ยวลูกชิดในพื้นที่จังหวัดน่าน พบว่า ยังใช้วิธีแบบดั้งเดิม คือ ตัดทะลายลูกชิดลงจากต้น ต้มผลลูกชิด ตัดขั้วและบีบลูกชิดที่ผลด้วยเครื่องมือบีบลูกชิดแบบดั้งเดิม สำหรับปัญหาในการเก็บเกี่ยวลูกชิด คือ การบีบเอาเนื้อในลูกชิดทำได้ช้า และผลลูกชิดสดมียางที่หากสัมผัสกับผิวหนังจะเกิดอาการคันเป็นผื่นแดง เกษตรกรส่วนมากยังไม่มีความรู้มากในการเก็บเกี่ยวเอาเนื้อในลูกชิด จึงมีความต้องการเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวและเครื่องมือทุ่นแรงและความรู้ความเข้าใจในการบีบเอาเนื้อในลูกชิด เพื่อใช้ในการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจสังคมปัจจุบัน (วิลาสลักษณ์ และนิพนธ์, 2556) สติพงศ์ และคณะ, (2557) ได้ศึกษาออกแบบพัฒนาและทดสอบเครื่องมือบีบลูกชิดแบบใช้แรงคน ซึ่งมีจำนวน 2 แบบ คือ 1) แบบคานเดี่ยว มีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ แผ่นรองรับการกด คานกดและใบกด 2) แบบคานคู่ มีส่วนประกอบ 4 ส่วน คือ แผ่นรองรับการกด คานกด ใบกดและคานแขนกด พบว่า แรงกดที่ด้ามเครื่องมือบีบลูกชิดแบบใช้แรงคน เฉลี่ยที่ 50.36, 51.24 N ความสามารถในการ

ในการบีบไม่คิดรวมเวลาในการตัดขั้วผล 23.6, 20.0, kg hr⁻¹ ได้ปริมาณเนื้อในต่อผล 22.7, 23.0% ตามลำดับ วิลาสลักษณ์ และเกรียงศักดิ์, (2558) ได้ศึกษาออกแบบพัฒนาและทดสอบเครื่องมือบีบลูกชิดแบบใช้แรงคน เพิ่มจากที่สถิติทำได้จำนวน 2 แบบ 1) แบบตัดขั้วแล้วบีบ มีส่วนประกอบ 4 ส่วน คือ โครงสร้างส่วนฐาน คานกด ใบมีดตัดและใบกด และ 2) แบบตัดขั้วพร้อมบีบ มีส่วนประกอบ 7 คือ โครงสร้างส่วนฐาน คานกด ใบกด คานรองกด ใบรองกด ใบมีดตัด และขดสปริง พบว่า แรงกดที่ด้ามเครื่องมือบีบลูกชิดแบบใช้แรงคนเฉลี่ยที่ 123.95, 49.74 N ความสามารถในการบีบ 14.40, 23.30 kg hr⁻¹ ได้ปริมาณเนื้อในต่อผล 14.8, 16.4% ตามลำดับ เกรียงศักดิ์ และคณะ, (2568) ได้ทำการขยายผลงานวิจัยเครื่องมือบีบลูกชิดแบบตัดขั้วพร้อมบีบโดยใช้แรงคนสู่เกษตรกรในพื้นที่ จ.น่าน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยวสำหรับเกษตรกร โดยการประชุมเสวนากับเกษตรกรและทดสอบเครื่องมือบีบลูกชิดแบบตัดขั้วพร้อมบีบโดยใช้แรงคนและผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า เครื่องมือบีบลูกชิดแบบตัดขั้วพร้อมบีบใช้แรงคน มีความสามารถในการบีบลูกชิด 25.57±5.70 kg hr⁻¹ เครื่องมือบีบลูกชิดแบบตัดขั้วพร้อมบีบโดยใช้แรงคนราคาประมาณ 2,500 บาท มีจุดคุ้มทุน 1,185 kg ในระยะเวลา 1 ปี เกรียงศักดิ์ และคณะ, (2558) ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพของลูกชิด เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือบีบเอาเนื้อในลูกชิดแบบลูกกลิ้ง ทำการทดสอบ 2 วิธี คือ การทดสอบบีบเอาเนื้อในลูกชิดโดยตัดขั้วผลและการทดสอบบีบเอาเนื้อในลูกชิดโดยไม่ตัดขั้วผล พบว่า ขนาดผลลูกชิด มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 33.6±1mm ค่าเทียบความกลมของผลลูกชิด 88.8±1.9 % มีปริมาณเนื้อในต่อผล 20.6 % ในการทดสอบบีบเอาเนื้อในลูกชิดโดยตัดขั้ว ความสามารถในการบีบ 442.3 kg hr⁻¹ ผลลูกชิดที่บีบเนื้อในออกหมด 83 % และการทดสอบบีบเอาเนื้อในลูกชิดโดยไม่ตัดขั้ว ความสามารถในการบีบ 485.7 kg hr⁻¹ ผลลูกชิดที่บีบเนื้อในออกหมด 90 % จากผลการทดสอบแสดงว่าการบีบเอาเนื้อในลูกชิดโดยไม่ตัดขั้วเป็นวิธีการที่ดีกว่าการบีบเอาเนื้อในลูกชิดโดยการตัดขั้ว ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการขยายผลและทดสอบพัฒนาเครื่องบีบลูกชิดแบบลูกกลิ้ง ที่มีการสร้างต้นแบบและทดสอบไว้แล้ว จากงานวิจัยเครื่องมือแบบลูกกลิ้งใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์สำหรับบีบลูกชิดของกรมวิชาการเกษตร (เกรียงศักดิ์ และคณะ, 2558) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยวและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเกษตรกรสามารถนำไปพัฒนาเป็นอาชีพในระดับครัวเรือนหรือพัฒนาก้าวไปสู่การเป็นผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร และยกระดับผลิตภัณฑ์แปรรูปเชิงการค้าเข้าสู่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ส่งผลให้ลดการนำเข้าลูกชิดมายังประเทศไทยอีกทางหนึ่ง วิสาหกิจชุมชนสามารถแปรรูปต่อจนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ เป็นการยกระดับมูลค่าผลิตภัณฑ์ แทนการขายเป็นวัตถุดิบพื้นฐาน เข้าโรงงาน

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์

- 1) หม้อต้มผลลูกชิด
- 2) ผลลูกชิดที่ต้มในน้ำเดือด 1 hr และปล่อยให้เย็นในอุณหภูมิห้อง
- 3) ตาซัง ขนาด 200 g ขนาด 7,000 g
- 4) กล้องถ่ายรูป นาฬิกาจับเวลา
- 5) เครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบดั้งเดิม
- 6) เครื่องบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้ง

2.2 วิธีการ

2.2.1 ประชุมเสวนากับเกษตรกรในเรื่องกระบวนการเก็บเกี่ยวลูกชิดและเครื่องมือที่ใช้ในบีบลูกชิดแบบดั้งเดิมของกลุ่มเกษตรกรหรือของกลุ่มผู้แปรรูปลูกชิด (Figure 1) มีลักษณะ คือ ทำจากไม้ 2 ท่อน โครงสร้างส่วนฐานบีบ ใช้ท่อนไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100-150 mm ยาว 1,500-2,000 mm และไม้ตัวบีบลูกชิด ใช้ท่อนไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30-40 mm ยาวประมาณ 600 mm จากปลายไม้ประมาณ 20 mm ทำเป็นร่องเพื่อใช้หยาหรือเชือกมัดท่อนไม้ให้แน่นแล้วมัดส่วนปลายนี้มัดติดท่อนไม้ส่วนที่เป็นฐาน เพื่อเป็นจุดหมุนร่วมกัน ปลายอีกด้านเป็นด้ามจับสามารถยกขึ้นและกดลงได้ ในการบีบลูกชิดด้วยเครื่องมือนี้ต้องนำผลลูกชิดที่ต้มสุกแล้วมาตัดขั้วผลก่อนทำการบีบ

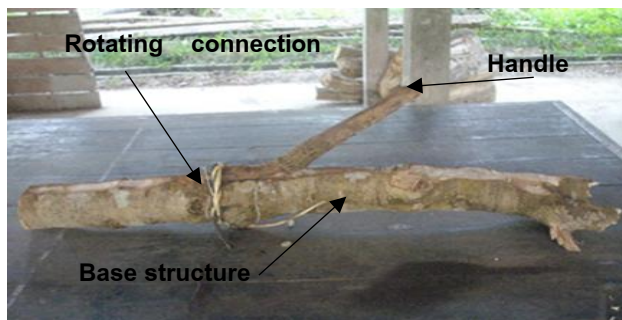


Figure 1 Traditional manual compressing equipment

2.3 ถ่ายทอดความรู้

2.3.1. ถ่ายทอดความรู้โดยการทดสอบและสาธิตการใช้งานเครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้ง เก็บข้อมูลกระบวนการใช้เครื่องมือในการบีบลูกชิดและให้เกษตรกรลองใช้งาน ในพื้นที่จังหวัดน่าน ได้ดำเนินการในพื้นที่จังหวัดน่าน จำนวน 4 จุด คือ บ้านแม่สะนา ตำบลพงษ์ อำเภอสันติสุข (Figure 2a) บ้านผาปูน ตำบลบ่อเกลือ อำเภอบ่อเกลือ (Figure 2b) บ้านสบขุน ตำบลป่าคา อำเภอท่าวังผา (Figure 2c) และศูนย์ศึกษาการพัฒนาการอนุรักษ์ดินน้ำและป่าชุมชน ตำบลศรีสะเกษ อำเภอนาน้อย (Figure 2d) จังหวัดน่าน

2.3.2. ถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับรายละเอียดเครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้ง ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ 6 ส่วน (Figure 3)

1) โครงสร้างส่วนล่าง (Lower Structure) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมกล่องขนาด 40 X 40 mm มีความกว้างฐาน 0.54 m ยาว

0.77 m สูง 54 m ด้านข้างขวามือสูงจากพื้น 0.1 m ต่อโครงเหล็กยาวยื่นออกไปประมาณ 0.3 m สำหรับทำเป็นฐานที่ยึดมอเตอร์



a



b



c



d

Figure 2 Transferred the Roller Compression Machine for Sugar Palm a) Mae Sanan Village b) Phapun Village c) Sobkhun Village d) Nan River Basin Water Conservation Development Study Center

2) โครงสร้างส่วนบน (Upper Structural) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมฉากขนาด 40X40 mm หนา 4 mm ทำเป็นกรอบสี่เหลี่ยมกว้าง 0.41 m ยาว 0.42 m ตั้งขนานกันอยู่บนโครงสร้างส่วนล่างภายในพื้นที่สี่เหลี่ยมปิดด้วย แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.41X0.42 m หนา 4 mm บนแผ่นนี้ มีที่ยึดดัดลูกปืน แผ่นละ 5 ตัว สำหรับติดตั้งเพลาลูกกลิ้งทั้งสอง ลูก เพลาส่งกำลัง และติดตั้งตัวตริงโซ่

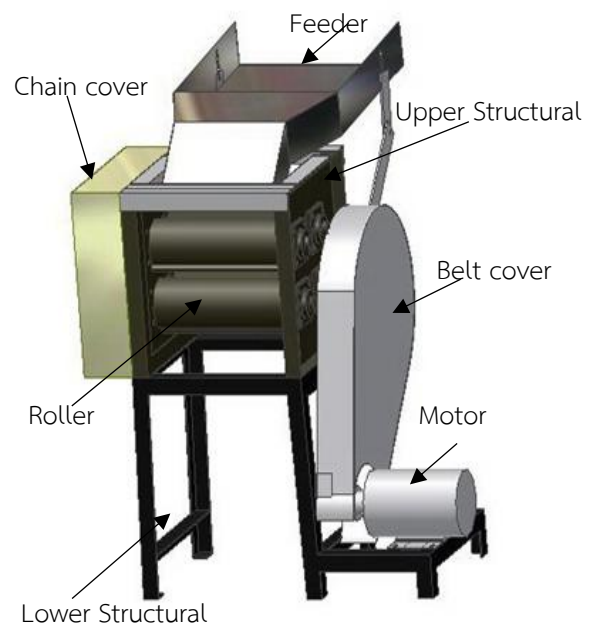


Figure 3 Roller compression machine for sugar palm

3) ภาตป้อน (Feeder) ทำจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม หนา 1 mm ทำเป็นรางกว้าง 0.48 m มีขอบด้านข้างสูง 0.10 m ยาว 0.42 m ปลายเรียวลง ยาวออกไป 0.20 m กว้าง 0.31 m ตรงสุดปลายเรียวขอบบนหักปิดลงมา 45 องศา เสมอกับขอบล่าง เป็นช่องทางป้อนลูกกลิ้งติดไปยังชุดลูกกลิ้ง

4) ลูกกลิ้ง (Roller) ออกแบบให้มีลูกกลิ้งบีบจำนวนสี่ลูก เส้นผ่านศูนย์กลางนอก 115 mm ยาว 370 mm บนผิวลูกกลิ้งได้พิมพ์ลายลักษณะเป็นลายเส้นยาวรอบพื้นผิวตามความยาวทรงกระบอกของลูกกลิ้ง เพื่อเพิ่มความเสียดบนพื้นผิวและใช้เหล็กเส้นหน้าตัดสี่เหลี่ยม 5 x 5 mm ติดบนผิวนอกของลูกกลิ้ง ลูกกลิ้งหนึ่งเส้นตามแนวยาวของลูกกลิ้ง ลูกกลิ้งแยกออกเป็นสองชุด ชุดบนสองลูกสำหรับบีบนำ ชุดล่างสองลูกสำหรับบีบให้เนื้อในหลุดออกจากเปลือกผล ซึ่งมีระยะระหว่างลูกกลิ้งแคบกว่าชุดบน โดยเพลาลูกกลิ้งติดตั้งอยู่กับตลับลูกปืนที่ยึดติดกับโครงสร้างส่วนบน

5) ระบบต้นกำลัง (Motor transmission) ใช้ต้นกำลังมอเตอร์ 745 W ส่งกำลังผ่านสายพานร่อนปีจำนวน 2 เส้น จากมอเตอร์ ไปที่เพลาส่งกำลังและใช้โซ่เบอร์ 40 และเฟืองโซ่ 15 ฟัน ส่งกำลังไปยังเพลาลูกกลิ้งทั้งสี่ลูกที่ติดเฟืองโซ่ 20 ฟัน (Figure 4a) ในการส่งกำลังออกแบบวางแนวโซ่ เพื่อให้ลูกกลิ้งชุดบนสองลูกและชุดล่างสองลูก แต่ละลูกมีทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งสวนทางกัน

6) อ่างรองรับผลผลิตและแยกเนื้อในกับเปลือก (Kernel and Husk separation Tank) ทำจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม หนา 1 mm ด้านบนเป็นสี่เหลี่ยม กว้าง 0.39 m ยาว 0.80 m ด้านข้างเป็นสี่เหลี่ยมด้านขนาน ด้านบนยาว 0.85 m ข้างสูง 0.10 m กับ 0.22 m และ ด้านยาว 0.80 m จากขอบด้านบนลึกลงมา 60 mm มีตะแกรงแยกเปลือกมีลักษณะเป็นซี่เหล็กเส้นกลมขนาด 5 mm ระยะห่างกัน 15 mm แนวยาวเท่ากับความยาวภายในของอ่าง ความกว้างเท่ากับความกว้างภายในของอ่าง ถัดลงมาอีก 20 mm เป็นตะแกรงแยกเนื้อในลูกชิต ขนาด กว้าง 0.38 m ยาว 0.79 m ทำจากแผ่นตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมมีรูตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm (Figure 4b)

การทำงานของเครื่องมือบีบลูกชิตแบบลูกกลิ้ง ได้ออกแบบให้มีลูกกลิ้งทรงกระบอก หมุนเข้าหากัน ลักษณะการหมุนของลูกกลิ้งลูกหนึ่งหมุนตามเข็มนาฬิกา อีกลูกหนึ่งหมุนทวนเข็มนาฬิกา มีลูกกลิ้งทั้งหมดสองชุด วางต่อกันตามแนวดิ่ง ทำงานสอดประสานกัน ลูกกลิ้งชุดบน รับลูกชิตจากภาตป้อนและบีบนำส่งลูกชิตลงไปยังลูกกลิ้งชุดล่าง ซึ่งบีบลูกชิตให้เนื้อในหลุดออกจากเปลือก ตกลงมาที่อ่างรองรับผลผลิตและแยกเนื้อในกับเปลือก ที่มีน้ำอยู่ภายในอ่างรองรับผลผลิต เนื้อในลูกชิตจะตกลงไปค้างอยู่บนตะแกรงรองรับเนื้อใน ส่วนเปลือกลูกชิตก็ติดอยู่บนตะแกรงแยกเปลือก ขณะทำงานต้องคอยโยกเปลือกลูกชิตออกจากอ่างไปด้วย เครื่องมือบีบลูกชิตแบบลูกกลิ้ง สามารถบีบเอาเนื้อในลูกชิตได้โดยไม่ตัดขั้วผลหรือตัดขั้วผลก็ได้ ทั้งสองวิธีดัง

ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางลูกกลิ้งชุดบน 135 mm และ 125 mm สำหรับลูกกลิ้งชุดล่าง จากการเก็บข้อสภาพการใช้งานระยะยาว พบว่า โซ่ส่งกำลังมักหลุดจากชุดเฟืองโซ่ เนื่องจากชุดตัวตั้งโซ่จับยึดไม่แน่นและการยืดตัวของโซ่โซ่ จึงได้แก้ไขโดยการปรับชุดโซ่จากเดิมที่ออกแบบไว้ คือ ชุดโซ่เบอร์ 40 ขึ้นเป็นชุดโซ่เบอร์ 50 เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ (เกรียงศักดิ์ และคณะ, 2558)

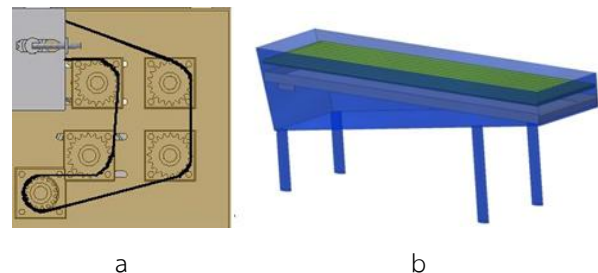


Figure 4 a Chain Transmission b Kernel and Husk separation Tank

2.3.3 ทดสอบความสามารถการทำงานของเกษตรกรหรือผู้แปรรูปลูกชิตร่วมกับเครื่องมือในบีบลูกชิตแบบดั้งเดิม โดยทดสอบเก็บตัวเลข จำนวน 30 ข้ำ ใช้ลูกชิตที่ต้มแล้ว จำนวนข้ำละ 50 ลูก เวลาในการบีบคิดรวมกับเวลาในการตัดขั้วผลด้วยเทียบกับเครื่องมือบีบผลลูกชิตแบบลูกกลิ้ง สมการที่ (1) โดยทดสอบเก็บตัวเลข จำนวน 30 ข้ำ ใช้ลูกชิตที่ต้มแล้ว จำนวนข้ำละ 10 kg หรือประมาณโดยเฉลี่ยกิโลกรัมละ 35 ลูก ใช้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งในการทดสอบ 202 rpm (เกรียงศักดิ์ และคณะ, 2558)

$$\text{ความสามารถในการบีบ} = w_a / t \quad (1)$$

t = เวลาที่ใช้บีบผลตัว (hr)

w_a = น้ำหนักทั้งหมดของผลลูกชิตที่บีบได้ (kg)

2.3.4 ทดสอบหาปริมาณเนื้อในต่อผลลูกชิต คือ เนื้อในลูกชิตที่บีบออกจากผลลูกชิต เรียกว่าเนื้อในลูกชิตแห้งหรือน้ำหนักผลลูกชิตคูณด้วยร้อยละ โดยทดสอบเก็บตัวเลข จำนวน 10 ข้ำ ใช้ลูกชิตที่ต้มแล้ว จำนวนข้ำละ 30 ลูก ซึ่งน้ำหนักทั้งผล จากนั้นบีบเอาเนื้อในแห้งมาชั่งน้ำหนักหน่วยเป็นกรัม

2.3.5. หาอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื้อในหลังแช่น้ำ 1,2 และ 3 วัน คือ เนื้อในลูกชิตที่แช่น้ำแล้วลบเนื้อในลูกชิตแห้งหรือน้ำหนักเนื้อในลูกชิตแห้งคูณด้วยร้อยละ โดยทดสอบ จำนวน 10 ข้ำ เนื้อในลูกชิต จำนวนข้ำละ 30 ข้ำ

2.3.6. ทำการวิเคราะห์ค่าทางเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบการบีบเอาเนื้อในลูกชิตโดยใช้วิธีแบบดั้งเดิมที่เกษตรกรสามารถทำเองได้กับการใช้งานเครื่องมือบีบผลลูกชิตแบบลูกกลิ้ง ดำเนินการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยมีสมการที่ (2)-(6) สำหรับใช้คำนวณหาต้นทุนการใช้งาน จุดคุ้มทุน คือ จุดที่รายได้จากการลงทุนคุ้มกับค่าลงทุน และระยะเวลาคืนทุน (Hunt, 1977)

$$C = F_c + kn \quad (2)$$

$$R = pn \quad (3)$$

$$F_c = D + i \quad (4)$$

$$D = \frac{P-S}{N} \quad (5)$$

$$i = \frac{P+S}{2} \times \frac{r}{100} \quad (6)$$

โดย C = ค่าใช้จ่าย (baht·year⁻¹)

n = จำนวนที่ผลิต (kg·year⁻¹)

F_c = ค่าใช้จ่ายคงที่ (baht·year⁻¹)

R = รายได้ (baht·year⁻¹)

D = ค่าเสื่อมราคา (baht·year⁻¹)

p = ราคาของหน่วยสินค้า (baht·kg⁻¹)

P = ราคาเครื่อง (baht)

S = มูลค่าซาก (baht)

N = อายุการใช้งานของเครื่อง (year)

i = ดอกเบี้ย (baht·year⁻¹)

r = อัตราดอกเบี้ยคงที่ต่อปี (%)

k = ค่าใช้จ่ายแปรผัน (baht·kg⁻¹)

3 ผลและวิจารณ์

3.1. ผลการเก็บข้อมูลการประชุมเสวนาร่วมกับกลุ่มเกษตรกรและผู้แปรรูปลูกชิด พบว่า กระบวนการเก็บเกี่ยวและการบีบเอาเนื้อในลูกชิดที่ทำกันอยู่ทั่วไปมีขั้นตอนดังนี้ (Figure 5)

1) ต้องทำการตรวจเช็ค เนื้อในผลลูกชิดก่อนว่ามีความเหมาะสมพร้อมที่จะบีบเอาเนื้อในแล้ว จึงทำการตัดทะลายนอกจากต้นลูกชิด (Figure 5a)

2) ปลิดลูกชิดออกจากทะลายนก่อนทำการต้ม เพราะหากไม่ปลิดผลลูกชิดออกจากทะลายต้องใช้หม้อต้มขนาดใหญ่เกินความจำเป็นและจะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงด้วย (Figure 5b)

3) การต้มลูกชิด โดยใส่ลูกชิดลงในหม้อแล้วเติมน้ำลงในหม้อให้ท่วมผลลูกชิด แล้วนำขึ้นต้มบนเตา เมื่อน้ำเดือด ให้จับเวลาในการต้มประมาณ 1 ชม ตักผลลูกชิดออกจากถังต้มและทิ้งไว้ให้เย็น (Figure 5c)

4) การตัดขั้วลูกชิด ให้ตัดที่ตำแหน่งสุดปลายกลีบเลี้ยงผล จะไม่ถึงส่วนที่เป็นเนื้อในลูกชิด หากตัดลึกเข้าไปในส่วนของผลมากกว่านี้ มักจะฉีกเนื้อในลูกชิดออกไปด้วย (Figure 5d)

5) การบีบลูกชิดให้ยกไม้บีบที่ส่วนด้ามจับขึ้น แล้วนำผลลูกชิดที่ตัดขั้วแล้วมาวางบนไม้ท่อนฐานให้ชิดกับจุดที่ผูกไม้สองท่อนติดกัน จากนั้นก็กดด้ามไม้ลง ผลลูกชิดที่อยู่ระหว่างไม้ท่อนฐานกับไม้ท่อนด้ามจับ เมื่อถูกบีบให้แบนลง เนื้อในลูกชิดจะไหลออกที่ปลายด้านที่ตัดขั้วไว้แล้ว ความสามารถในการตัดขั้วผลประมาณ 25 kg/hr และการบีบเอาเนื้อในลูกชิดประมาณ 20 kg hr⁻¹ ที่ทำกันอยู่ในปัจจุบัน (Figure 5e)

3.1.2 การเก็บลูกชิดป่า เป็นอาชีพเสริมของเกษตรกรที่เสร็จจากงานหลักในไร่ นา จึงเข้าป่าเพื่อหาลูกชิดป่า เมื่อพบลูกชิดที่พอเหมาะสำหรับการบีบ ก็ทำที่ปักขั้วควรวขึ้น เพื่อใช้ในการปักแรมในป่า ทำการตัดทะลายลูกชิดลงจากต้น จากนั้นต้มลูกชิดโดยใช้ฟืนไม้แห้งในป่าเป็นเชื้อเพลิง และทำการบีบลูกชิด ด้วยเครื่อง

ที่ทำจากไม้ในป่าเป็น เครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบดั้งเดิม นำเนื้อในลูกชิดออกจากป่า จากนั้นแช่น้ำไว้ 2-3 วัน จึงจำหน่ายให้ผู้รับซื้อในชุมชนที่ทำการแปรรูป (Figure 5f)

3.1.3 การเก็บลูกชิดในพื้นที่ป่าชุมชนใช้ร่วมกัน ผู้นำชุมชนได้ตกลงกับชาวบ้านให้จัดกลุ่มเวรในการเก็บลูกชิดในรอบการเกี่ยวแต่ละปีและปีถัดไปเป็นอีกกลุ่ม เกษตรกรยังใช้เครื่องมือที่ทำจากไม้ในป่าเป็น เครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบดั้งเดิม สำหรับบีบเอาเนื้อในลูกชิด จากนั้นแช่น้ำไว้ 2-3 วัน จึงจำหน่ายให้ผู้รับซื้อในชุมชนที่ทำการแปรรูปหรือจำหน่ายให้ผู้ซื้อที่เข้าไปรับซื้อจากในจังหวัดน่าน



a



b



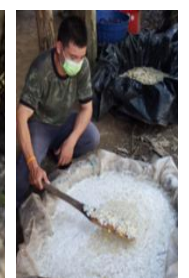
c



d



e



f

Figure 5 Sugar Palm Harvesting Process a) Chack Sugar Palm Just Right for Harvest b) Cut the Sugar Palm Fruits from the Bunches c) Boiled Sugar Palm d) Cut Calyx Palm Fruits e) Compression Kernel Fruits f) Soaking in water

3.1.4 การเก็บลูกชิดในพื้นที่ป่าที่ให้เกษตรกรใช้ประโยชน์หรือเป็นที่ทำกิน โดยลูกชิดในพื้นที่เป็นลูกชิดจากการปลูกของเกษตรกร ที่ได้พันธุ์จากป่าไม้มาแจกเพื่อสนับสนุนการสร้างป่าสร้างราย เกษตรกรบางรายยังขาดความรู้ในการเก็บเกี่ยวลูกชิดสำหรับเกษตรกรที่เคยเก็บลูกชิดปายังใช้เครื่องมือที่ทำจากไม้ในป่าเป็นเครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบดั้งเดิม สำหรับบีบเอาเนื้อในลูกชิด จากนั้นแช่น้ำไว้ 2-3 วัน จึงจำหน่ายให้ผู้รับซื้อในชุมชนที่ทำการแปรรูปหรือจำหน่ายให้ผู้ซื้อที่เข้าไปรับซื้อจากในจังหวัดน่านที่เข้าไปรับซื้อ

3.2 ผลการถ่ายทอดองค์ความรู้โดยการร่วมทดสอบสาธิตและรายละเอียดเครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้ง พบว่า เกษตรกรที่ร่วมทดสอบการบีบลูกชิดด้วยเครื่องมือบีบลูกแบบชนิดลูกกลิ้ง ในกลุ่มที่ยังไม่เคยเก็บเกี่ยวลูกชิดก็มีความเข้าใจในขั้นตอนกระบวนการเก็บเกี่ยวลูกชิดได้ดีมากขึ้นและสามารถใช้งานเครื่องมือบีบลูกชิดแบบลูกกลิ้งได้เป็นอย่างดี (Figure 6 a) ให้การยอมรับเครื่องมือบีบลูกชิดแบบลูกกลิ้ง เพราะใช้งานได้สะดวก

รวดเร็วเหมาะกับการบีบลูกชิดจำนวนมาก สำหรับเยื่อหุ้มสีเหลืองที่ปนออกมาสามารถล้างล่อนตะแกรงออกได้ หรืออาจแช่เนื้อในลูกชิดไว้ 2 วัน ก่อนล้างก็จะล้างได้ง่ายเพราะเนื้อในลูกชิดโตขึ้นมาก อาจใช้เครื่องมือล้างแบบใช้ตะแกรงโยกแบบใช้แรงคน (Figure 6 b) หรือแบบใช้ต้นกำลังมอเตอร์มาใช้ในการล้างยิ่งสะดวกมากขึ้น (Figure 6 c)



Figure 6 a Use the Roller Compression Machine Compressing Sugar Palm fruits b Sugar palm washing machine by manual c Sugar palm washing machine by motor

3.3. ผลการทดสอบความสามารถการทำงานของกลุ่มเกษตรกรหรือผู้แปรรูปร่วมกับเครื่องมือในบีบลูกชิด พบว่า เครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบดั้งเดิมใช้แรงคน มีความสามารถในการบีบลูกชิด $12.06 \pm 2.63 \text{ kg hr}^{-1}$ เครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้งมีความสามารถในการบีบลูกชิด $485.7 \pm 81.60 \text{ kg hr}^{-1}$ (Table 1)

Table 1 Efficiency of Compression Equipment

Compression Equipment	Efficiency (kg/hr)
Equipment traditional compression	12.06 ± 2.63
Roller Compression Machine for Sugar Palm	485.7 ± 81.60

3.4. อัตราส่วนเนื้อในต่อผลลูกชิดโดยน้ำหนัก พบว่า ผลลูกชิดมีน้ำหนักเฉลี่ย $28.23 \pm 1.49 \text{ g}$ เนื้อในมีน้ำหนัก $6.16 \pm 0.28 \text{ g}$ และสัดส่วนเนื้อในต่อผลลูกชิด $21.87 \pm 0.50\%$ (Table 2)

Table 2 Fruit weight, kernel weight and kernel to-fruit ratio distributed

Fruit weight (g)	Kernel weight (g)	Kernel to-fruit ratio (%)
28.23 ± 1.49	6.16 ± 0.28	21.87 ± 0.50

3.5. ผลการหาอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเนื้อในหลังแช่น้ำ 1,2 และ 3 วัน พบว่า เนื้อในลูกชิดที่แช่น้ำแล้ว มีน้ำหนักเนื้อใน

ลูกชิดเพิ่มขึ้นจากเนื้อในลูกชิดแห้ง 59.25 ± 3.40 , 71.75 ± 5.40 และ $79.94 \pm 5.24\%$ ตามลำดับ (Figure 7)

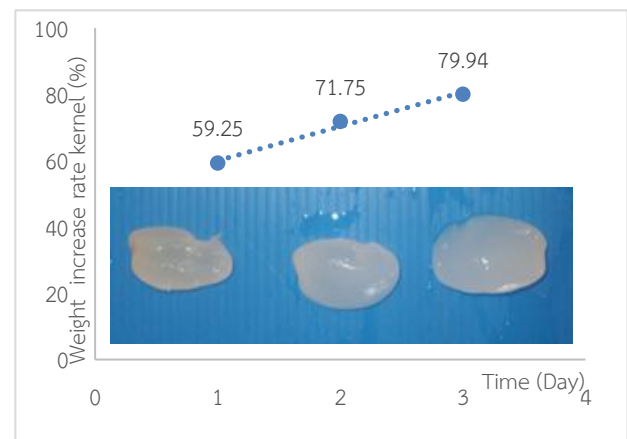


Figure 7 The rate of increase in the weight of sugar palm kernel after soaking in water

3.6. ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์การใช้งานเครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้งเปรียบเทียบกับเครื่องบีบผลลูกชิดแบบวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรใช้มีความสามารถในการบีบลูกชิด 12.06 kg hr^{-1} กำหนดจำนวนผู้ปฏิบัติงาน 1 คน ทำงานวันละ 8 hr จำนวน 90 วัน/ปี ค่าแรงวันละ 400 บาท ส่วนเครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้งมีราคาประมาณ 78,000 บาท ความสามารถในการบีบลูกชิด 485.7 kg hr^{-1} กำหนดจำนวนผู้ปฏิบัติงาน 2 คน ทำงานวันละ 8 hr จำนวน 90 วัน/ปี ค่าแรงวันละ 400 บาท พบว่า ต้นทุนหากจ้างคนบีบผลลูกชิดใช้เครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบดั้งเดิมก็ใกล้เคียง 4.15 บาท จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้งในแต่ละปีละ 5,166 kg ในเวลา 5.56 ปี (Figure 8)

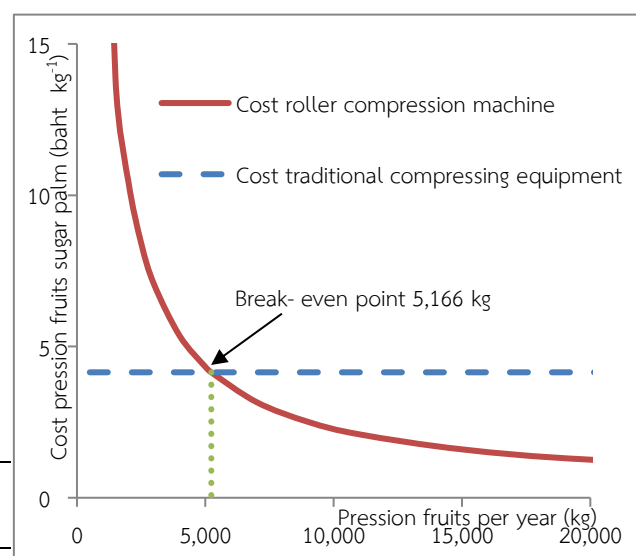


Figure 8 Economic Value Analysis of traditional compressing equipment compared roller Compression Machine for Sugar Palm

4 สรุป

การทดสอบและขยายผลเครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้งสู่เกษตรกรในพื้นที่ จ.น่าน พบว่า เครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบดั้งเดิมใช้แรงคน มีความสามารถในการบีบลูกชิด $12.06 \pm 2.63 \text{ kg hr}^{-1}$ เครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้ง ความสามารถในการบีบลูกชิด $485.7 \pm 81.60 \text{ kg hr}^{-1}$ การบีบผลลูกชิดด้วยเครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้ง สามารถบีบได้เร็วกว่าเครื่องมือแบบใช้แรงคนประมาณ 40 เท่า ผลลูกชิดมีน้ำหนักเฉลี่ย $28.23 \pm 1.49 \text{ g}$ สัดส่วนเนื้อในต่อผลลูกชิด $21.87 \pm 0.50\%$ เนื้อในลูกชิดหลังแช่น้ำ 3 วัน น้ำหนักเพิ่มขึ้นจากเนื้อในลูกชิดแห้ง $79.94 \pm 5.24\%$ และกลุ่มเกษตรกรที่ร่วมทดสอบให้การยอมรับเครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้ง เครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบลูกกลิ้งราคาประมาณ 78,000 บาท มีจุดคุ้มทุนปีละ 5,166 kg ในระยะเวลา 5.56 ปี

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทีมงานทุกคนของศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ที่มีส่วนช่วยในการดำเนินงานสร้างต้นแบบและทดสอบงานนี้แล้วเสร็จ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรน่าน จังหวัดน่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบและการประสานงาน การปฏิบัติงานในการทดสอบเครื่องต้นแบบในพื้นที่ และให้คำแนะนำเป็นอย่างดีจนงานนี้แล้วเสร็จ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการศูนย์ฟ้าพัฒนาฯ รวมทั้งเกษตรกรผู้ปลูกลูกชิด บ้านสบมาง ตำบลภูฟ้า อำเภอปัว จังหวัดน่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการประสานงาน การปฏิบัติงานในการทดสอบเครื่องต้นแบบในพื้นที่และให้คำแนะนำเป็นอย่างดีจนงานนี้แล้วเสร็จ

6 เอกสารอ้างอิง

เกรียงศักดิ์ นักผูก, สถิตย์พงศ์ รัตนคำ, วิลาสลักชน ว่องไว, และ วีระ ศรีกระจำจ สมเดช ไทยแท้. 2558. เครื่องมือแบบลูกกลิ้งใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ใช้สำหรับบีบผลลูกชิด. วารสารวิชาการเกษตรเกษตร 33:1, 2-14.

เกรียงศักดิ์ นักผูก, สถิตย์พงศ์ รัตนคำ, อภิวัฒน์, ปัญญาวงศ์, ศิวพร แสงภัทรเนตร, และ ฉัตรสุตา เชิงอักษร. 2568. การขยายผลงานวิจัยเครื่องมือบีบผลลูกชิดแบบตัดข้าวพร้อมบีบโดยใช้แรงคน. การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ (E-Proceeding) ครั้งที่ 22, 3 – 4 พฤศจิกายน 2568 ณ โรงแรม ริชมอนด์ สโตนีส์ คอนเวนชัน, อำเภอเมือง, จังหวัดนนทบุรี, 1/7-7/7.

ด่านตรวจพืชเชียงใหม่. 2557. รายงานประจำปี 2556. สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. กรมวิชาการเกษตร.

วิลาสลักชน ว่องไว และเกรียงศักดิ์ นักผูก. 2558. การศึกษาระบบการผลิต การแปรรูปและพัฒนาเครื่องมือบีบผลลูกชิด. เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาวิชาการ ประจำปี 2558

สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1. 19-21 สิงหาคม 2558, ณ โรงแรมเอ็มบูทีก รีสอร์ท, จังหวัดเชียงราย, 65-106.

วิลาสลักชน ว่องไว, ทวีพงษ์ ณ น่าน, พันธุ์ศักดิ์ แก่นหอม, เกรียงศักดิ์ นักผูก, สถิตย์พงศ์ รัตนคำ, บุษยพรรณ อนุชน, และผานิตย์ นาขยัน. 2557 ระบบการผลิตและการแปรรูปข้าวในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน. รายงานผลการทดลองสิ้นสุดสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1. กรมวิชาการเกษตร, 15 หน้า.

วิลาสลักชน ว่องไว และนิพนธ์ สุขวิบูลย์. 2556 การผลิตลูกชิดของเกษตรกรในจังหวัดน่าน. วารสารวิจัยและพัฒนาการเกษตร สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1 ปีที่ 14 3, 8-12.

สถิตย์พงศ์ รัตนคำ, เกรียงศักดิ์ นักผูก, ปรีชา ชมเชียงคำ และสมเดช ไทยแท้. 2557 ศึกษาทดสอบเครื่องมือบีบข้าวแบบใช้แรงคน. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7 2-4 เมษายน 2557, โรงแรมกรุงศรีริเวอร์, จ. อโยธยา.

สุพรรณิภา พันชนะ และจารุณี ภิรมวงค์. 2555. โครงการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมเพื่อฟื้นฟูการปลูกและสร้างมูลค่าเพิ่มหวายและข้าว. ในรายงานการสัมมนาวิชาการสรุปผลการดำเนินงานวิจัยสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555. ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส, อำเภอเมือง, จังหวัดเชียงใหม่.

อนุชา จันทบุรี. 2541. การสำรวจและศึกษาลักษณะของชิด (Arenga pinnata) ในจังหวัดน่าน. เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 15 .เล่ม 1 สาขาพืช. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. 338 หน้า.

อภิวัฒน์ คำสิงห์. 2554 ลูกชิด พืชเฉพาะถิ่นนครน่านหนึ่งของดีแปรรูปได้. เกษตรมหัศจรรย์, มติชนออนไลน์. แหล่งข้อมูล www.matichon.co.th. เข้าถึงเมื่อ 19 สิงหาคม 2554.

Hunt, D. (1977) Farm power and machinery management: laboratory manual and work Book/donnell hunt (No. S711. H 86 1973.). Iowa University. Ames. US.



โปรแกรมวิเคราะห์คลื่นเสียงสำหรับประเมินความสุกแก่ทุเรียน

Acoustic Analysis Program for Durian Maturity Determination

ปรีดาพรรณ ไชยศรีชลธาร^{1*}, เวียง อากรชี¹, นายวัชรพงษ์ ตามไรสง¹, นายพงษ์วิ นามวงศ์¹

คชธร อ่างบุญพงษ์¹, ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์¹ และ ชุศักดิ์ ขวประดิษฐ์¹

Preedawan Chairichonlathan^{1*}, Weang Arekornchee¹, Watcharapong Tamthaisong¹, Pongrawee Namwong¹,
Kochathorn Angboonpong¹ Parinyawat Yoothongin¹ and Chusak Chavapradit¹

¹สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

*Corresponding author: Tel: +66-8-0588-4959, , E-mail: jasmine.1100@hotmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการคือการศึกษาโปรแกรมวิเคราะห์คลื่นเสียงสำหรับประเมินความสุกแก่ทุเรียนเพื่อพัฒนาเป็นเครื่องมือวัดความอ่อนแก่ของทุเรียนด้วยคลื่นเสียงต่อไป ในการทดลองใช้หัวเคาะทำจากวัสดุ Teflon เสียงเคาะถูกส่งผ่านไมโครโฟนของโน้ตบุ๊ค หรือแท็บเล็ต ที่มีระบบปฏิบัติการของไมโครซอฟท์ วินโดวส์ 10 ขึ้นไป และวิเคราะห์หาความอ่อนแก่ของผลทุเรียนด้วยโปรแกรมวิเคราะห์เสียงวัดคุณภาพทุเรียนเบื้องต้น ประกอบด้วยส่วนเปิดไฟล์เสียง ส่วนวิเคราะห์เสียงแบบฟาสฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม (Fast Fourier Transform, FFT) การทดลองศึกษาคุณสมบัติเสียงเคาะกับทุเรียนหมอนทองในระยะหลังดอกบานที่ 80, 100 และ 115 วัน ตามลำดับ ระยะละ 150 ผล จำนวนรวม 450 ผล โดยทุเรียนเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดลองในวันที่ 1, 3 และ 5 ผลการทดลอง พบว่า เปอร์เซนต์เนื้อแห้งของทุเรียนมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงแบบผกผันกับค่า FFT ในช่วงทุเรียนมีเปอร์เซนต์เนื้อแห้ง 24 ถึง 40 %db โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงกว่า 0.85 ต้นแบบเครื่องวัดความสุกแก่ของทุเรียนด้วยคลื่นเสียงสำหรับผู้ค้าปลีกทุเรียนมีความถูกต้องแม่นยำในการวัด 85.6 เปอร์เซนต์ โปรแกรมวิเคราะห์เสียงเคาะทุเรียนสามารถใช้กับคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และบอร์ดคำนวณ LattePanda ที่มีระบบปฏิบัติการ Windows 10 ขึ้นไป โดยมีความถูกต้องแม่นยำเท่ากัน คือ 85.6 เปอร์เซนต์ โครงการแนะนำให้แท็บเล็ต ที่มีคุณสมบัติ CPU-Intel Core i5-8365U, Graphic-Intel UHD Graphics 620 ความสามารถในการประมวลผล 840 ผลต่อชั่วโมง

คำสำคัญ: ทุเรียน, เสียงเคาะ, การแปลงฟูเรียร์แบบรวดเร็ว

Abstract

The objective of the project is to investigate acoustic analysis program for durian maturity determination and the acoustic durian maturity meter will be further developed. In an experiment, Teflon-head hammer provides knocking force on a durian fruit, the acoustic knock sound was analyzed by sound analysis program. An audio receiving section and sound analysis section by means of Fast Fourier Transform (FFT) algorithm were achieved and 80, 100 and 115 days after flowering of durian with an amount of 150 fruits per stage, 450 fruits in total, were tested. Durian samples were harvested and knock test on the days 1, 3 and 5 after harvest. Study showed that relationships between percentage of durian dry matter by standard method and FFT values of durian is inverse linear for dry matter of between 24 – 40 %db. with R^2 higher than 0.85. Sorting accuracy of the quality determination machine of durian maturity by acoustic property was 85.6 percent but prototype capability was dependent on its processor such as Tablet with Windows 10 or higher operating systems. Project recommended tablet in specification CPU-Intel Core i5-8365U, Graphic-Intel UHD Graphics 620 achieved 840 fruit per hour of processing capacity.

Keywords: Durian, Acoustic knock sound, Fast Fourier Transform

1 บทนำ

ทุเรียนเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยพืชหนึ่งในปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีพื้นที่ให้ผลผลิต 1.55 ล้านไร่ มีผลผลิต 1.48 ล้านตัน มีการส่งออกรวม 1.09 ล้านตัน มีมูลค่า 1.64 แสนล้านบาท โดยส่งออกในรูปแบบ ผลสด แช่แข็ง อบแห้ง และผลผลิตแปรรูปอื่นๆ เป็นต้น ประเทศไทยส่งออกทุเรียนกว่าร้อยละ 73.65 ที่เหลือบริโภคภายในประเทศ ซึ่งมีปริมาณการบริโภคภายในประเทศถึง 0.39 ล้านตัน หากคิดราคาจำหน่ายกิโลกรัมละ 180 บาท มูลค่าของทุเรียนบริโภคภายในประเทศมีมูลค่า 70.20 พันล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567)

ปัญหาทุเรียนอ่อนซึ่งเป็นทุเรียนด้อยคุณภาพปะปนเข้ามาในตลาดภายในประเทศและตลาดส่งออกต่างประเทศยังคงเป็นปัญหาสำคัญในการคัดแยกคุณภาพทุเรียน ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัย อาทิเช่น เจ้าของสวนรุ่นใหม่บางรายขาดความชำนาญในการแยกระดับความสุกแก่ของทุเรียน การตัดขายทุเรียนต้นฤดูได้ราคาจำหน่ายสูง การจ้างคนตัดแบบเหมาสวน ฯลฯ รวมทั้งสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงทำให้ลักษณะภายนอกของทุเรียนเหมือนทุเรียนที่แก่ได้ที่แล้วแต่เนื้อภายในของทุเรียนพัฒนาระดับความแก่ไม่ทันกับลักษณะภายนอก ทำให้การพิจารณาทุเรียนด้วยลักษณะภายนอก เช่น สีผล สีร่องทุเรียน เคาะฟังเสียง ของผู้มีความชำนาญมีความแม่นยำลดลง เกิดปัญหาเป็นห่วงโซ่ทั้งระบบ ผู้ค้าทุเรียนภายในประเทศประสบปัญหาเมื่อผ่าทุเรียนแล้วผู้บริโภคไม่รับซื้อ หรือผู้บริโภคซื้อทุเรียนทั้งลูกไปผ่าเองก็ไม่สามารถรับประทานได้เนื่องจากเป็นทุเรียนอ่อนที่ภายนอกมีลักษณะเหมือนทุเรียนสุก

ปรีตวรณ และคณะ (2560) พัฒนาเครื่องวัดความสุกแก่ทุเรียนแบบพกพา เป็นการวัดด้วยคุณสมบัติค่าทางไฟฟ้าของผลทุเรียน สามารถวัดทุเรียนอ่อนที่มีเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้งตั้งแต่ 27 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป เครื่องมีราคาจำหน่าย 9,000.- บาท มีความถูกต้องแม่นยำในการวัด 80 เปอร์เซ็นต์ (บริษัทชิฟฟิลด์ เพอร์ฟิวท์ จำกัด., 2563)

รณฤทธิ์ (2561) พัฒนาเครื่องวิเคราะห์ความอ่อน-แก่ของทุเรียนด้วยเทคนิค NIR เครื่องมีราคาจำหน่าย 300,000.- บาท มีความถูกต้องแม่นยำในการวัด 64 เปอร์เซ็นต์ (ชูชาติ, 2565) สามารถวัดคุณสมบัติของทุเรียนที่ความลึกจากเปลือก 1.5 เซนติเมตรด้วยหัววัดเดียว กำลังพัฒนาโดยใช้หลายหัววัดล้อมทุเรียน 1 ผล เพื่อวัดทุกพูของทุเรียน (ชาติริ และคณะ, 2566)

มาตรฐานการตรวจวัดความสุกแก่ของทุเรียนไทยใช้ตัวแปรน้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์ (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. 2013) แต่เป็นวิธีแบบทำลาย วัดอุปสรรคของโครงการคือการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์คลื่นเสียงสำหรับประเมินความสุกแก่ทุเรียน เพื่อพัฒนาเป็นเครื่องมือวัดความอ่อนแก่ของทุเรียนด้วยคลื่นเสียงต่อไป

2 อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวอย่างทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ผลสด ในระยะหลังดอกบานที่ 80, 100 และ 115 วัน ตามลำดับ ระยะละ 150 ผล จำนวนรวม 450 ผล โดยทุเรียนเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดลองในวันที่ 1, 3 และ 5 เพื่อให้ทุเรียนแก่เปลี่ยนสภาพเป็นทุเรียนสุกสามารถรับประทานได้

2.1 การทดสอบคุณสมบัติเสียงเคาะทุเรียน

ทุเรียนตัวอย่างถูกวางบนฐานรองจำกัดขนาด และถูกเคาะด้วยไม้เคาะทุเรียน ปลายไม้หุ้มด้วย Teflon โดยใช้แรงเคาะสม่ำเสมอ และเคาะที่ตำแหน่งกลางของพูใหญ่สุด เสียงเคาะถูกส่งผ่านไมโครโฟนของเครื่องคอมพิวเตอร์ รุ่น Nitro5 บันทึกเสียงเคาะ โดยบันทึกเสียงเคาะทุกพู เป็นเวลาทุละ 30s ด้วยความถี่ในการเคาะ 120 time/min (Figure 1) และเสียงเคาะถูกนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์เสียงวัดคุณภาพทุเรียนเบื้องต้นที่สร้างจากโปรแกรม LabVIEW โดยโปรแกรมไม่มีการตั้งจำกัดความถี่ใดๆ เนื่องจากเป็นการเก็บข้อมูลในสภาพสิ่งแวดล้อมที่เสียงที่สุกเท่าที่ทำได้

โปรแกรมวิเคราะห์เสียงวัดคุณภาพทุเรียนเบื้องต้น (Figure 2) ประกอบด้วยส่วนเปิดไฟล์เสียง ส่วนวิเคราะห์เสียงแบบฟาสฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม (Fast Fourier Transform, FFT) ซึ่งให้ผลการวัดเป็นกราฟค่าความถี่ (Hz) และแอมพลิจูด (Figure 3) ซึ่งแอมพลิจูดที่สูงที่สุดคือค่า FFT ของทุเรียน

หลังการทดลองเคาะบันทึกเสียงแล้ว ทุเรียนตัวอย่างถูกนำมาทดสอบวัดน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยวิธีมาตรฐาน



Figure 1 Experimental of acoustic knock sound properties for durian maturity determination

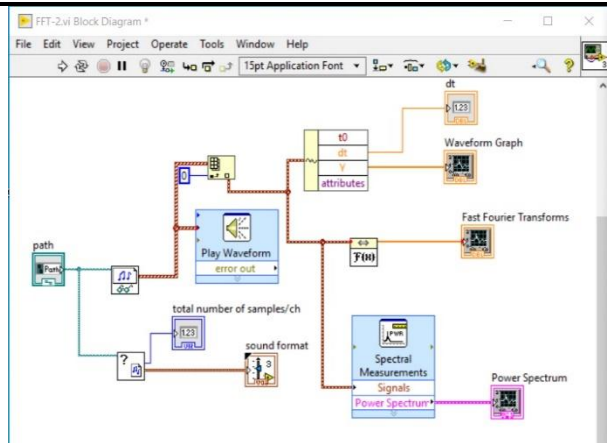


Figure 2 Preliminary sound analysis program

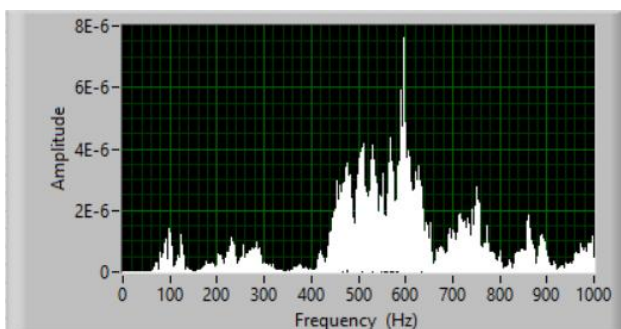


Figure 3 FFT value of soften with crispy texture on outside and soft on inside flesh durian knocking sound

จากกราฟค่าความถี่ (Hz) และแอมพลิจูด (Figure 3) สามารถบันทึกค่าออกมาเป็นไฟล์ Excel แล้วนำมาคำนวณค่า FFT จากแผนผังลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม (Figure 4) โดยการใช้ชุดคำสั่ง Macro Excel

2.2 การหาค่าร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยวิธีมาตรฐาน

ทุเรียนตัวอย่างถูกผ่าตามแนวขวางของผล แล้วนำเนื้อจากผลส่วนกลางทั้งหมดมาชั่งละเอียด ไม่ใช้เมล็ดทุเรียน คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน ตัวอย่างจำนวน 60 กรัม จากแต่ละส่วน รวมเป็น 3 ซ้ำ จากตัวอย่างทุเรียนแต่ละผลนำเข้าอบแห้งในตู้อบแบบลมร้อน (Air Oven) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักตัวอย่างแห้งจะคงที่ ทำการชั่งน้ำหนักสุดท้าย หรือน้ำหนักเนื้อแห้งแล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2556)

การผ่าทุเรียนจะสามารถทราบว่าทุเรียนผลนั้นๆ มีเนื้อทุเรียนเป็นทุเรียนอ่อน ทุเรียนแก่ หรือทุเรียนกรอบนอกนุ่มใน เนื่องจากทุเรียนระยะหลังดอกบานเดียวกัน เมื่อนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทุเรียนมีการพัฒนาเนื้อทุเรียนแตกต่างกัน จึงไม่สามารถกำหนดกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่เริ่มต้นได้

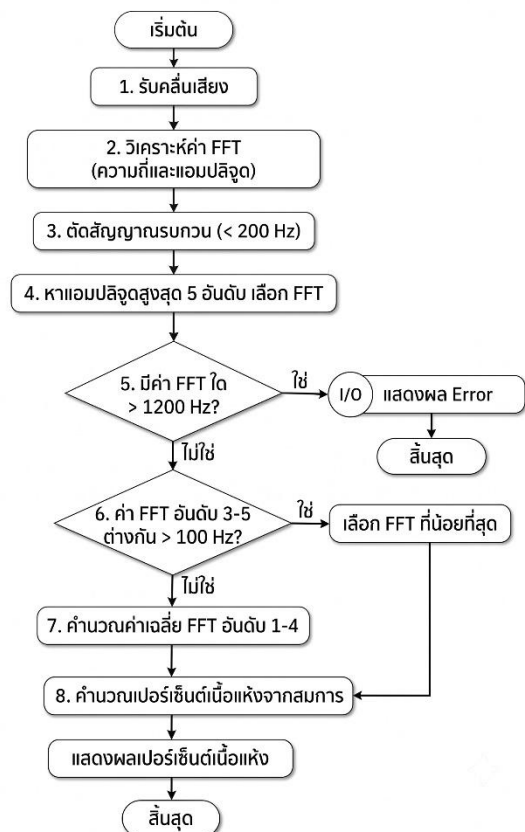


Figure 4 Flowchart diagram of acoustic analysis program for durian maturity determination

3 ผลและวิจารณ์

การทดลองศึกษาคุณสมบัติเสียงเคาะกับทุเรียนหมอนทองในระยะเวลาหลังดอกบานที่ 80, 100 และ 115 วัน ตามลำดับ ระยะละ 150 ผล จำนวนรวม 450 ผล โดยทุเรียนเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดลองในวันที่ 1, 3 และ 5 ผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้งของทุเรียนมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงแบบผกผันกับค่า FFT ในช่วงทุเรียนมีเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้ง 24 ถึง 40 %db โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงกว่า 0.85 และพบว่า ทุเรียนอ่อน ทุเรียนแก่ และทุเรียนกรอบนอกนุ่มใน มีค่า FFT ในช่วง 700-1,000 Hz, 400 – 699 Hz และ 250 – 399 Hz ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้งในช่วง 24.0% – 29.9%, 30.0% – 37.9% และ 38% – 40% ตามลำดับ (Figure 5)

ในการทดลองนี้เน้นแยกแยะระหว่างทุเรียนที่รับประทานได้กับทุเรียนที่ยังรับประทานไม่ได้ ทุเรียนอ่อนและแก่เป็นทุเรียนที่ยังไม่สามารถรับประทานได้ แต่ทุเรียนที่มีเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้งมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์แล้วยังไม่ผ่าผล ก็สามารถพัฒนาเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้งเพิ่มขึ้นในวันต่อไป จนกลายเป็นทุเรียนที่รับประทานได้ แต่ทุเรียนแก่ที่มีเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้งที่ 32 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปตอนเก็บเกี่ยว เมื่อทิ้งไว้ให้สุก ทุเรียนจะมีความหวาน

จากการทดลองพบว่า ทูเรียนที่ระยะหลังดอกบาน 80 วัน จะมีเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้งน้อยกว่า 24%db เมื่อนำมาเคาะหนาม ทูเรียนจะแตก เนื่องจากความยืดหยุ่นของโครงสร้างหนาม โดยทูเรียนอ่อน เปลือกและหนามจะยังอูมน้ำไว้มาก โครงสร้างเส้นใยพืชยังไม่เจริญเต็มที่ ทำให้หนามมีลักษณะแข็งและเปราะ เมื่อถูกไม้เคาะ แรงกระแทกจะทำให้หนามหักหรือแตกออกทันที ส่วน

ทูเรียนแก่ ความชื้นในเปลือกจะลดลง โครงสร้างเส้นใยจะพัฒนาจนมีความเหนียวมากขึ้น หนามของทูเรียนแก่จึงเปลี่ยนจากความเปราะมาเป็นมีความยืดหยุ่น เมื่อใช้ไม้เคาะหนามจะสามารถให้ตัวและรับแรงกระแทกได้โดยไม่แตก และโปรแกรมวิเคราะห์คลื่นเสียงสำหรับประเมินความสุกแก่ทูเรียนให้ค่าแปรปรวนสำหรับทูเรียนที่มีเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้งน้อยกว่า 24%db

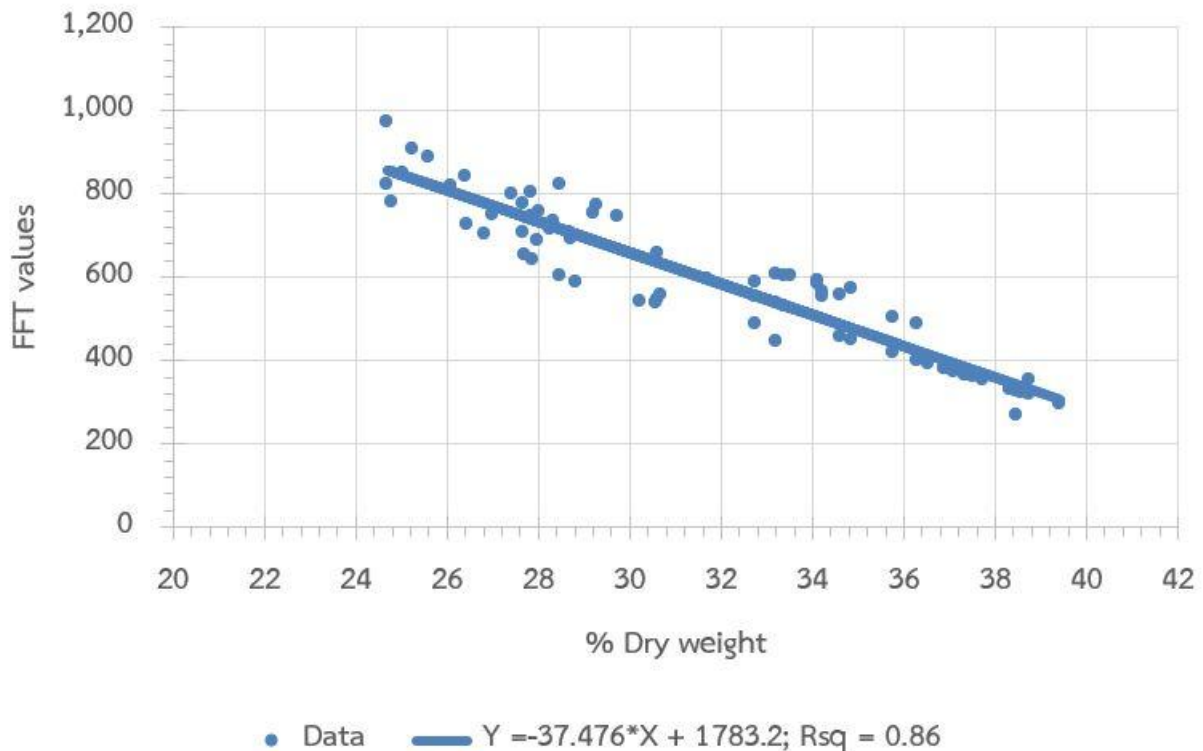


Figure 5 Relationship between FFT values and percentage of dried weight of durian

4 สรุป

โปรแกรมวิเคราะห์คลื่นเสียงสำหรับประเมินความสุกแก่ทูเรียน พบว่าเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้งของทูเรียนมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงแบบผกผันกับค่า FFT ในช่วงทูเรียนมีเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้ง 24 ถึง 40%db ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลการทดลองของ ดร.ชูศักดิ์ ขวประดิษฐ์ (2543) ที่กล่าวว่า ความถี่ธรรมชาติของผลทูเรียนแปรผันกับค่าความอ่อน-แก่ของทูเรียนโดยมีค่าลดลงเมื่อทูเรียนแก่ขึ้นและยังมีความสัมพันธ์กับขนาดของผลทูเรียนด้วย

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ในการสนับสนุนทุนวิจัยโครงการการศึกษาวิจัยระบบตรวจวัดความสุกแก่ของทูเรียนด้วยคลื่นเสียงสำหรับผู้ค้าปลีกทูเรียนภายในประเทศ ซึ่งบทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการดังกล่าว

6 เอกสารอ้างอิง

- ชาตรี อาริวงค์, หทัยรัตน์ กาชัน และ มัลลิกา สิงหเศรษฐ. 2566. ประชุมเรื่องเครื่องวัดความอ่อนแก่ทูเรียน ณ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ. ปทุมธานี แหล่งที่มา : <https://youtu.be/trjY1kU0Yec>. เข้าถึงเมื่อ วันที่ 30 มีนาคม 2566
- ชูชาติ วัฒนวรรณ. 2565. ประชุมการพัฒนาขยายผลต่อยอดเครื่องตรวจทูเรียนอ่อนเพื่อยกระดับสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ในรูปแบบ Test Kit ต้นทุนต่ำ. 23 ธันวาคม 2565 : สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ
- ชูศักดิ์ ขวประดิษฐ์. 2543 โครงการวิจัยย่อยที่ 1.1 การตรวจสอบความแก่-สุกของผลทูเรียนโดยคลื่นเสียง. หนังสือโครงการวิจัยเพื่อพัฒนาการผลิตและการตลาดทูเรียนเพื่อการส่งออก เล่ม 1. ISBN: 974-91448-6-4. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ หน้า 1 - 54
- บริษัท ริชฟิลด์ เฟรชฟรุต จำกัด. 2563. ประชุมติดตามความก้าวหน้าโครงการวิจัยรายงานฉบับสมบูรณ์

ปีงบประมาณ 2561 โครงการวิจัยเรื่อง “วิจัยและพัฒนา
ระบบวัดและควบคุมก๊าซเอทิลีนสำหรับห้องบ่มผลไม้ควบคุม
สภาวะอากาศ” วันที่ 26 มิถุนายน 2563 ณ ห้องประชุม ชั้น
2 กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตร
วิศวกรรม ปทุมธานี

ปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร, ชูศักดิ์ ขวประดิษฐ์, จิรวิทย์ เจีย
ตระกูล และ เพ็ญจันทร์ วิจิตร. 2560. วิจัยและพัฒนา
เครื่องวัดความสุกแก่ทุเรียนแบบพกพา. รายงานเรื่องเต็ม
ภายใต้แผนงานวิจัยมุ่งเป้าตอบสนองความต้องการพัฒนา
ประเทศโดยแรงจูงใจ กลุ่มเรื่องพืชสวน/พืชไร่ (เช่น ข้าวโพด
ไม้ผล พืชผัก และไม้ดอกไม้ประดับ) ทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2556.
มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ.3-2556. เรื่องทุเรียน. ประกาศ
ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 131
ตอนพิเศษ 31 ง. วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2557 แหล่งที่มา :
URL https://www.acfs.go.th/standard/download0/DURIAN_new.pdf. เข้าถึงเมื่อ วันที่ 23 มิถุนายน 2566.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567. ข้อมูลการส่งออก
ผลิตภัณฑ์ทุเรียน. แหล่งที่มา : <https://oae.go.th/view/1/siteunderconstruction/TH-TH>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15
มีนาคม 2567.



ระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาดอาร์โอและยูวีควรวรรณสองระบบการชำระเงินแบบอัตโนมัติพร้อมแสดงค่าที่ดีเอส (TDS) และพีเอช-อุณหภูมิ (pH-TEMP)

An Automated RO-UV Drinking Water Dispensing System Featuring Integrated Dual-Mode Payment and Real-Time TDS/pH/Temperature Sensors

วีระพงษ์ กาญจนวงศ์กุล^{1*}, ภาณุวัฒน์ แตระกุล²

Veerapong Kanchanawongkul^{1*}, Panuwat Taerakul²

^{1*}สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160

^{1*}Department of Mechanical Engineering, Southeast Asia University, 19/1 Phet Kasem Road, Nong Khaem District, Bangkok. 10160.

²สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160

²Department of Environmental Engineering, Southeast Asia University, 19/1 Phet Kasem Road, Nong Khaem District, Bangkok. 10160.

*Corresponding author: Tel: 02-807-4500-27, Fax: 02-807-4528-30, E-mail: veerapongk@sau.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาาระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาดอาร์โอและยูวีควรวรรณสองระบบการชำระเงินแบบอัตโนมัติพร้อมแสดงค่าที่ดีเอส (TDS) และพีเอช-อุณหภูมิ (pH-TEMP) โดยใช้ MQTT Broker เป็นตัวกลาง (เซิร์ฟเวอร์) ในระบบเครือข่าย และใช้หลักการแปลงสัญญาณเสียงเป็นจำนวนเงินควบคุมปริมาณน้ำและการเปิดวาล์วจ่ายน้ำสะอาดจากผู้บริโภค โดยการกดสัมผัสสไลด์นิ้วเปิดระบบจ่ายน้ำที่ส่วนหน้ามอนิเตอร์และระบบจ่ายน้ำปิดทันทีแบบอัตโนมัติเมื่อจ่ายน้ำเสร็จ จากผลลัพธ์แสดงส่วนหน้ามอนิเตอร์และผลการทดสอบปริมาณน้ำที่ได้จากการสัมผัสปุ่มกดเริ่มจ่ายน้ำภายหลังจากการหยอดเหรียญและสแกนคิวอาร์โค้ดตามจำนวนเงิน (บาท) พบว่า จากการกดปุ่มทดสอบซ้ำ (3 ครั้ง) ผลรวมของปริมาณน้ำเฉลี่ยทั้งสองกรณีไม่แตกต่างกันจากราคาที่ผู้บริโภคกำหนดไว้ (0.5, 1.0 และ 1.5 บาท) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำอยู่ที่ 3.06 L และ 3.09 L ตามลำดับ และผลการพัฒนาต่อยอดการวิจัยนี้ได้นวัตกรรมใหม่ที่สามารถสร้างความมั่นใจสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการดื่มน้ำสะอาด ราคาเหมาะสม และเพิ่มความสะดวกต่อผู้บริโภคที่มีความพร้อมตามช่องทางการชำระเงิน

คำสำคัญ: ระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO), ปริมาณสารละลายรวมทั้งหมด (TDS), ค่าความเป็นกรด-ด่าง, การหยอดเหรียญ, การสแกนคิวอาร์โค้ด

Abstract

Research and development of an integrated RO and UV clean water dispensing system featuring dual automatic payment systems with real-time TDS and pH-temperature (pH-TEMP) displays. The system utilizes an MQTT Broker as a central network server. It implements an audio-signal-to-monetary-value conversion principle to control water volume and actuate the clean water dispensing valve. Consumers can activate the dispensing system with a single touch on the monitor interface, and the system automatically shuts off immediately once the dispensing process is complete. System data is displayed on the monitor interface. The test results of water volume obtained from pressing the start button after coin insertion and QR code scanning based on specific monetary amounts (in Baht) were evaluated. Based on triplicate testing (3 times), the average total water volumes for both payment methods showed no significant difference across the consumer-defined prices (0.5, 1.0, and 1.5 Baht), with average water volumes of 3.06 L and 3.09 L, respectively. This research development has yielded a novel innovation that builds consumer confidence in accessing clean, reasonably priced water while enhancing convenience for users based on their preferred payment channels.

Keywords: Reverse osmosis (RO), Total dissolved solid (TDS), pH, Coin insertion, QR code scanning

1. บทนำ

ระบบ Reverse Osmosis หรือ ระบบ R.O. (คู่มือมาตรฐานน้ำดื่มประเทศไทย, 2562) เป็นระบบการกรองขั้นสูงในระดับการกรองสารละลายหรือของแข็งที่ปะปนมากับน้ำดื่มทาง โดยระบบ R.O. นี้ใช้ไส้กรองเมมเบรน (Membrane Filter) เป็น

ส่วนประกอบสำคัญขณะระบบทำงาน ปกติทั่วไปประสิทธิภาพการกรองของเมมเบรนจะสามารถลดค่า TDS (Total Dissolved Solid in Drinking-Water, 1996) ของน้ำลงเหลือ 1-7% ของน้ำดื่มที่เข้าสู่ระบบ กรณีที่ใช้น้ำประปาพบว่า จะมีค่า TDS ประมาณ 120-150 ppm และหากระบบ R.O. ใช้ในการกรองจะ

ทำให้ค่า TDS ลดลงเหลือ <10 ppm และเมื่อค่า TDS ลดลง แสดงว่า สารละลายคงเหลืออยู่น้อยทำให้น้ำมีความสะอาดมากยิ่งขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายและมีความปลอดภัยสูงสุด ด้วยเหตุนี้ แนวคิดการผลิตตู้จำหน่ายน้ำสะอาดและปลอดภัยโดยการนำน้ำจากแหล่งจ่ายต้นทางผ่านระบบ R.O. และใช้ยูวีควบคู่กันสามารถเพิ่มความสะอาดและปลอดภัยสำหรับผู้บริโภคได้ โดยส่วนประกอบสำคัญของระบบจำหน่ายสินค้าแบบหยอดเหรียญซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีการนำไปใช้และพบเห็นได้ทั่วไป เช่น ระบบจำหน่ายกระดาษชำระแบบกลิ้ง ระบบเติมเงินระบบล้างรถจักรยานยนต์ ระบบเครื่องซักผ้า ระบบจำหน่ายน้ำแบบขวด กระป๋อง กล่อง และแก้วหลายผลิตภัณฑ์ เป็นต้น โดยระบบตู้จำหน่ายน้ำหยอดเหรียญเป็นประเด็นที่น่าสนใจ การผลิตน้ำสะอาดที่พบทั่วไปเป็นระบบที่อาจไม่ได้ใช้ระบบ R.O. หรือยูวีเพื่อฆ่าเชื้อโรค และไม่มีการตรวจวัดค่า TDS กับ pH-TEMP เพื่อปรับปรุงคุณภาพและความสะอาดของน้ำก่อนจำหน่ายผู้บริโภค

ปัจจุบันทางผู้ผลิตหลายรายได้ใช้ระบบจำหน่ายสินค้าแบบหยอดเหรียญ โดยมีชิ้นส่วนกลไกทางกลร่วมกับระบบควบคุมทางไฟฟ้าและตรวจจ่ายการหยอดเหรียญเพื่อชำระเงินเป็นชุดสำเร็จจำหน่ายทั่วไป และนำไปใช้งานกับสินค้าหลายกลุ่มรวมถึงงานบริการด้วย โดยระบบตู้จำหน่ายน้ำหยอดเหรียญถือเป็นสิ่งประดิษฐ์หนึ่งที่พบเห็นทั่วไปสำหรับระบบจำหน่ายน้ำหลายผลิตภัณฑ์ ซึ่งผู้บริโภคสามารถเลือกสินค้าได้อย่างอิสระและชำระเงินได้จากการหยอดเหรียญ เช่น น้ำหวาน ชา กาแฟ สินค้าบรรจุกล่อง และกระป๋องตามตู้จำหน่ายสินค้าต่าง ๆ หรืออาจเพิ่มระบบสแกนคิวอาร์โค้ดเข้าไปเพื่อความสะดวกในการชำระเงินของผู้บริโภค จากประเด็นที่ต้องการความสะอาดของน้ำดื่มเป็นเกณฑ์หลักพิจารณาและยังไม่พบว่า ระบบจำหน่ายน้ำของผู้ผลิตรายใดใช้ทั้งระบบ R.O. และยูวีเพื่อฆ่าเชื้อโรค และไม่มีการตรวจวัดแสดงค่า TDS และ pH-TEMP เพื่อปรับปรุงคุณภาพและความสะอาดน้ำก่อนจำหน่ายผู้บริโภคประกอบกับไม่แสดงจำนวนเงินพร้อมปริมาณน้ำที่ได้อย่างชัดเจน

จากที่กล่าวข้างต้นเป็นที่น่าสนใจอย่างมาก แนวคิดใหม่เป็นที่มาของโครงการวิจัยและพัฒนาแสดงตาม Figure 1 โดยความร่วมมือกันระหว่างบริษัท ญัฐธยาน์ แก้ว สอง ห้า สี หก จำกัด เป็นผู้สนับสนุนทุนวิจัยและพัฒนา กับคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ เพื่อดำเนินการวิจัยต่อยอดโดยนำทั้งระบบ R.O. และยูวีเพื่อฆ่าเชื้อโรคมาใช้ร่วมด้วยและออกแบบระบบใหม่ผนวกสองระบบทั้งแบบหยอดเหรียญและแบบสแกนคิวอาร์โค้ดพร้อมนำเสียงชำระเงินเป็นแนวทางช่วยเตือนการชำระเงินที่ถูกต้อง โดยแปลผลจากสัญญาณเสียงไปควบคุมการเปิดปิดระบบจ่ายน้ำแบบอัตโนมัติพร้อมแสดงค่า TDS และ pH-TEMP ซึ่งนวัตกรรมใหม่ที่ได้ทำการผนวกสองระบบเข้าด้วยกันและสามารถแสดงผลแบบเวลาจริงขณะจำหน่าย คาดว่าผู้บริโภค

มีความสะดวกตามช่องทางการชำระเงินและสร้างความมั่นใจสำหรับการดื่มน้ำที่มีความสะอาดและปลอดภัยอย่างแน่นอน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ขั้นตอนและการออกแบบระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาด

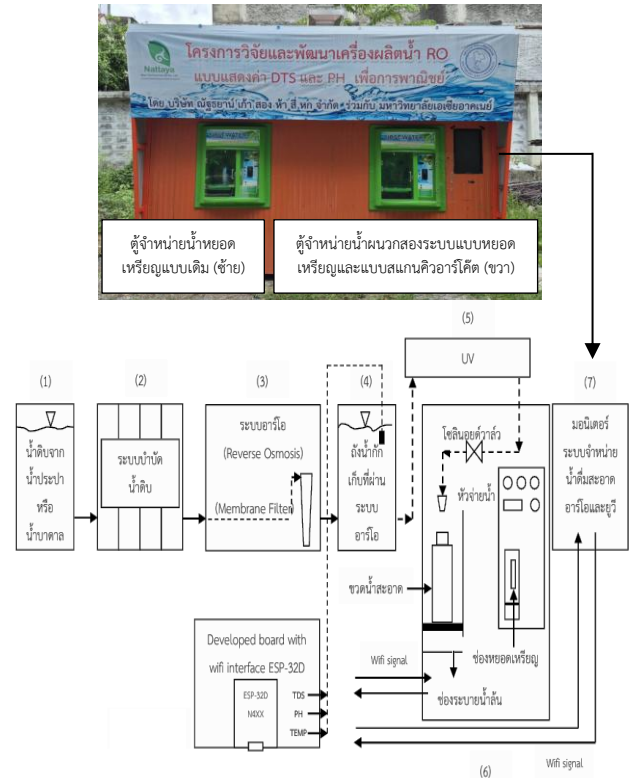


Figure 1 An integrated RO-UV clean drinking water vending system with dual automated payment and TDS/pH-Temp displays.

จาก Figure 1 แสดงขั้นตอนและการออกแบบส่วนประกอบโดยรวม (7 ส่วน) ของระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาดผ่านระบบอาร์โอและยูวีควบรวมสองระบบการชำระเงินแบบอัตโนมัติพร้อมแสดงค่าที่ดีเอส (TDS) และพีเอช-อุณหภูมิ (pH-TEMP) เป็นการวิจัยและพัฒนาต่อยอดจากระบบตู้จำหน่ายน้ำหยอดเหรียญที่จำหน่ายทั่วไป (Figure 1 (ซ้าย)) กับระบบควบคุมตามแนวคิดใหม่ (Figure 1 (ขวา)) โดยพัฒนางจรเพิ่มบางส่วนเชื่อมต่อบอร์ด ESP-32D กับบอร์ดของระบบตู้จำหน่ายน้ำหยอดเหรียญแบบเดิม โดยบอร์ดที่พัฒนาใช้กับระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาดอาร์โอและยูวีควบรวมสองระบบการชำระเงินอัตโนมัติพร้อมแสดงค่าที่ดีเอส (TDS) และพีเอช-อุณหภูมิ (pH-TEMP) แสดงตาม Figure 2 และ 3 ตามลำดับ



Figure 2 The ESP-32D board interfacing with the nozzle's water dispensing control circuit and TDS, pH, and temperature monitoring.



Figure 3 The ESP-32D board interfaces with the original board to control the water vending machine system.

จาก Figure 4 แสดงส่วนหน้ามอนิเตอร์ที่ออกแบบและกำหนดตำแหน่งไว้ ซึ่งทางผู้วิจัยได้แสดงส่วนสำคัญของผลการตรวจค่า TDS, pH และ Temperature ที่บ่งชี้ความสะอาดของน้ำตามหมายเลข (7), (8) และ (9) ตามลำดับ และแสดงระบบการจำหน่ายน้ำตามหมายเลข (10), (11), (12) และ (13) ตามลำดับ สามารถทำให้ผู้บริโภคมีความมั่นใจได้น้ำดื่มที่มีความสะอาด ปลอดภัย และราคายุติธรรม

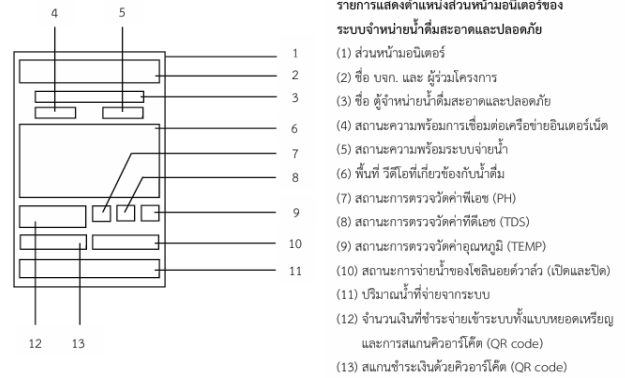


Figure 4 Monitor section of the RO and UV clean drinking water vending system, integrating dual automated payment systems with TDS and pH-TEMP displays.

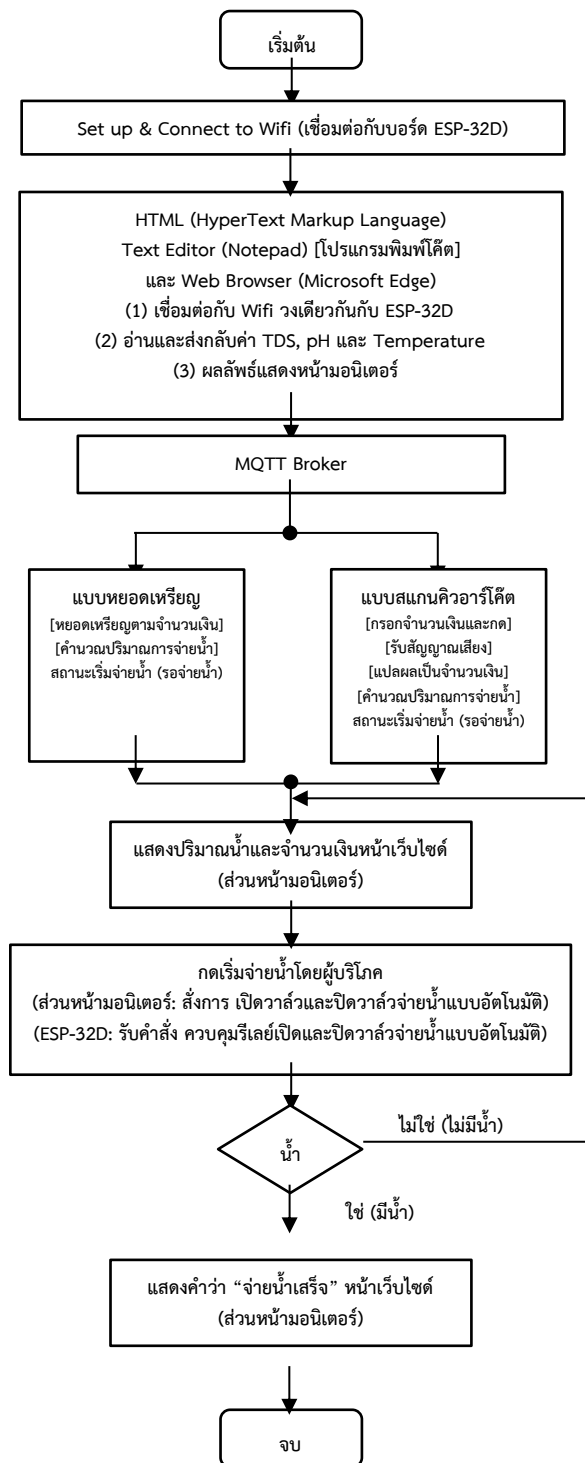
การวิจัยและพัฒนาได้ออกแบบโดยผนวกสองระบบเข้าด้วยกันแสดงตาม Figure 3 และใช้ MQTT Broker เป็นตัวกลาง (เซิร์ฟเวอร์) ในระบบเครือข่ายทำหน้าที่รับและกระจายข้อความจากต้นทางไปยังปลายทาง โดยทำงานประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก (1) Publisher (2) Broker และ (3) Subscriber ตามลำดับ สำหรับผู้บริโภคที่ต้องการดื่มน้ำสะอาดสามารถเลือกชำระเงินได้ทั้งแบบหยอดเหรียญและสแกนคิวอาร์โค้ด การทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นแสดงตาม Figure 5 เมื่อระบบเชื่อมต่อกับ Wifi และระบบจ่ายน้ำพร้อม ดังเช่น การจำหน่ายน้ำแบบสแกนคิวอาร์โค้ด ใช้หลักการแปลงสัญญาณเสียงเป็นจำนวนเงินและคำนวณปริมาณน้ำ ขณะที่การจำหน่ายน้ำแบบหยอดเหรียญตรวจจับเป็นจำนวนเงินและคำนวณปริมาณน้ำเช่นเดียวกัน จากนั้นระบบขึ้นสถานะเริ่มจ่ายน้ำ (รอจ่ายน้ำ) โดยผู้บริโภคต้องทำการกดสัมผัสปุ่มเปิดระบบจ่ายน้ำที่ส่วนหน้ามอนิเตอร์ และสุดท้ายระบบจ่ายน้ำปิดทันทีแบบอัตโนมัติเมื่อจ่ายน้ำเสร็จ

2.2 ไดอะแกรมทดสอบระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาด

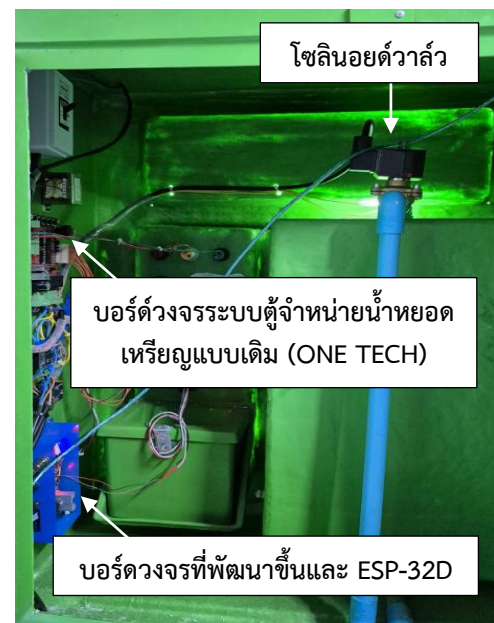
การวิจัยและพัฒนาทางผู้วิจัยได้พัฒนาต่อยอดระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาดและทดสอบเป็นที่เรียบร้อย โดยแสดงการทำงานของระบบตามไดอะแกรม Figure 5 โดยส่วนหน้ามอนิเตอร์แสดงผลการตรวจค่า TDS, pH และ Temperature แบบเวลาจริงทั้งแบบหยอดเหรียญและการสแกนคิวอาร์โค้ด และแสดงปริมาณน้ำที่ต้องจ่ายพร้อมจำนวนเงิน ควบคุมสั่งการเปิดวาล์วจ่ายน้ำจากผู้บริโภคที่กดสัมผัสส่วนหน้ามอนิเตอร์ และปิดแบบอัตโนมัติทันทีเมื่อจ่ายน้ำเสร็จ

3. ผลและการอภิปราย

3.1 ผลการพัฒนาต่อยอดระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาดควรรวม สองระบบแบบหยอดเหรียญและแบบสแกนคิวอาร์โค้ด



(a) Front View



(b) Back View

Figure 5 Flow diagram for an automated RO-UV drinking water dispensing system featuring integrated dual - mode payment and real - time TDS/pH/Temperature sensors.

Figure 6 The both of (a) Front and (b) Back Sections of an integrated clean drinking water vending system with coin-operated and QR code scanning capabilities using a developed circuit board and ESP-32D in conjunction with a one tech controller board.

จาก Figure 1 (ซ้าย) แสดงตัวจำหน่ายน้ำหยดเหรียญแบบเต็ม และ Figure 1 (ขวา) แสดงตัวจำหน่ายน้ำหยดเหรียญที่พัฒนาต่อยอด โดย Figure 4 แสดงส่วนหน้ามอเนเตอร์ที่ออกแบบและกำหนดตำแหน่งไว้ และการทำงานของระบบเป็นไปตามไดอะแกรม Figure 5

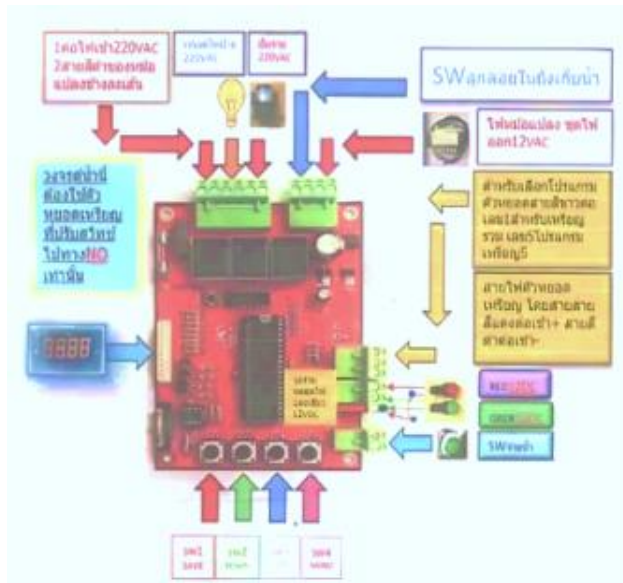


Figure 7 Top View of OneTech Controller Board.



Figure 8 Displaying the monitor interface of the integrated RO and UV clean water vending system with coin-operated and QR code scanning payment options.

จาก Figure 6 (a) ส่วนหน้าตู้จำหน่ายน้ำหยอดเหรียญแสดงตำแหน่งหัวฉีดน้ำ หลอดไฟแสดงสถานะ และช่องหยอดเหรียญ และ (b) ส่วนหลัง แสดงส่วนภายในและใช้บอร์ดวงจรตู้จำหน่ายน้ำหยอดเหรียญวันเทคโนโลยีตาม Figure 7 แสดงส่วนบนและรายละเอียดของบอร์ด (คู่มือบอร์ดควบคุมวันเทคโนโลยี) โดยเชื่อมต่อกับบอร์ดวงจรที่พัฒนาขึ้นและ ESP-32D แสดงตาม Figure 6 เป็นส่วนรับคำสั่งควบคุมรีเลย์ทั้งการเปิดและปิดวาล์วจ่ายน้ำแบบอัตโนมัติภายหลังจากการกดปุ่มสั่งการเริ่มจ่ายน้ำจากส่วนหน้ามอนิเตอร์ออกจากหัวฉีดน้ำแสดงตาม Figure 8

3.2 ผลการทดสอบระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาดควบรวมสองระบบแบบหยอดเหรียญและแบบสแกนคิวอาร์โค้ด

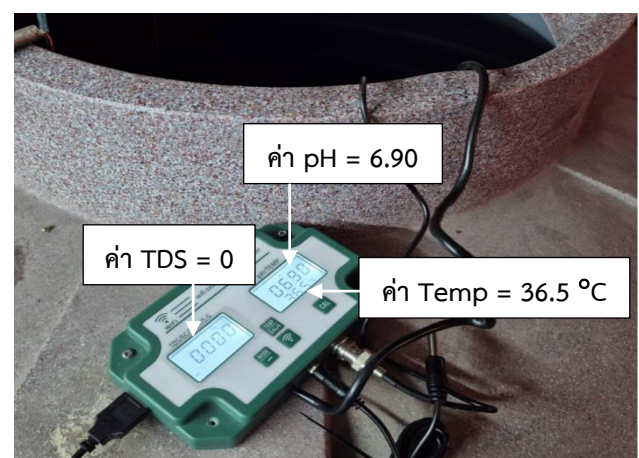


Figure 9 The test results of TDS, pH, and temperature within the tank show that the water is safe to drink.

จากการทดสอบระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาดที่พัฒนาขึ้นพบว่า ผลจากการเชื่อมต่อกับ Wifi วงเดียวกันกับ ESP-32 สามารถอ่านและส่งกลับค่า TDS, ค่า pH และค่า Temp แสดงส่วนหน้ามอ니터อร์ขณะใช้งานจริงได้ตาม Figure 8 และพบว่า ผลทดสอบก่อนปรับสภาพน้ำในถังบรรจุได้ผลการตรวจวัดค่า TDS = 0, ค่า pH = 3.6 และค่า Temp = 34.6 °C ตามลำดับ จากผลทดสอบที่ระดับค่า pH = 3.6 ขณะที่ค่า TDS = 0 (น้ำที่ผ่านระบบการกรอง RO, 0 – 50 ppm และค่า Temp = 34.6 °C จำเป็นต้องทำการปรับสภาพน้ำก่อนโดยเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นเบสหรือด่างเพื่อดึงค่า pH ให้ขึ้นมาเป็นกลางที่ระดับประมาณ 7.0 หรืออยู่ระหว่าง 6.5 – 8.5 ตามมาตรฐานองค์การอนามัยโลก (WHO) และกรมอนามัยที่กำหนดไว้

สำหรับกรณีนี้ น้ำดื่มสภาพเป็นกรดที่ระดับค่า pH = 3.6 ร่วมกับค่า TDS = 0 จัดว่าอยู่ในระดับต่ำมาก (0 – 20 ppm) จากสาเหตุดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ได้ว่า (1) อาจเกิดจากแหล่งจ่ายน้ำต้นทาง (น้ำประปา) ที่ผ่านเครื่องกรองระบบ RO สัมผัสกับอากาศทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จนเกิดเป็นคาร์บอนิกอ่อน ๆ และ (2) อาจเกิดจากไส้กรองที่ปล่อยประจุ

ไฮโดรเจนออกมามากเกินไป จากสาเหตุที่เกิดขึ้นได้ทั้งสองประเด็น ทางผู้วิจัยได้ทำการปรับแก้สภาพน้ำดื่มที่เป็นน้ำประปาต้นทางโดยการเติมเบกกิ้งโซดาและทำการตรวจวัดใหม่เพื่อให้ระดับค่า pH เพิ่มขึ้นเป็นกลาง (ประมาณ 7.0) จนได้ที่ระดับค่า pH = 6.90 (pH Measurement Handbook) ขณะที่ค่า TDS = 0 (ค่าเท่าเดิม) และค่า Temp = 36.5 °C เพิ่มขึ้นแสดงตาม Figure 9 จากผลการตรวจวัดค่าดังกล่าวเป็นการตรวจสอบสภาพน้ำดื่มจากตัวตรวจวัด (TDS และ pH-TEMP) ตลอดเวลา (Figure 2) ที่ระบบทำงานโดยทางผู้วิจัยและบริษัทผู้ผลิตจะได้รับข้อมูลนี้เพื่อปรับสภาพน้ำดื่มใหม่ก่อนจำหน่าย ซึ่งจะสามารถสร้างความเชื่อมั่นกับผู้บริโภคเบื้องต้นว่าน้ำดื่มภายในถังบรรจุมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคอย่างแน่นอน

Table 1 Test results of water volume obtained via coin payment and QR code scanning.

Amount Paid (THB)	Test System: Water Volumes					
	coin payment			QR code scanning		
	Test 1 – 3 (L)					
0.5	0.53 ¹	0.51 ²	0.51 ³	0.51 ¹	0.53 ²	0.53 ³
1.0	1.04 ¹	1.03 ²	1.04 ³	1.04 ¹	1.04 ²	1.04 ³
1.5	1.51 ¹	1.50 ²	1.53 ³	1.52 ¹	1.52 ²	1.55 ³
Tol-Volumes	3.08 ¹	3.04 ²	3.08 ³	3.07 ¹	3.09 ²	3.12 ³
Vol-Mean	3.06			3.09		

Remark: water volume of 1 L. = 1 kg.

จากระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาดที่ทางผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น โปรแกรมจะทำการรับและส่งข้อมูลรวมถึงควบคุมการเปิดและปิดวาล์วจ่ายน้ำได้แบบอัตโนมัติเมื่อจ่ายน้ำเสร็จ โดยสามารถตรวจจับเหรียญ รับสัญญาณเสียง แปลผลเป็นจำนวนเงิน และคำนวณปริมาณการจ่ายน้ำตามกำหนดราคาจำหน่ายที่ปริมาณน้ำลิตรละหนึ่งบาท (1 บาท / 1 ลิตร) และราคาจำหน่ายระดับหน่วยสตางค์ (0.5 สตางค์ / ปริมาณน้ำครึ่งลิตร) ทั้งกรณีการจำหน่าย (1) แบบหยอดเหรียญ และ (2) แบบสแกนคิวอาร์โค้ด จากการทดสอบระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาดตามไดอะแกรม Figure 5 และชั่งน้ำหนักปริมาณน้ำที่ได้พร้อมขวดบรรจุภายหลังพบว่า ระบบที่ออกแบบไว้สามารถใช้งานได้จริงและน้ำดื่มมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคจากการตรวจวัดค่าที่แสดงตาม Figure 9 และผลการทดสอบปริมาณน้ำที่ได้จากการสัมผัสปุ่มกดเริ่มจ่ายน้ำแสดงตาม Figure 8 ภายหลังจากการหยอดเหรียญและสแกนคิวอาร์โค้ดตามจำนวนเงิน (บาท) และสัมผัสกดปุ่มเริ่มจ่ายน้ำโดยทดสอบซ้ำ (3 ครั้ง) ที่ปริมาณน้ำไม่เกิน 1.50 L พบว่า ผลรวมของปริมาณน้ำเฉลี่ยทั้งสองกรณีไม่แตกต่างกันจากราคาที่ผู้บริโภคซื้อ 0.5 (ห้าสิบบาท) 1.0 (หนึ่งบาท) และ 1.5 (หนึ่งบาทห้าสิบบาท) ตามลำดับ แสดงตามผลทดสอบใน Table 1

และค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำอยู่ที่ 3.06 L และ 3.09 L ตามลำดับ และผลจากแนวคิดใหม่นี้ การวิจัยและพัฒนาต่อยอดสามารถนำไปสู่การสร้างนวัตกรรมใหม่และนำไปใช้งานได้จริง โดยเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่ต้องการดื่มน้ำสะอาด มีความปลอดภัย ราคาเหมาะสม และเพิ่มความสะดวกจากความพร้อมตามช่องทางการชำระเงินตามสถานภาพของผู้บริโภค

4. สรุป

จากการวิจัยและพัฒนาาระบบจำหน่ายน้ำดื่มสะอาดอาร์โอ และยูวีควบรวมสองระบบการชำระเงินแบบอัตโนมัติพร้อมแสดงค่าทีดีเอส (TDS) และพีเอช-อุณหภูมิ (pH-TEMP) และใช้ MQTT Broker เป็นตัวกลาง (เซิร์ฟเวอร์) ในระบบเครือข่ายทำหน้าที่รับและกระจายข้อความจากต้นทางไปยังปลายทาง และใช้หลักการแปลงสัญญาณเสียงเป็นจำนวนเงินควบคุมปริมาณน้ำและการเปิดวาล์วจ่ายน้ำสะอาดจากผู้บริโภคโดยการกดสัมผัสปลายนิ้วเปิดระบบจ่ายน้ำที่ส่วนน้ำมอดิเตอร์ และระบบจ่ายน้ำปิดทันทีแบบอัตโนมัติเมื่อจ่ายน้ำเสร็จ โดยผลลัพธ์แสดงส่วนน้ำมอดิเตอร์และผลการทดสอบระบบ พบว่า จากการตรวจวัดได้ระดับค่า pH = 3.6 ขณะที่ค่า TDS = 0 (น้ำที่ผ่านระบบการกรอง RO, 0 – 50 ppm (parts per million)) และค่า Temp = 34.6 °C และสามารถปรับแก้สภาพน้ำโดยเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นเบสหรือด่างเพื่อตั้งค่า pH ให้ขึ้นมาเป็นกลางระดับประมาณ 7.0 ได้ และผลการทดสอบปริมาณน้ำที่ได้จากการสัมผัสปุ่มกดเริ่มจ่ายน้ำภายหลังจากการหยอดเหรียญและสแกนคิวอาร์โค้ดตามจำนวนเงิน (บาท) พบว่า เมื่อทดสอบซ้ำ (3 ครั้ง) ผลรวมของปริมาณน้ำเฉลี่ยทั้งสองกรณีไม่แตกต่างกันที่ราคา 0.5, 1.0 และ 1.5 บาท ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำอยู่ที่ 3.06 L และ 3.09 L ตามลำดับ จากการวิจัยและพัฒนาต่อยอดสามารถนำไปสู่การสร้างนวัตกรรมใหม่และนำไปใช้งานได้จริง โดยเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่ต้องการดื่มน้ำสะอาด ราคาเหมาะสม และเพิ่มช่องทางการชำระเงินตามสถานภาพของผู้บริโภค

5. กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท อนุรักษ์ เก้า สอง ห้า สี่ หก จำกัด ซึ่งเป็นผู้สนับสนุนทุนวิจัยตามสัญญาโครงการวิจัยและพัฒนา “เครื่องผลิตน้ำอาร์โอแบบแสดงค่าทีดีเอส (TDS) และพีเอช (pH) เพื่อการพาณิชย์” โดยผลการดำเนินงานวิจัยนี้อยู่ภายใต้กรอบความร่วมมือทางวิชาการและการวิจัยกับคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

6. เอกสารอ้างอิง

คู่มือมาตรฐานน้ำดื่มประเทศไทย. 2562. กรมวิทยาศาสตร์
การแพทย์. กระทรวงสาธารณสุข. 90 p.
Total Dissolved Solid in Drinking-Water. 1996.



Background document for development of WHO
Guidelines for Drinking-water Quality. แหล่งข้อมูล:
<https://www.who.int/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/total-dissolved-solids-background-document.pdf> เข้าถึงเมื่อ 15 มิถุนายน 2569.

pH Measurement Handbook. แหล่งข้อมูล: <https://documents.thermofisher.com/TFS-Assets/LSG/brochures/pH-Measurement-Handbook-S-PHREFBK-E.pdf> เข้าถึงเมื่อ 15 มิถุนายน 2569.

คู่มือบอร์ดควบคุมวันเทค. แผงวงจรตู้น้ำดื่มหยอดเหรียญ.
แหล่งข้อมูล: <https://shopee.co.th/> เข้าถึงเมื่อ 15 มิถุนายน 2569.



การพัฒนาเครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟขนาดเล็กด้วยน้ำหนักถ่วงจำเพาะ

Development of a Small-Scale Specific Gravity Coffee Bean Separator

มานพ รักญาติ^{1*}, พงษ์ระวี นามวงศ์¹, กิตติศักดิ์ กิติรัตน์¹, สนอง อมฤกษ์², นิตี ผูกจิต¹, สรวีศ จันทร์เจนจบ¹, วุฒิพล จันทร์สระคู²
¹Manop Rakyat^{1*}, Pongrawee Namwong¹, Kittisak Kitirat¹, Sanong Amaroek², Niti Phookjit²,
Sorawit Chanchenchob, Wuttipol Chansakoo²

¹ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม 235 หมู่ 3 ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

¹ Chiang Mai Agricultural Engineering Research Center, Agricultural Engineering Research Institute, 50100

²สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม 50 แขวงลาดยาว เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพฯ 10900

² Agricultural Engineering Research Institute, 50, Chatuchak, Bangkok, 10900

*Corresponding author: Tel: +66-8-7786-3862, E-mail: manop.rakyat@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟขนาดเล็กด้วยน้ำหนักถ่วงจำเพาะสำหรับเกษตรกรและผู้ประกอบการรายย่อย เครื่องมีอัตราทำงาน 200 kg hr⁻¹ สำหรับคัดแยกเมล็ดกาแฟอาราบิก้าคุณภาพดีที่มีความหนาแน่นเมล็ดมาก และเมล็ดกาแฟคุณภาพต่ำที่มีความหนาแน่นเมล็ดน้อย ได้แก่ เมล็ดเบา เมล็ดหุช่วงกลางใน เมล็ดแมลงเจาะออกจากกัน หลักการทำงานของเครื่องป้อนเมล็ดกาแฟให้เคลื่อนที่บนกระดานคัดแยกรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ใช้พัดลมใต้เครื่องเป่าเมล็ดกาแฟให้ลอยตัวขึ้น ความเอียงกระดานคัดแยกและการสั่นของกระดานคัดแยกเพื่อคัดแยกเมล็ดกาแฟอาราบิก้าคุณภาพดีที่มีความหนาแน่นเมล็ดน้อยออกจากเมล็ดกาแฟอาราบิก้าคุณภาพต่ำที่มีความหนาแน่นเมล็ดมาก ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ ตัวแปรที่ศึกษา คือ ความสัมพันธ์ของความเร็วลม มุมเอียง และความเร็วรอบการสั่นของกระดานคัดแยก จำนวน 6 กรรมวิธี พบว่า การใช้พัดลมใต้เครื่องเป่าเมล็ดกาแฟให้ลอยตัวขึ้นที่ความเร็วลม 2.60 m s⁻¹ ความเอียงกระดานคัดแยกตามทิศทางการสั่น 7° ความเร็วรอบการสั่นของกระดานคัดแยก 560 rpm ให้ผลการทดสอบดีกว่ากรรมวิธีอื่น เครื่องมีประสิทธิภาพคัดแยกเฉลี่ย 93.00%

คำสำคัญ: เมล็ดกาแฟ, กาแฟอาราบิก้า, คัดแยก, น้ำหนักถ่วงจำเพาะ

Abstract

The objective of this research was to develop a small-scale specific gravity coffee bean separator machine for farmers and small business owner. The machine was designed with a processing capacity of 200 kg hr⁻¹ to separate high-density Arabica coffee beans (heavy beans) from low-density beans (light beans), including Floaters, shell beans and insect-damaged beans. The operating principle involved feeding green coffee beans onto a rectangular separating deck. Airflow generated by a blower beneath the deck fluidized the beans, while the deck inclination and eccentric vibration to the separation of low-density beans from high-density beans based on differences in specific gravity. The prototype was evaluated under 6 treatments to investigate the combined effects of air velocity, deck inclination angle, and deck vibration speed on separation performance. The optimum operating conditions were an air velocity of 2.60 m s⁻¹, a deck inclination angle of 7° in the direction of vibration and a deck vibration speed of 560 rpm. Under these conditions, the machine achieved an average separation efficiency of 93.00%.

Keywords: Green coffee bean, Arabica coffee, Separator, Specific gravity

1 บทนำ

กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย กาแฟที่ปลูกในประเทศไทยมี 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์อาราบิก้าปลูกมากในพื้นที่ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง น่าน แม่ฮ่องสอน และตาก ส่วนพันธุ์โรบัสตาปลูกมากในพื้นที่ภาคใต้ ได้แก่ ชุมพร ระนอง และนครศรีธรรมราช ปี พ.ศ. 2568 มีพื้นที่

ปลูก 208,094 ไร่ แยกเป็นกาแฟอาราบิก้า 130,714 ไร่ และกาแฟโรบัสตา 116,659 ไร่ ผลผลิตรวม 16,020 ตัน ในปี พ.ศ. 2560 - 2568 ตลาดกาแฟมีการขยายตัวเป็นอย่างมากทำให้ความต้องการใช้เมล็ดกาแฟของโรงงานแปรรูปในประเทศเพิ่มขึ้นจาก 90,000 ตัน ในปี พ.ศ. 2560 เป็น 115,000 ตัน ในปี พ.ศ. 2568 ทำให้ผลผลิตไม่เพียงพอกับความต้องการจึงต้องพึ่งพาการนำเข้าเมล็ดกาแฟจากต่างประเทศ แต่ละปีมีมูลค่าการส่งออกมากกว่า

5,000 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2568) กาแฟอะราบิกา เป็นพืชสวนอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจโลกมีประเทศมากกว่า 50 ประเทศ ปลูกกาแฟอะราบิกาเป็นสินค้าส่งออกหรือประมาณ 70-75 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตกาแฟโลก เนื่องจากเป็นกาแฟที่มีรสชาติดีและมีกลิ่นหอมชวนดื่มเจริญเติบโตได้ดีในสภาพพื้นที่บนที่สูงและมีอากาศหนาวเย็น ส่วนประเทศไทยปลูกมากในพื้นที่ภาคเหนือ (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2553) เมล็ดกาแฟ (Green coffee bean) เรียกทั่วไปว่ากาแฟสารหรือกาแฟเมล็ด เป็นเมล็ดกาแฟแห้งที่ได้จากผลกาแฟสุกที่เอาส่วนของเปลือก ได้แก่ ผงผลชั้นนอกหรือเปลือกชั้นนอก ผงผลชั้นกลางหรือเนื้อ และผงผลชั้นในหรือเปลือกชั้นในหรือที่เรียกว่ากะลาออกแล้ว (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2552)

กระบวนการผลิตกาแฟเมื่อตากกาแฟจนแห้งแล้วจะเก็บในรูปแบบของกาแฟกะลาและผลแห้ง นำมากะเทาะเปลือกออกจะได้เมล็ดกาแฟ การผลิตเมล็ดกาแฟคุณภาพเพื่อให้ขายได้ราคาขายสูงจะต้องคัดขนาดเมล็ด เมล็ดแตก และสิ่งแปลกปลอมออกก่อน จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการคัดแยกเมล็ดที่มีข้อบกพร่องด้านสีเช่น เมล็ดชืด เมล็ดดำ เมล็ดมีเชื้อราออก และคัดเมล็ดที่มีบกพร่องด้านความหนาแน่นเมล็ดน้อย ได้แก่ เมล็ดเบา (Floater bean) เมล็ดหูช้างหรือกลวงใน (Shell bean) เมล็ดแมลงเจาะ (Insect-damaged bean) ออกจากเมล็ดกาแฟคุณภาพดีที่มีความหนาแน่นเมล็ดมาก ก่อนไปจำหน่าย (Figure 1)



Figure 1 Manual quality sorting of coffee beans using human labor.

มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง เมล็ดกาแฟอะราบิกา (มกษ. 5701-2552) ได้กำหนดให้เมล็ดกาแฟคุณภาพดี มีเมล็ดข้อบกพร่อง ได้แก่ เมล็ดไม่สมบูรณ์สีเบา เมล็ดแมลงเจาะ เมล็ดขึ้นรา เมล็ดสีดำ เมล็ดแตกชิ้นเล็กๆ ผลกาแฟแห้ง และสิ่งแปลกปลอมปนได้ไม่เกิน 4% (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2552)

ปัจจุบันการคัดแยกเมล็ดกาแฟที่มีข้อบกพร่องออกก่อนจำหน่ายในระดับเกษตรกรและผู้ประกอบการรายย่อยของประเทศไทยใช้แรงงานคนเป็นหลัก เนื่องจากประสบปัญหาขาดเครื่องจักรขนาดเล็กมาช่วยในการคัดแยก อีกทั้งการคัดแยกเมล็ดกาแฟเบาโดยใช้สายตาคนก็ไม่สามารถคัดแยกได้ ในต่างประเทศมีการผลิตและจำหน่ายเครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟเพื่อนำมาใช้คัด

แยกเมล็ดกาแฟที่มีน้ำหนักเบา เมล็ดหูช้าง เมล็ดกลวงใน เมล็ดที่มีแมลงเจาะออกจากเมล็ดกาแฟคุณภาพดีที่มีความหนาแน่นเมล็ดมาก ทดแทนการใช้แรงงานคน แต่เครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศส่วนใหญ่เป็นเครื่องขนาดใหญ่มีราคาค่อนข้างแพงทำให้เกษตรกรหรือผู้ประกอบการรายย่อยที่มีทุนน้อยไม่สามารถลงทุนซื้อเครื่องได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บข้อมูลความสามารถคัดแยกเมล็ดกาแฟที่มีข้อบกพร่องออกจากเมล็ดกาแฟคุณภาพดีของผู้ประกอบการแปรรูปเมล็ดกาแฟแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่พบว่าการใช้แรงงานคนมีความสามารถในการคัดประมาณ 50-60 กิโลกรัมต่อวัน หรือประมาณ 7.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นต้นทุนค่าแรง 6.67 บาทต่อกิโลกรัม (ค่าแรง 400 บาทต่อวัน) เป็นต้นทุนที่สูง

การคัดแยกเมล็ดพืชโดยใช้หลักการน้ำหนักถ่วงจำเพาะ (Specific gravity separators) โดยผลผลิตหรือเมล็ดพืชที่มีน้ำหนักถ่วงจำเพาะต่างกันจะถูกนำมาใส่ลงในกระดานคัดแยกนี้ซึ่งมีลักษณะลาดเทและสั้น ขณะที่เครื่องทำงานเมล็ดพืชที่ต้องการคัดแยกจะไหลลงตามความลาดเทของเครื่อง ที่พื้นหรือกระดานของเครื่องจะทำเป็นตะแกรงหรือพื้นที่ทำเป็นร่อง มีพัดลมเป่าลมอยู่เบื้องล่าง เมล็ดพืชหรือวัสดุที่มีขนาดเบาจะลอยตัวและไหลลงสู่ที่เก็บเบื้องล่างซึ่งอยู่ด้านข้างของเครื่อง เมล็ดพืชหรือวัสดุที่มีน้ำหนักมากกว่าจะไม่ลอยตัวเนื่องจากพัดลมจะไหลหรือเคลื่อนที่ตามการสั่นสะเทือนและความลาดเทของกระดานคัดแยกของเครื่องและไหลลงสู่ที่เก็บแห่งหนึ่ง (สุนทร, 2549)

Vassili M. (2002) ได้ปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องคัดแยกเมล็ดพืชด้วยแรงโน้มถ่วงเพื่อแยกเมล็ดพืชโดยพิจารณาจากความหนาแน่นเมล็ดหรือความถ่วงจำเพาะของเมล็ดพืชเป็นส่วนประกอบหลัก เครื่องที่พัฒนาขึ้นเป็นกระดานคัดแยกรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณเมล็ดพืชที่รับได้ต่อพื้นที่ 2-3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องแบบเดิมที่ใช้กระดานคัดแยกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ผลการทดลองพบว่า ตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับเครื่องคัดแยกเมล็ดพืชด้วยแรงโน้มถ่วงที่ใช้กระดานคัดแยกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าควรใช้ความเร็วลมที่ใช้เป่าเมล็ดบนกระดานคัดแยกให้ลอยขึ้นมากกว่า 1.1 เมตรต่อวินาที และมุมเอียงของกระดานมากกว่า 2.4 องศา

มานพ และคณะ (2567) ได้วิจัยและพัฒนาเครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟสำหรับคัดแยกเมล็ดเบา เมล็ดหูช้างกลวงใน เมล็ดแมลงเจาะ และผลกาแฟแห้งออกจากเมล็ดกาแฟคุณภาพดี ผลการทดลองพบว่า การใช้ความเร็วลมได้เครื่องเป่าเมล็ดกาแฟบนกระดานให้ลอยตัวโดยใช้ความเร็วลม 2.61 m s^{-1} ความเอียงของกระดานคัดแยกตามทิศทางการสั่น 7° ความเร็วรอบสั้นของกระดานคัดแยก 560 rpm ให้ผลการทดสอบดีที่สุด เครื่องมีความแม่นยำเฉลี่ย 90.33 % ความสามารถทำงาน 500 kg hr^{-1} เป็นเครื่องขนาดใหญ่เหมาะสำหรับผู้ประกอบการรายใหญ่และระดับวิสาหกิจชุมชน

การพัฒนาเครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟด้วยหลักการน้ำหนักถ่วงจำเพาะให้เครื่องมีขนาดเล็ก อัตราการทำงาน 200 kg hr⁻¹ ซึ่งเป็นขนาดเหมาะสมกับระดับเกษตรกรหรือผู้ประกอบการรายย่อยให้เครื่องมีราคาถูก สามารถผลิตใช้งานได้ในประเทศ เป็นทางหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมให้เกษตรกรหรือผู้ประกอบการรายย่อยที่ผลิตและจำหน่ายเมล็ดกาแฟได้มีเครื่องจักรใช้งานในขั้นตอนคัดแยกเมล็ดกาแฟคุณภาพดีที่มีความหนาแน่นเมล็ดมากออกจากเมล็ดกาแฟคุณภาพต่ำที่มีความหนาแน่นเมล็ดน้อยจะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มคุณภาพการผลิตเมล็ดกาแฟในประเทศไทยได้

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ศึกษาลักษณะเมล็ดกาแฟที่ต้องการคัดแยก

ทำการศึกษาลักษณะเมล็ดกาแฟที่ต้องการคัดแยก ได้แก่ เมล็ดคุณภาพดีหรือเมล็ดสมบูรณ์ที่มีความหนาแน่นเมล็ดสูง และเมล็ดคุณภาพต่ำที่มีความหนาแน่นเมล็ดน้อย ได้แก่ เมล็ดลิบเบา เมล็ดหุซาง และเมล็ดแมลงเจาะ เก็บตัวอย่างเมล็ดกาแฟที่ต้องการคัดแยกตัวอย่างละ 200 เมล็ด และตรวจวัดความชื้นเมล็ดให้ได้ความชื้นเท่ากับ 10 %wb ทุกตัวอย่างนำเมล็ดที่ต้องการคัดแยกมาคำนวณหาค่าความหนาแน่น (Density of seed) และค่าน้ำหนักถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของเมล็ดกาแฟคุณภาพดีและเมล็ดกาแฟคุณภาพต่ำ โดยใช้สมการที่ 1–3

$$\text{ความหนาแน่นของเมล็ดกาแฟ, } \rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (1)$$

เมื่อ ρ_s = ความหนาแน่นของเมล็ดกาแฟ (kg m⁻³)

m_s = มวลของเมล็ดกาแฟ (kg)

V_s = ปริมาตรของเมล็ดกาแฟ (m³)

ค่าปริมาตรของเมล็ดกาแฟ โดยหาได้จากการนำค่าความกว้าง (a) ความยาว (b) ความสูง (c) ของเมล็ดกาแฟ (Figure 2) มาคำนวณ โดยใช้สมการ (Bustos-Vanegas, J.D et al., 2017) แสดงในสมการที่ 2

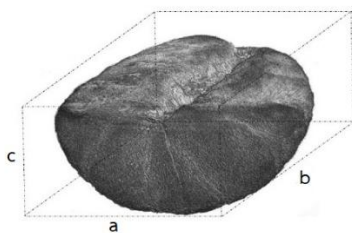


Figure 2 Dimensions of coffee bean.

ปริมาตรของเมล็ดกาแฟ (V_s)

$$V_s = \frac{\pi abc}{6} \quad (2)$$

น้ำหนักถ่วงจำเพาะของเมล็ดกาแฟ (SP.Gr)

$$\text{SP.Gr.} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (3)$$

เมื่อ ρ_s = ความหนาแน่นของเมล็ดกาแฟ (kg m⁻³)

$$\rho_w = \text{ความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ } 1,000 \text{ kg m}^{-3}$$

เมล็ดที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ คือ เมล็ดกาแฟอาราบิกา เป็นเมล็ดกาแฟที่ปลูกในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

2.2 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

ดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ กำหนดอัตราการการทำงานเครื่องต้นแบบเท่ากับ 200 kg hr⁻¹ ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมกับระดับเกษตรกรและผู้ประกอบการรายย่อย

2.3 ทดสอบเครื่องเบื้องต้นปรับปรุงพัฒนาเครื่องต้นแบบ

เมื่อได้ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเสร็จ ดำเนินการทดสอบเบื้องต้น ปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบ ให้เครื่องสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4 ทดสอบเก็บข้อมูลเครื่องต้นแบบ

เมื่อได้เครื่องต้นแบบที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว วางแผนการทดสอบเก็บข้อมูลการคัดแยกเมล็ดกาแฟของเครื่องต้นแบบ โดยทำการสุ่มเมล็ดกาแฟหลังคัดช่องทางออกเมล็ดกาแฟคุณภาพดี จำนวน 100 เมล็ด นำเมล็ดที่สุ่มตัวอย่างมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นเมล็ด (Density of seed) และค่าน้ำหนักถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของเมล็ดกาแฟเพื่อตรวจเช็คประสิทธิภาพการคัดแยกของเครื่องต้นแบบ โดยวางแผนการทดลองจำนวน 6 กรรมวิธี มีตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ความเร็วลม 2 ระดับ, ความเอียงกระดาน 2 ระดับ และความเร็วรอบการสั่น 2 ระดับ ทำการทดลองกรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ความเร็วลม 2.60 m s⁻¹ ความเอียงกระดาน 6° ความเร็วรอบการสั่น 560 rpm
กรรมวิธีที่ 2 ความเร็วลม 3.00 m s⁻¹ ความเอียงกระดาน 6° ความเร็วรอบการสั่น 580 rpm
กรรมวิธีที่ 3 ความเร็วลม 2.60 m s⁻¹ ความเอียงกระดาน 7° ความเร็วรอบการสั่น 560 rpm
กรรมวิธีที่ 4 ความเร็วลม 3.00 m s⁻¹ ความเอียงกระดาน 7° ความเร็วรอบการสั่น 580 rpm
กรรมวิธีที่ 5 ความเร็วลม 2.60 m s⁻¹ ความเอียงกระดาน 8° ความเร็วรอบการสั่น 560 rpm
กรรมวิธีที่ 6 ความเร็วลม 3.00 m s⁻¹ ความเอียงกระดาน 8° ความเร็วรอบการสั่น 580 rpm

โดย มีค่าชี้ผล คือ ประสิทธิภาพการคัดแยกของเครื่องต้นแบบ หาค่าได้จากสมการที่ 4

ประสิทธิภาพคัดแยกเมล็ดกาแฟของเครื่องต้นแบบ (%)

$$= \frac{\text{เมล็ดกาแฟคุณภาพดีที่คัดได้}}{\text{เมล็ดกาแฟที่คัดได้ทั้งหมด}} \times 100 \quad (4)$$

2.5 สรุปผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ

นำผลการทดสอบเครื่องต้นแบบทั้ง 6 กรรมวิธี มาวิเคราะห์สรุปผลเพื่อเลือกกรรมวิธีทดลองที่ให้ประสิทธิภาพการคัดแยกสูงที่สุดมาใช้งานเครื่องต้นแบบ

3 ผลและวิจารณ์

เมล็ดกาแฟอาราบิก้าคุณภาพดีที่มีความหนาแน่นเมล็ดมาก เป็นเมล็ดที่สมบูรณ์ เมล็ดจะมีสีเขียวอมฟ้า สีเขียวเข้ม และสีเขียวอ่อน ไม่มีลักษณะเมล็ดกลวงใน ลีบเบา และไม่มีการเข้าทำลายของแมลง แสดงดัง Figure 3



Figure 3 Good quality Arabica coffee bean.

เมล็ดกาแฟอาราบิก้าคุณภาพต่ำที่จะต้องคัดแยกออก ได้แก่ เมล็ดลีบเบา (Figure 4) เมล็ดหูช้างหรือเมล็ดกลวงใน (Figure 5) และเมล็ดที่ถูกแมลงเจาะ (Figure 6)

มานพ และคณะ (2567) ได้เก็บข้อมูลความหนาแน่นเมล็ดกาแฟแมลงเจาะเพียงเล็กน้อยที่มีจุดสีดำ ผลการทดลองพบว่า เมล็ดกาแฟแมลงเจาะเพียงเล็กน้อยที่มีจุดสีดำมีความหนาแน่นเมล็ดใกล้เคียงกับเมล็ดคุณภาพดีซึ่งการใช้เครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟด้วยน้ำหนักถ่วงจำเพาะจะคัดแยกออกได้ไม่มากต้องใช้เครื่องคัดแยกสีเมล็ดกาแฟ (Color sorter) คัดแยกออก งานวิจัยนี้จึงได้เก็บข้อมูลเมล็ดกาแฟที่ถูกแมลงเจาะ 1 ใน 3 ของเมล็ด



Figure 4 Floater bean.



Figure 5 Shell bean.



Figure 6 Insect-damaged bean.

ทำการเก็บข้อมูลเมล็ดกาแฟที่ต้องการคัดแยกได้แก่ เมล็ดคุณภาพดี และเมล็ดกาแฟคุณภาพต่ำ ตัวอย่างละ 200 เมล็ด มาคำนวณหาค่าความหนาแน่นเมล็ด (Density of seed) และคำนวณหาค่าน้ำหนักถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ผลการทดลองแสดงใน Table 1

Table 1 Specific gravity of simple Arabica coffee beans.

Coffee bean	Density (kg m ⁻³)	Specific gravity
Good quality	1,406.85±158.90	1.41
Shell	732.83±144.11	0.73
Floater	1,021.23±123.88	1.02
Insect-damaged	851.78±92.19	0.85

จาก Table 1 ผลการคำนวณหาค่าความหนาแน่นของเมล็ดกาแฟคุณภาพดีและเมล็ดกาแฟต่ำที่ต้องการคัดแยกจะเห็นว่า เมล็ดกาแฟคุณภาพดีมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเมล็ดเท่ากับ 1,406.85±158.90 kg m⁻³ ซึ่งค่าที่ได้ในงานวิจัยนี้สอดคล้องและใกล้เคียงงานวิจัย (มานพ และคณะ, 2567)

ผลการคำนวณค่าน้ำหนักถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของเมล็ดกาแฟคุณภาพดีมีค่าเท่ากับ 1.41 จะเห็นว่าเมล็ดกาแฟคุณภาพต่ำ ได้แก่ เมล็ดกาแฟหุ้ม (Shell) เมล็ดกาแฟเบา (Floater) และเมล็ดที่มีแมลงเจาะ (Insect-damaged) 1 ใน 3 ของเมล็ด มีค่าความหนาแน่นและค่าน้ำหนักถ่วงจำเพาะของเมล็ดที่แตกต่างกับเมล็ดกาแฟคุณภาพดี (Good quality) ค่านี้แสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟด้วยน้ำหนักถ่วงจำเพาะ (Gravity separator) จะสามารถคัดแยกเมล็ดกาแฟคุณภาพต่ำที่มีความหนาแน่นเมล็ดน้อยกว่าออกจากเมล็ดคุณภาพดีที่มีความหนาแน่นเมล็ดมากได้

จากนั้นได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ แสดงดัง Figure 7

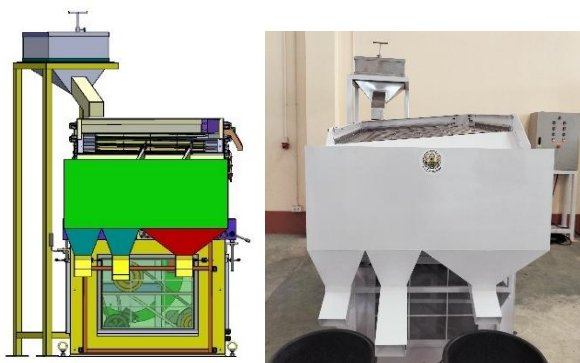


Figure 7 Design and build prototype of a small-scale specific gravity coffee beans separator.

เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น แสดงใน Figure 8 มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญส่วนแรก คือ (1) การติดตั้งพัดลมแบบกรงกระรอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 14 in จำนวน 1 ตัว เพื่อใช้เป่าเมล็ดกาแฟบนกระดานให้ลอยตัวขึ้น ส่วนที่สอง คือ (2) กระดานคัดแยกสีเหลี่ยมผืนผ้าสามารถปรับองศาได้มีขนาดกว้าง 800 mm ยาว 1,000 mm เพื่อให้เมล็ดกาแฟเคลื่อนที่ตามความลาดเอียงของกระดานตามทิศทางการสั่น กระดานคัดแยกทำจากตะแกรงลวดสานขนาดรูตะแกรง 3x3 mm บนกระดานติดตั้งเพลสแตนเลส คันกระดานสูง 6 mm ระยะห่าง 50 mm เพื่อชะลอการเคลื่อนที่ของเมล็ดกาแฟขณะคัดแยก ส่วนที่สาม คือ (3) ติดตั้งลูกเบี้ยวเพลสเดียว 2 ด้าน ใช้ลูกเบี้ยวแบบเยื้องศูนย์ 2 mm ทำหน้าที่ให้กระดานคัดแยกสั่นให้เมล็ดกาแฟคุณภาพดีและเมล็ดกาแฟคุณภาพต่ำที่มีน้ำหนักถ่วงจำเพาะต่างกันเคลื่อนที่สวนทางกัน และเครื่องมีถังป้อนเมล็ดกาแฟอยู่ส่วนบนของเครื่อง (4)

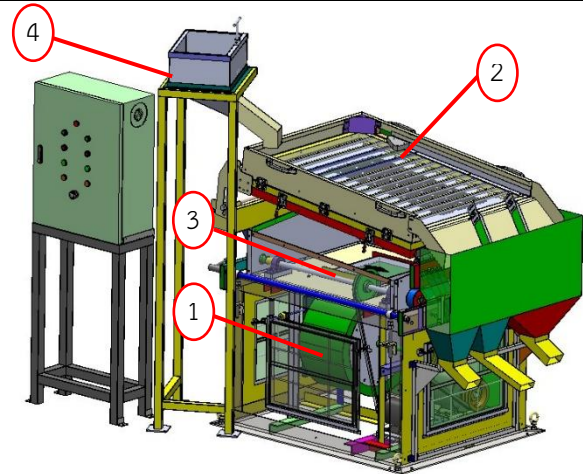


Figure 8 Main Components of the prototype machine.

เมื่อสร้างเครื่องต้นแบบเสร็จจึงได้ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบเบื้องต้น พบว่า ขณะคัดแยกเมล็ดกาแฟเคลื่อนที่บนกระดานได้ช้าและมีเมล็ดกาแฟติดค้างบนตะแกรง จึงได้ปรับระยะห่างเพลสแตนเลสคันกระดานคัดแยกเพื่อชะลอการเคลื่อนที่ของเมล็ดกาแฟจากระยะห่าง 50 mm เป็นระยะห่าง 100 mm เมื่อได้เครื่องที่สมบูรณ์แล้วจึงได้ทดสอบเก็บข้อมูลการคัดแยกเมล็ดกาแฟของเครื่องต้นแบบ แสดงดัง Figure 9



Figure 9 Test the prototype machine.

ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่อัตราการทำงาน 200 kg hr⁻¹ จำนวน 6 กรรมวิธี แสดงใน Table 2

Table 2 Results testing of prototype machine.

Treatment	Separator efficiency (%)
1	76.67
2	70.33
3	93.00
4	86.00
5	63.67
6	57.00

จาก Table 2 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของความเร็วลมใต้เครื่องที่ใช้เป่าเมล็ดกาแฟให้ลอยขึ้น ความเอียงของกระดานคัดแยกตามทิศทางการสั่น และการสั่นของกระดานคัดแยก ผลการทดลองพบว่ากรรมวิธีที่ 6 การใช้พัดลมใต้เครื่องเป่าเมล็ดกาแฟที่ความเร็วลม 2.60 m s⁻¹ ความเอียงของกระดานคัดแยกตามทิศทางการสั่น 7° และ

ความเร็วรอบสั้นของกระดานคัดแยก 560 rpm ให้ผลการทดสอบดีกว่ากรรมวิธีอื่นๆ เครื่องมีประสิทธิภาพการคัดแยกเฉลี่ย 93.00% สอดคล้องกับงานวิจัย (มานพ และคณะ, 2567) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ค่าความเร็วลมเป่าเมล็ดกาแฟความเอียง และความเร็วรอบการสั่นของกระดานคัดแยกที่สูงกว่ากรรมวิธีที่ 6 ให้ผลการลองได้ไม่ตื้นัก ในทางกลับกันการใช้ความเร็วลม ความเอียง และความเร็วรอบการสั่นของกระดานคัดแยกที่ต่ำกว่ากรรมวิธีที่ 6 ก็ให้ประสิทธิภาพการคัดแยกที่น้อยกว่ากรรมวิธีที่ 6 เช่นกัน จะเห็นว่าความเร็วลม ความเอียง และความเร็วรอบการสั่นของเครื่อง ทั้ง 3 ส่วนนี้ทำงานสัมพันธ์กัน ในการใช้งานเครื่องควรใช้ค่าไม่สูงและไม่ต่ำเกินไปจะทำให้ได้ประสิทธิภาพการคัดแยกสูงสุด

4 สรุป

การพัฒนาเครื่องคัดแยกน้ำหนัเมล็ดกาแฟด้วยน้ำหนัถ่วงจำเพาะ ได้เครื่องต้นแบบกว้าง 900 mm ยาว 1,200 mm สูง 1,300 mm กระดานคัดแยกเมล็ดกาแฟมีขนาดกว้าง 800 mm ยาว 1,000 mm การทำงานของเครื่องอาศัยหลักการ คือ ใช้พัดลมใต้เครื่องเป่าเมล็ดกาแฟให้ลอยตัวขึ้น ความเอียงของกระดานคัดแยก และการสั่นของกระดานคัดแยก ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ พบว่า กรรมวิธีที่ 6 การใช้พัดลมใต้เครื่องเป่าเมล็ดกาแฟให้ลอยขึ้นที่ความเร็วลม 2.60 m s^{-1} ความเอียงของกระดานคัดแยกตามทิศทางการสั่น 7° ความเร็วรอบสั้นของกระดานคัดแยก 560 rpm ให้ผลการทดสอบดีกว่ากรรมวิธีอื่นๆ เครื่องมีประสิทธิภาพการคัดแยกเฉลี่ย 93.00 % มีอัตราการทำงาน 200 kg hr^{-1}

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้ทุนการวิจัยในโครงการนี้ และขอบคุณเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมที่ร่วมสร้าง พัฒนา ปรับปรุง และทดสอบเก็บข้อมูลเครื่องต้นแบบงานวิจัยนี้ รวมทั้งผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือที่ไม่ได้กล่าวมา ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

6 เอกสารอ้างอิง

มานพ รักญาติ, สนอง อมฤกษ์, พงษ์ระวี นามวงศ์, กิตติศักดิ์ กิตติรัตน์, นิติ ผูกจิต, ปรีชา อานันท์รัตนกุล, พัทธวิภา สุทธิวารี, พินิจ จิระคกุล, ฉัตรดนยา ช่มอาวุธ. 2567. วิจัยและพัฒนาเครื่องคัดแยกน้ำหนัเมล็ดกาแฟระบบน้ำหนัถ่วงจำเพาะแบบอัตโนมัติสำหรับวิสาหกิจชุมชน. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25 ประจำปี 2567. 22-24 พฤษภาคม 2567. กรุงเทพมหานคร.

สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. 2553. เทคโนโลยีการผลิตกาแฟแบบครบวงจร. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดรัชพิมพ์.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2552. กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร เมล็ดกาแฟอาราบิก้า (มกษ. 5701-2552). กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2568. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร กาแฟ. แหล่งข้อมูล: <https://oae.go.th/home/article/518>. เข้าถึงเมื่อ 4 พฤษภาคม 2569.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2568. ข้อมูลการส่งออกกาแฟ. แหล่งข้อมูล: <https://report-imex.oae.go.th/trade-balance-web/>. เข้าถึงเมื่อ 4 พฤษภาคม 2569.

สุนทร โม่งประณีต. 2549. หลักกระบวนการทางวิศวกรรมเกษตร. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

Bustos-Vanegas, J.D., Cesar P.C. and Martins, M.A. 2017. Developing predictive models for determining physical properties of coffee beans during the roasting process. Journal of Industrial Crops & Products. Vol10. Issue 1, 1-7.

Vassili M. Drincha. 2002. Increase of Gravity Separation Efficiency and development Gravity Separator. Proceedings of the 15th ASAE Annual International Meeting and CIGR World Congress, 1–6. 28–31 July 2002, Chicago, USA.



การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการตัดสินใจวางแผนเพาะปลูกที่เหมาะสมของกลุ่มเกษตรกรในจังหวัด
แม่ฮ่องสอนภายใต้ข้อจำกัดที่หลากหลาย

Developing a Mathematical Model for Decision Making of Optimal Crop Planning for Farmer Groups in Mae Hong Son Province Under Multiple Constraints

อวิกา เสาร์แก้ว^{1*}, วิชัย ฉัตรทินวัฒน์¹

Awika sowkaew ^{1*}, Wichai Chattinawat¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และการจัดการโซ่อุปทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 50200

¹ Department of Logistics Engineering and Supply Chain Management, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, 239 Huay Road, Muang District, Chiang Mai, Thailand 50200

* Chiang Mai University: Tel: +66-9-7354-1941, E-mail: awika_sow@cmu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการตัดสินใจวางแผนเพาะปลูกอย่างเหมาะสมของกลุ่มเกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ภายใต้ข้อจำกัดด้านพื้นที่เพาะปลูก ความเหมาะสมของพืช ความต้องการของตลาด และแนวทางการส่งเสริมเกษตรผสมผสานและวนเกษตร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและสร้างรายได้สุทธิสูงสุดแก่เกษตรกร การศึกษาดำเนินการโดยรวบรวมข้อมูลพื้นที่เพาะปลูก ผลผลิต ต้นทุนการผลิต ราคาผลผลิต ความต้องการแรงงาน และความต้องการของตลาด จากเกษตรกรตัวอย่างจำนวน 6 ราย และพืชทางเลือก 16 ชนิด จากนั้นพัฒนาแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming: LP) โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อหาค่ากำไรสุทธิรวมสูงสุด และประมวลผลด้วยโปรแกรม Microsoft Excel Solver วิธี Simplex LP ภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากร การผลิต และการกระจายความเสี่ยง ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกได้ โดยยังคงสอดคล้องกับข้อจำกัดทั้งหมดที่กำหนด และสามารถสร้างกำไรสุทธิรวมสูงสุดเท่ากับ 5,151,239.04 บาทต่อปี นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ความไวของแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ได้มีความมั่นคงต่อการเปลี่ยนแปลงของค่ากำไรสุทธิของพืชภายในช่วงที่กำหนด ผลการวิจัยสรุปได้ว่า แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการสนับสนุนการตัดสินใจวางแผนเพาะปลูกของกลุ่มเกษตรกร สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ลดความเสี่ยงจากการปลูกพืชเชิงเดี่ยว และสนับสนุนการพัฒนาระบบเกษตรผสมผสานที่สอดคล้องกับบริบทของจังหวัดแม่ฮ่องสอน อันนำไปสู่ความยั่งยืนทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

คำสำคัญ: โปรแกรมเชิงเส้น, การวางแผนเพาะปลูก, การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด, เกษตรผสมผสาน, จังหวัดแม่ฮ่องสอน

Abstract

This research aimed to develop a mathematical model for optimal crop planning decision-making among farmer groups in Mae Hong Son Province under multiple constraints, including land availability, crop suitability, market demand, and the promotion of integrated farming and agroforestry systems. The objective was to improve resource utilization efficiency and maximize farmers' net income while supporting sustainable agricultural development. The study collected data on cultivated areas, crop yields, production costs, selling prices, labor requirements, and market demand from six representative farmers and sixteen alternative crop types. A Linear Programming (LP) model was developed with the objective of maximizing total net profit. The model was solved using the Simplex LP method through Microsoft Excel Solver under various resource, production, and risk diversification constraints. The results indicated that the proposed model successfully identified the optimal crop allocation plan while satisfying all specified constraints. The optimal solution generated a maximum total net profit of 5,151,239 Baht per year. Furthermore, sensitivity analysis demonstrated that the model remained robust under changes in crop profitability within the specified ranges, indicating the reliability and practical applicability of the solution. The findings suggest that Linear Programming is an effective decision-support tool for agricultural planning.

The model can enhance resource allocation efficiency, reduce the risks associated with monoculture farming, and promote integrated farming systems that are appropriate for the local context of Mae Hong Son Province. Consequently, the proposed approach can contribute to both economic improvement and environmental sustainability in the long term.

Keywords: Linear Programming, Crop Planning, Optimization, Integrated Farming, Mae Hong Son Province, Decision Support Model

1 บทนำ

ภาคการเกษตรเป็นภาคการผลิตที่มีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจและความมั่นคงทางอาหารของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม ภาคการเกษตรในพื้นที่สูงยังคงประสบปัญหาหลายประการ ทั้งข้อจำกัดด้านทรัพยากรธรรมชาติ พื้นที่เพาะปลูกที่มีจำกัด ความผันผวนของสภาพภูมิอากาศ ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น และความไม่แน่นอนของราคาสินค้าเกษตร ส่งผลให้การตัดสินใจเลือกชนิดพืชและการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกมีความซับซ้อนมากขึ้น โดยเฉพาะจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งมีสภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ภูเขาและพื้นที่สูง ทำให้เกษตรกรต้องเผชิญข้อจำกัดทั้งด้านพื้นที่ แหล่งน้ำ การเข้าถึงตลาด และต้นทุนการขนส่ง ขณะที่การวางแผนการเพาะปลูกของเกษตรกรส่วนใหญ่ยังอาศัยประสบการณ์และความเคยชินเป็นหลัก ส่งผลให้เกิดการใช้ทรัพยากรไม่เต็มประสิทธิภาพ การปลูกพืชซ้ำชนิดเดิม และมีความเสี่ยงจากความผันผวนของผลผลิตและราคาสินค้าเกษตร

ในช่วงที่ผ่านมา แนวคิดระบบเกษตรผสมผสาน (Integrated Farming System) และระบบวนเกษตร (Agroforestry) ได้รับการยอมรับว่าเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มความยั่งยืนของภาคการเกษตร เนื่องจากช่วยเพิ่มความหลากหลายของชนิดพืช กระจายความเสี่ยงจากการพึ่งพาพืชเชิงเดี่ยว เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสนับสนุนการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ พร้อมทั้งสร้างรายได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาวให้แก่เกษตรกร งานวิจัยของ Warren-Thomas et al. (2020) พบว่าระบบวนเกษตรยางพาราสามารถรักษาความหลากหลายทางชีวภาพได้โดยไม่ทำให้ผลผลิตลดลง ขณะที่ Zomer et al. (2016) รายงานว่าการปลูกไม้ยืนต้นในพื้นที่เกษตรมีบทบาทสำคัญต่อการกักเก็บคาร์บอนและการให้บริการระบบนิเวศ ส่วน Zhang et al. (2019) เสนอว่าการออกแบบรูปแบบการปลูกที่ใกล้เคียงธรรมชาติสามารถเพิ่มความสมดุลของระบบนิเวศและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ได้ นอกจากนี้ Withrow-Robinson et al. (1998) ยังเสนอว่าระบบวนเกษตรในพื้นที่สูงของภาคเหนือประเทศไทยสามารถเพิ่มความหลากหลายของผลผลิตและลดความเสี่ยงด้านรายได้ของเกษตรกรได้อย่างมีประสิทธิภาพควบคู่กับแนวคิดด้านความยั่งยืน งานวิจัยด้านการวิจัยดำเนินงาน

(Operations Research) ได้ประยุกต์ใช้ โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming: LP) เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการผลิตทางการเกษตรอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดผลตอบแทนสูงสุดภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนด เช่น พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการของตลาด งานวิจัยของ Uddin (1994) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง LP สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกและเพิ่มผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของเกษตรกรได้ ขณะที่ Jewpanya et al. (2022) ได้นำแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการจัดการน้ำเพื่อการเกษตรในประเทศไทย ส่วน Esar and Sachdeva (2023) ประยุกต์ใช้ LP ในการวางแผนการผลิตพืชอย่างยั่งยืนในประเทศอินเดีย และพบว่าสามารถเพิ่มผลตอบแทนภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ งานวิจัยในประเทศไทยของ พลฤทธิ์สรรค์ สุทธิไชยเมธี (2563) และ ไพศาล กะกุลพิมพ์ และสุภาภรณ์ พวงชมภู (2562) ต่างยืนยันว่าโปรแกรมเชิงเส้นเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการผลิตและการจัดสรรทรัพยากรทางการเกษตร

อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นการเพิ่มผลตอบแทนทางเศรษฐกิจภายใต้ข้อจำกัดด้านพื้นที่หรือทรัพยากรการผลิตเป็นหลัก ขณะที่การบูรณาการข้อจำกัดหลายด้านไว้ในแบบจำลองเดียวกันยังมีค่อนข้างจำกัด โดยเฉพาะข้อจำกัดด้าน ความเหมาะสมของชนิดพืชในระดับรายเกษตรกร ความต้องการของตลาด การกระจายความเสี่ยงจากการปลูกพืชเชิงเดี่ยว และการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ไม้ยืนต้นตามแนวทางระบบเกษตรผสมผสานและวนเกษตร ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยสำคัญต่อการวางแผนการเพาะปลูกในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน ดังนั้น จึงยังขาดแบบจำลองที่สามารถสนับสนุนการตัดสินใจภายใต้ข้อจำกัดหลายด้านพร้อมกัน และสามารถประยุกต์ใช้ได้จริงในระดับกลุ่มเกษตรกร

งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming: LP) เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจวางแผนการเพาะปลูกที่เหมาะสมของกลุ่มเกษตรกรจังหวัดแม่ฮ่องสอน ภายใต้ข้อจำกัดด้านพื้นที่เพาะปลูก ความเหมาะสมของชนิดพืช ความต้องการของตลาด การกระจายความเสี่ยง และการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ไม้ยืนต้น โดยมีฟังก์ชัน

วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มกำไรสุทธิรวมของกลุ่มเกษตรกรสูงสุด พร้อมทั้งส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและการพัฒนาระบบเกษตรที่ยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการตัดสินใจวางแผนเพาะปลูกที่เหมาะสมของกลุ่มเกษตรกรภายใต้ข้อจำกัดที่หลากหลาย และเพื่อประเมินผลการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกที่เหมาะสมภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนด โดยเปรียบเทียบกับรูปแบบการเพาะปลูกเดิมของเกษตรกร ทั้งในด้านผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและความหลากหลายของระบบการปลูก ขอบเขตของการวิจัย ครอบคลุมกลุ่มเกษตรกรต้นแบบจำนวน 6 ราย ภายใต้โครงการประเทศไทยไร้หมอกควัน (Haze Free Thailand) ในจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยใช้ข้อมูลผลผลิต ต้นทุน ราคาจำหน่าย และปัจจัยการผลิตเฉลี่ยจากข้อมูลภาคสนามและฐานข้อมูลของโครงการ เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง และประมวลผลด้วย Microsoft Excel Solver สำหรับค้นหาแผนการเพาะปลูกที่ให้กำไรสุทธิสูงสุดภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนด

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 พื้นที่ศึกษาและข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษานี้ดำเนินการกับกลุ่มเกษตรกรต้นแบบในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ภายใต้โครงการประเทศไทยไร้หมอกควัน จำนวน 6 ราย มีพื้นที่เพาะปลูกรวม 50 ไร่ โดยพื้นที่ศึกษามีลักษณะเป็นพื้นที่เกษตรบนภูเขาและพื้นที่สูง ซึ่งมีข้อจำกัดด้านพื้นที่เพาะปลูก ทรัพยากรการผลิต การเข้าถึงตลาด และต้นทุนการผลิต แผนเดิมของเกษตรกรเป็นการตัดสินใจเพาะปลูกแบบประสบการณ์ ความคุ้นเคย และรูปแบบการใช้พื้นที่เดิมของแต่ละราย โดยยังไม่ได้มีการคำนวณเพื่อหาการจัดสรรพื้นที่ที่ให้ผลตอบแทนสูงสุดอย่างเป็นระบบ ขณะที่แผนที่ได้จากแบบจำลองเป็นการจัดสรรพื้นที่ภายใต้เป้าหมายการเพิ่มกำไรสุทธิรวมของกลุ่มเกษตรกร โดยพิจารณาข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความเหมาะสมของพืชต่อเกษตรกรแต่ละราย เงื่อนไขตลาด และข้อกำหนดของระบบเกษตรผสมผสานร่วมกัน จากผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจพบว่าแผนการเพาะปลูกเดิมของเกษตรกรทั้ง 6 ราย มีพื้นที่รวม 50 ไร่ และมีกำไรรวม 2,586,675.65 บาทต่อปี หรือคิดเป็นกำไรเฉลี่ย 51,733.51 บาทต่อไร่ ดัง Table 1 Baseline Plan

Table 1 Baseline Plan

Farmer	K1	K2	K3	K4	K5	K6
j1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j5	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
j6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j9	3.00	0.00	0.00	5.50	0.00	0.00
j10	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j15	0.00	3.00	8.50	0.00	0.00	0.00
j16	3.00	3.00	8.50	5.50	1.00	1.00
รวม	6.00	12.00	7.00	11.00	2.00	2.00

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยข้อมูลพื้นที่ถือครองของเกษตรกร ข้อมูลชนิดพืช ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ต้นทุนการผลิต ราคาจำหน่าย ความต้องการของตลาด และความเหมาะสมของพืชต่อเกษตรกรแต่ละราย ข้อมูลดังกล่าวได้จากการสัมภาษณ์เกษตรกร การรวบรวมข้อมูลภาคสนาม และฐานข้อมูลของโครงการที่เกี่ยวข้องกับการผลิต การตลาด และการส่งเสริมเกษตรกร พืชที่นำเข้าสู่แบบจำลองมีจำนวน 16 ชนิด แบ่งเป็นพืชล้มลุก 8 ชนิด ได้แก่ ผักกาดขาวปลี กะหล่ำปลี หัวไชเท้า มันฝรั่ง ถั่วลายเสือ ถั่วแดง ถั่วดำ และงาขี้ม่อน หรือแทนด้วย j1 - j8 และพืชยืนต้น 8 ชนิด ได้แก่ ส้มสายน้ำผึ้ง กาแฟ โกโก้ มะม่วงน้ำดอกไม้ แมคาเดเมีย เงาะ พลัม และอะโวคาโด หรือแทนด้วย j9 - j16 โดยการคัดเลือกพืชพิจารณาจากความต้องการของตลาด ศักยภาพของพื้นที่ และแนวทางการส่งเสริมระบบเกษตรผสมผสานและวนเกษตรของโครงการฯ ดัง Table 2 Production Cost and Net Profit of Selected Crops

Table 2 Production Cost and Net Profit of Selected Crops

Crop Code	Production Cost (THB/rai/year)	Net Profit (THB/rai/year)
Annual Crops		
j1	62,308.00	117,692.00
j2	75,908.00	224,092.00
j3	69,308.00	170,692.00
j4	59,154.00	60,846.00
j5	43,558.00	116,442.00
j6	14,393.00	10,607.00
j7	14,393.00	10,607.00
j8	7,793.00	6,207.00
Perennial Crops		
j9	23,317.70	69,282.30
j10	16,171.70	25,528.30
j11	15,636.20	37,243.80
j12	27,008.37	80,691.63
j13	11,521.20	19,878.80
j14	20,246.70	64,503.30
j15	17,284.20	44,215.80
j16	18,102.70	50,147.30

การคัดเลือกเกษตรกรผู้วิจัยได้พัฒนาแบบประเมินศักยภาพเกษตรกรโดยอ้างอิงแนวทางการดำเนินงานของโครงการฯ แนวคิดเกษตรผสมผสาน และระบบรับรองแบบมีส่วนร่วม (PGS) ประกอบด้วย 4 ด้านหลัก ได้แก่ 1. ความพร้อมด้านพื้นที่และทรัพยากร 2. ความพร้อมด้านข้อมูล 3. ความพร้อมด้านการผลิตและการปรับเปลี่ยน และ 4. ความสอดคล้องกับแนวทาง Haze Free และ PGS) ใช้คะแนนประเมิน 5 ระดับ โดยกำหนดคะแนน 5 หมายถึง มีความพร้อมหรือมีศักยภาพสูงมาก คะแนน 4 หมายถึง มีความพร้อมสูง คะแนน 3 หมายถึง มีความพร้อมปานกลาง คะแนน 2 หมายถึง มีความพร้อมต่ำ และคะแนน 1 หมายถึง มีความพร้อมต่ำมาก จากนั้นนำคะแนนที่ได้มาคำนวณด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักแบบ Simple Additive Weighting (SAW) เพื่อให้ความสำคัญกับแต่ละองค์ประกอบแตกต่างกันตามความจำเป็นของการศึกษา โดยกำหนดค่าน้ำหนักของแต่ละด้านประกอบด้วย ความพร้อมด้านข้อมูลร้อยละ 40 ความพร้อมด้าน

พื้นที่และทรัพยากรร้อยละ 30 ความพร้อมด้านการผลิตและการปรับเปลี่ยนร้อยละ 20 และความสอดคล้องกับแนวทาง Haze Free และ PGS ร้อยละ 10 ทั้งนี้ เนื่องจากข้อมูลที่ถูกต้องและครบถ้วนถือเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ด้านข้อมูลมีน้ำหนักสูงสุด รองลงมาคือด้านพื้นที่และทรัพยากรซึ่งเป็นข้อจำกัดหลักของการผลิต ส่วนด้านการผลิตและการปรับเปลี่ยน รวมถึงด้าน Haze Free และ PGS ถูกใช้เพื่อสะท้อนความพร้อมในการดำเนินงานตามแนวทางของโครงการ คะแนนรวมของเกษตรกรแต่ละรายถูกคำนวณตามหลักการของวิธี Simple Additive Weighting (SAW) โดยนำคะแนนที่ได้รับในแต่ละด้านคูณด้วยค่าน้ำหนักที่กำหนด และรวมเป็นคะแนนศักยภาพรวมของเกษตรกรแต่ละราย จากนั้นจึงนำมาจัดลำดับความเหมาะสมของเกษตรกรเพื่อคัดเลือกเข้าสู่งานศึกษา ผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์การแปลผลคะแนนออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ คะแนนรวมตั้งแต่ 80 – 100 คะแนน หมายถึง มีความเหมาะสมมาก คะแนนรวม 70 – 79 คะแนน หมายถึง มีความเหมาะสม คะแนนรวม 60 – 69 คะแนน หมายถึง พอใช้ และคะแนนต่ำกว่า 60 คะแนน หมายถึง ไม่เหมาะสม โดยคัดเลือกเฉพาะเกษตรกรที่มีคะแนนอยู่ในระดับ "เหมาะสม" และ "เหมาะสมมาก" เข้าสู่กระบวนการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลการประเมินพบว่าเกษตรกรที่ได้รับการคัดเลือกมีความพร้อมทั้งด้านพื้นที่ ข้อมูลศักยภาพการผลิต และมีความสอดคล้องกับแนวทางการดำเนินงานของโครงการฯ จึงสามารถเป็นตัวแทนของกลุ่มเกษตรกรเป้าหมายในการศึกษา และเป็นฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือสำหรับการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการตัดสินใจวางแผนเพาะปลูกที่เหมาะสมต่อไป ดัง Table 3 Results of the Individual Farmer Readiness Assessment

Table 3 Results of the Individual Farmer Readiness Assessment

Farmer ID	SAW Score	Suitability Level	Rank	Decision
K1	85.60%	Highly Suitable	3	Selected
K2	77.60%	Suitable	4	Selected
K3	89.20%	Highly Suitable	2	Selected
K4	93.20%	Highly Suitable	1	Selected
K5	74.40%	Suitable	6	Selected
K6	76.80%	Suitable	5	Selected

การคัดเลือกพืชผู้วิจัยกำหนดให้แต่ละรายการประเมินใช้ค่าคะแนน 5 ระดับ (Likert Scale) โดยคะแนน 5 หมายถึง เหมาะสมมาก คะแนน 4 หมายถึง เหมาะสม คะแนน 3 หมายถึง ปานกลาง คะแนน 2 หมายถึง ค่อนข้างไม่เหมาะสม และคะแนน 1 หมายถึง ไม่เหมาะสม จากนั้นนำคะแนนที่ได้รับมาคำนวณด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักแบบ Simple Additive Weighting (SAW) โดยกำหนดน้ำหนักความสำคัญของแต่ละด้านประกอบด้วย ความเหมาะสมของพื้นที่ ร้อยละ 20 ความพร้อมด้านทรัพยากรการผลิต ร้อยละ 15 ประสิทธิภาพและความรู้ของเกษตรกร ร้อยละ 15 ความพร้อมด้านตลาด ร้อยละ 20 ความสอดคล้องกับระบบเกษตรยั่งยืน ร้อยละ 20 และความต้องการและความตั้งใจของเกษตรกร ร้อยละ 10 รวมค่าน้ำหนักทั้งสิ้นร้อยละ 100 คะแนนรวมของพืชแต่ละชนิดต่อเกษตรกรแต่ละรายถูกคำนวณจากผลรวมของคะแนนถ่วงน้ำหนักทุกด้าน และนำมาแปลผลเป็นระดับความเหมาะสม โดยกำหนดให้คะแนนรวมตั้งแต่ 80 – 100 คะแนน จัดอยู่ในระดับ S1 (เหมาะสมมาก) และสามารถนำเข้าสู่แบบจำลองได้ คะแนนรวม 70 – 79 คะแนน จัดอยู่ในระดับ S2 (เหมาะสม) และสามารถนำเข้าสู่แบบจำลองได้ คะแนนรวม 60 – 69 คะแนน จัดอยู่ในระดับ S3 (เหมาะสมปานกลาง) ซึ่งต้องพิจารณาพร้อมกับปัจจัยอื่นเพิ่มเติม ส่วนคะแนนต่ำกว่า 60 คะแนน จัดอยู่ในระดับ N (ไม่เหมาะสม) และจะไม่ถูกนำเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ในแบบจำลอง ผลการประเมินดังกล่าวถูกนำมาสร้างเป็นตารางความเหมาะสมของพืชต่อเกษตรกร (Suitability Matrix) โดยกำหนดค่า 1 ให้กับพืชที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกและสามารถนำเข้าสู่แบบจำลองได้ และกำหนดค่า 0 ให้กับพืชที่ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินหรือไม่เหมาะสมต่อเกษตรกรรายนั้น ดัง Table 4 Suitability Matrix

2.2 การกำหนดข้อมูลนำเข้าและพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

ข้อมูลที่รวบรวมได้ถูกนำมาตรวจสอบความครบถ้วนและปรับให้อยู่บนฐานเวลาเดียวกัน คือรอบปีการผลิต เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลตอบแทนของพืชล้มลุกและพืชยืนต้นได้อย่างเหมาะสม สำหรับพืชล้มลุก คำนวณผลผลิต ต้นทุน และกำไรสุทธิต่อไร่ต่อปีจากจำนวนรอบการผลิตที่เป็นไปได้ ส่วนพืชยืนต้นใช้วิธีเฉลี่ยรายได้สุทธิต่อปี โดยพิจารณารายได้และต้นทุนตลอดช่วงอายุเศรษฐกิจของพืช แล้วแปลงเป็นค่าผลตอบแทนสุทธิต่อไร่ต่อปี เพื่อใช้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง พารามิเตอร์หลักที่ใช้ในแบบจำลอง ได้แก่ พื้นที่ถือครองของเกษตรกรแต่ละราย กำไรสุทธิต่อไร่ของพืชแต่ละชนิด ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ความต้องการของตลาด และค่าความเหมาะสมของพืชต่อเกษตรกร โดยข้อมูลความเหมาะสมกำหนดเป็นค่า 1 เมื่อเกษตรกรสามารถปลูกพืชชนิดนั้นได้ และกำหนดเป็นค่า 0 เมื่อไม่เหมาะสมหรือไม่ควรเลือกปลูก

Table 4 Suitability Matrix

Crop Code	Farmer					
	k1	k2	k3	k4	k5	k6
Annual Crops						
j1	1	0	0	1	0	0
j2	1	0	0	1	0	0
j3	1	0	0	1	0	0
j4	1	0	0	1	0	0
j5	1	0	1	1	1	1
j6	1	1	1	1	0	0
j7	1	1	1	1	0	0
j8	1	1	1	1	1	1
Perennial Crops						
j9	1	0	0	1	0	0
j10	0	1	1	0	1	1
j11	0	1	1	0	1	1
j12	1	1	1	1	1	1
j13	1	1	1	1	1	1
j14	1	1	1	1	1	1
j15	1	1	1	1	0	0
j16	1	1	1	1	1	1

2.3 การพัฒนาแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น

การศึกษานี้ใช้เทคนิคโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming: LP) เพื่อหาการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกที่เหมาะสม โดยกำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจคือพื้นที่ปลูกพืชแต่ละชนิดของเกษตรกรแต่ละราย และกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มกำไรสุทธิรวมสูงสุดของกลุ่มเกษตรกร ภายใต้ข้อจำกัดด้านพื้นที่ความเหมาะสมของพืช การกระจายความเสี่ยง สัดส่วนพืชล้มลุก สัดส่วนไม้ยืนต้น และความต้องการของตลาด

1. ดัชนี (Indices) กำหนดให้

k = เกษตรกรรายที่ k ; k = 1,2,3,4,5,6

j = ชนิดพืชที่ j ; j = 1,2,3,...16

โดยที่ j1 - j8 คือพืชล้มลุก และ j9 - j16 คือพืชยืนต้น

2. พารามิเตอร์ (Parameters)

A_k = พื้นที่ถือครองของเกษตรกรรายที่ k (ไร่)

P_j = กำไรสุทธิต่อไร่ของพืชชนิดที่ j (บาท/ไร่/ปี)

S_{kj} = ค่าความเหมาะสมของพืชชนิดที่ j สำหรับเกษตรกรรายที่ k

โดยที่ $S_{kj} = 1$ เหมาะสม และ $S_{kj} = 0$ ไม่เหมาะสม

D_j = ปริมาณความต้องการของตลาดสำหรับพืชชนิดที่ j (กิโลกรัม/ปี)

Y_j = ผลผลิตเฉลี่ยของพืชชนิดที่ j (กิโลกรัม/ไร่)

3. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable)

X_{kj} = พื้นที่ปลูกพืชชนิดที่ j ของเกษตรกรรายที่ k

โดยที่ $j = 1, 2, 3, \dots, 16$ แทนพืช 16 ชนิด

$k = 1, 2, 3, \dots, 6$ แทนเกษตรกร 6 ราย

4. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function)

$$Z = \sum_{k=1}^6 \sum_{j=1}^{16} P_j X_{kj}$$

5. เงื่อนไข (Subject to (s.t))

ข้อจำกัดที่ 1 ข้อจำกัดด้านพื้นที่กำหนดให้เกษตรกรแต่ละรายใช้พื้นที่เพาะปลูกเต็มพื้นที่ถือครอง เพื่อไม่ให้เกิดพื้นที่ว่าง

$$\sum_{j=1}^{16} X_{kj} = A_k \quad \text{for } k = 1, \dots, 6$$

คือ

$$\sum_{j=1}^{16} X_{1j} = 6$$

$$\sum_{j=1}^{16} X_{2j} = 12$$

$$\sum_{j=1}^{16} X_{3j} = 17$$

$$\sum_{j=1}^{16} X_{4j} = 11$$

$$\sum_{j=1}^{16} X_{5j} = 2$$

$$\sum_{j=1}^{16} X_{6j} = 2$$

ข้อจำกัดที่ 2 ข้อจำกัดด้านความเหมาะสมของพืชเกษตรกรสามารถปลูกได้เฉพาะพืชที่เหมาะสมกับพื้นที่และศักยภาพของตนเอง

$$X_{kj} \leq A_k S_{kj} \quad \text{for } k = 1, \dots, 6, j = 1, \dots, 16$$

$S_{kj} = 1$ เหมาะสม

$S_{kj} = 0$ ไม่เหมาะสม

ข้อจำกัดที่ 3 พื้นที่ไม้ยืนต้นขั้นต่ำ กำหนดให้มีพื้นที่ไม้ยืนต้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของพื้นที่ถือครอง เพื่อให้สอดคล้องกับแนวทางวนเกษตร

$$\sum_{j=9}^{16} X_{kj} \geq 0.10 A_k \quad \text{for } k = 1, \dots, 6$$

ข้อจำกัดที่ 4 การกระจายความเสี่ยงกำหนดให้พืชแต่ละชนิดใช้พื้นที่ได้ไม่เกินร้อยละ 50 ของพื้นที่ถือครอง เพื่อป้องกันการพึ่งพาพืชชนิดเดียวมากเกินไป

$$X_{kj} \leq 0.50 A_k \quad \text{for } k = 1, \dots, 6, j = 1, \dots, 16$$

ข้อจำกัดที่ 5 พื้นที่พืชล้มลุกขั้นต่ำกำหนดให้มีพื้นที่พืชล้มลุกไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 ของพื้นที่ถือครอง เพื่อให้เกษตรกรมีรายได้ระยะสั้นและมีผลผลิตหมุนเวียนระหว่างรอพืชยืนต้นให้ผลผลิต

$$\sum_{j=1}^8 X_{kj} \geq 0.60 A_k \quad \text{for } k = 1, \dots, 6$$

ข้อจำกัดที่ 6 ข้อจำกัดด้านตลาดกำหนดให้ผลผลิตรวมของพืชแต่ละชนิดไม่เกินปริมาณความต้องการของตลาด

$$\sum_{k=1}^6 Y_j X_{kj} \leq D_j \quad \text{for } j = 1, \dots, 16$$

และกำหนดเงื่อนไขไม่เป็นลบของตัวแปรตัดสินใจ $X_{kj} \geq 0$

3 ผลและวิจารณ์

ผลการประมวลผลแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นด้วย Microsoft Excel Solver พบว่า แบบจำลองสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนดได้ครบถ้วน ทั้งข้อจำกัดด้านพื้นที่ถือครองของเกษตรกร ความเหมาะสมของชนิดพืชต่อเกษตรกรแต่ละราย สัดส่วนพื้นที่ไม้ยืนต้นขั้นต่ำ สัดส่วนพื้นที่พืชล้มลุก การกระจายความเสี่ยงจากการปลูกพืชชนิดเดียว และข้อจำกัดด้านความต้องการของตลาด โดยผลลัพธ์กรณีฐานสามารถสร้างกำไรสุทธิรวมสูงสุดเท่ากับ 5,151,239.04 บาทต่อปีจากพื้นที่เพาะปลูกรวม 50 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่พืชล้มลุก 35.10 ไร่ และพื้นที่ไม้ยืนต้น 14.90 ไร่ พืชที่แบบจำลองเลือกเข้าสู่แผนการผลิต ได้แก่ ผักกาดขาวปลี กะหล่ำปลี หัวไชเท้า ถั่วลายเสือ ถั่วแดง ถั่วดำ งาขี้ม่อน และมะม่วงน้ำดอกไม้ ดังแสดงใน Figure 1 Answer Report

Solver Engine

Engine: Simplex LP
Solution Time: 0.172 Seconds.
Iterations: 46 Subproblems: 0

Solver Options

Max Time Unlimited, Iterations Unlimited, Precision 0.000001, Use Automatic Scaling
Max Subproblems Unlimited, Max Integer Sols Unlimited, Integer Tolerance 1%, Assume NonNegative

Objective Cell (Max)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$J\$62	TOTAL PROFIT (Objective) k1	0.00	5,151,239.04

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$B\$66	k1 Used Area	6.00	\$B\$66=\$C\$66	Binding	0
\$B\$67	k2 Used Area	12.00	\$B\$67=\$C\$67	Binding	0
\$B\$68	k3 Used Area	17.00	\$B\$68=\$C\$68	Binding	0
\$B\$69	k4 Used Area	11.00	\$B\$69=\$C\$69	Binding	0
\$B\$70	k5 Used Area	2.00	\$B\$70=\$C\$70	Binding	0
\$B\$71	k6 Used Area	2.00	\$B\$71=\$C\$71	Binding	0
\$B\$76	j1 Production_kg	27,000.00	\$B\$76<=\$C\$76	Not Binding	21000
\$B\$77	j2 Production_kg	48,000.00	\$B\$77<=\$C\$77	Binding	0
\$B\$78	j3 Production_kg	48,000.00	\$B\$78<=\$C\$78	Binding	0
\$B\$79	j4 Production_kg	0.00	\$B\$79<=\$C\$79	Not Binding	64000
\$B\$80	j5 Production_kg	21,000.00	\$B\$80<=\$C\$80	Not Binding	59000
\$B\$81	j6 Production_kg	1,450.00	\$B\$81<=\$C\$81	Not Binding	22550
\$B\$82	j7 Production_kg	3,000.00	\$B\$82<=\$C\$82	Not Binding	21000
\$B\$83	j8 Production_kg	80.00	\$B\$83<=\$C\$83	Not Binding	11920
\$B\$84	j9 Production_kg	0.00	\$B\$84<=\$C\$84	Not Binding	24000
\$B\$85	j10 Production_kg	0.00	\$B\$85<=\$C\$85	Not Binding	36000
\$B\$86	j11 Production_kg	0.00	\$B\$86<=\$C\$86	Not Binding	48000
\$B\$87	j12 Production_kg	29,717.22	\$B\$87<=\$C\$87	Not Binding	10282.77778
\$B\$88	j13 Production_kg	0.00	\$B\$88<=\$C\$88	Not Binding	32000
\$B\$89	j14 Production_kg	0.00	\$B\$89<=\$C\$89	Not Binding	24000
\$B\$90	j15 Production_kg	0.00	\$B\$90<=\$C\$90	Not Binding	16000
\$B\$91	j16 Production_kg	0.00	\$B\$91<=\$C\$91	Not Binding	100000

Figure 1 Answer Report

ผลดังกล่าวสะท้อนว่า แบบจำลองไม่ได้เลือกพืชจากค่ากำไรต่อไร่เพียงอย่างเดียว แต่พิจารณาพร้อมกับข้อจำกัดของระบบทั้งหมด โดยเฉพาะข้อจำกัดด้านตลาดและเงื่อนไขการกระจายความเสี่ยง ทำให้แผนที่ได้เป็นแผนการผลิตที่สมดุลระหว่างพืชล้มลุกซึ่งให้รายได้ระยะสั้นกับไม้ยืนต้นซึ่งสนับสนุนระบบวนเกษตรในระยะยาว การจัดสรรพื้นที่ในลักษณะนี้จึงสอดคล้องกับแนวคิดการใช้ Linear Programming เพื่อจัดสรรทรัพยากรที่มีจำกัดให้เกิดผลตอบแทนสูงสุด และยังคงสอดคล้องกับแนวทาง

เกษตรผสมผสานที่มุ่งลดความเสี่ยงจากการพึ่งพาพืชเพียงชนิดเดียว แผนการจัดสรรพื้นที่ดัง Table 5 Decision Variables X_{kj} (Rai)

Table 5 Decision Variables X_{kj} (Rai)

DECISION VARIABLES X _{kj} (Rai)						
Crop	k1	k2	k3	k4	k5	k6
j1	3.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00
j2	0.00	0.00	0.00	4.80	0.00	0.00
j3	2.40	0.00	0.00	3.60	0.00	0.00
j4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j5	0.00	0.00	8.50	0.00	1.00	1.00
j6	0.00	1.20	1.70	0.00	0.00	0.00
j7	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20
j9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j12	0.60	4.80	6.80	1.10	0.80	0.80
j13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total 50 Rai	6	12	17	11	2	2

เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านเศรษฐกิจระหว่างแผนการเพาะปลูกเดิมกับแผนที่ได้จากแบบจำลอง พบว่า แผนเดิมของเกษตรกรทั้ง 6 รายมีกำไรรวม 2,586,675.65 บาทต่อปี ขณะที่แผนจากแบบจำลอง LP มีกำไรรวม 5,151,239.04 บาทต่อปี เพิ่มขึ้น 2,564,563.39 บาท หรือคิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 99.15 โดยกำไรเฉลี่ยต่อไร่เพิ่มจาก 51,733.51 บาทต่อไร่ เป็น 103,024.78 บาทต่อไร่ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจของพื้นที่เดิมได้อย่างชัดเจน โดยไม่ได้เพิ่มขนาดพื้นที่เพาะปลูก แต่เกิดจากการปรับชนิดพืชและสัดส่วนพื้นที่ให้เหมาะสมกับข้อจำกัดและศักยภาพของระบบการผลิต ดัง

Table 6 Comparison of Economic Performance Between the Baseline Plan and the LP-Optimized Plan

Farmer	Increase (%)	Baseline Profit (THB/rai)	LP-Optimized Profit (THB/rai)
k1	126.40	59,714.80	135,191.96
k2	6.29	36,354.93	38,640.85
k3	94.06	47,181.55	91,558.35
k4	197.69	59,714.80	177,766.51
k5	9.39	83,294.65	91,118.35
k6	9.39	83,294.65	91,118.35
Total / Average	99.15	51,733.51	103,024.78

เมื่อพิจารณารายเกษตรกร พบว่า K4 เป็นรายที่ได้รับผลตอบแทนสูงที่สุดจากแบบจำลอง โดยกำไรเพิ่มจาก 59,714.80 บาท เป็น 177,766.51 บาท หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 197.69 และมีกำไรจากแผน LP สูงสุดที่ 177,766.51 บาทต่อไร่ ขณะที่ K1 มีผลตอบแทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 126.40 และ K3 เพิ่มขึ้นร้อยละ 94.06 ส่วน K2, K5 และ K6 มีผลตอบแทนเพิ่มขึ้นในระดับต่ำกว่า โดยเฉพาะ K2 เพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 6.29 และมีกำไรต่อไร่ต่ำที่สุดหลังใช้แบบจำลอง คือ 38,640.85 บาทต่อไร่ ผลนี้ชี้ให้เห็นว่า แม้แบบจำลองจะทำให้เกษตรกรทุกรายมีกำไรเพิ่มขึ้น แต่ศักยภาพในการเพิ่มผลตอบแทนแตกต่างกันตามข้อจำกัดเฉพาะราย เช่น ขนาดพื้นที่ ความเหมาะสมของพืช และโอกาสในการจัดสรรพื้นที่ให้กับพืชที่มีผลตอบแทนสูง

ในด้านความหลากหลายของระบบการปลูก ผลการเปรียบเทียบพบว่า แผนเดิมมีจำนวนชนิดพืชที่ปลูก 5 ชนิด ขณะที่แผนจากแบบจำลองเพิ่มเป็น 8 ชนิด เพิ่มขึ้น 3 ชนิด สะท้อนว่าแบบจำลองช่วยเพิ่มความหลากหลายของระบบการผลิตและลดการพึ่งพาพืชเพียงไม่กี่ชนิดได้อย่างเป็นรูปธรรม นอกจากนี้ สัดส่วนพื้นที่พืชล้มลุกเพิ่มขึ้นจาก 2.00 ไร่ เป็น 35.10 ไร่ หรือจากร้อยละ 4.00 เป็นร้อยละ 70.20 ของพื้นที่ทั้งหมด ขณะที่พื้นที่ไม้ยืนต้นปรับจาก 48.00 ไร่ เหลือ 14.90 ไร่ หรือร้อยละ 29.80 ของพื้นที่ทั้งหมด แต่ยังคงสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำร้อยละ 10 ที่กำหนดไว้ในแบบจำลอง

ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองช่วยปรับโครงสร้างการใช้พื้นที่จากระบบที่มีการกระจุกตัวสูง ไปสู่ระบบที่มีความสมดุลมากขึ้น โดยยังคงรักษารายได้ประกอบของไม้ยืนต้นตามแนวทางวนเกษตรไว้ ขณะเดียวกันก็เพิ่มพื้นที่พืชล้มลุกเพื่อสร้างรายได้ระยะ

สิ้นและเพิ่มผลผลิตหมุนเวียนให้แก่เกษตรกร การปรับสมดุลนี้มีความสำคัญต่อพื้นที่สูงอย่างจังหวัดแม่ฮ่องสอน เนื่องจากเกษตรกรจำเป็นต้องมีรายได้ระยะสั้นเพื่อรองรับค่าใช้จ่ายประจำปี ขณะเดียวกันยังต้องรักษาองค์ประกอบของไม้ยืนต้นเพื่อสนับสนุนความยั่งยืนของระบบการผลิตในระยะยาว

ผลการวิเคราะห์พบว่า พื้นที่ของพืชหลักที่มีการปลูกมากที่สุดลดลงจาก 22.00 ไร่ เหลือ 14.90 ไร่ หรือสัดส่วนลดลงจากร้อยละ 44.00 เหลือร้อยละ 29.80 ของพื้นที่ทั้งหมด แสดงว่าแบบจำลองสามารถลดการกระจุกตัวของพืชชนิดเดียวและช่วยกระจายพื้นที่ไปยังพืชหลายชนิดมากขึ้น ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการลดความเสี่ยงด้านราคา ผลผลิต และโรคพืช ผลนี้สอดคล้องกับแนวคิดของระบบเกษตรผสมผสานที่ให้ความสำคัญกับ “ความหลากหลาย” ของกิจกรรมการผลิต โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องระบุว่า ความหลากหลายของระบบเกษตรเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มทั้งผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและความยั่งยืนของระบบการผลิต

สำหรับการวิเคราะห์ความไวและสถานการณ์จำลอง พบว่าเมื่อจำลองสถานการณ์ความเสี่ยงด้านต้นทุน ผลผลิต และราคาขาย แบบจำลองยังสามารถสร้างกำไรสุทธิรวมเป็นบวกในทุกกรณี โดยกรณีต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 กำไรสุทธิรวมลดลงเหลือ 4,931,062.11 บาทต่อปี กรณีต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 และผลผลิตลดลงร้อยละ 10 กำไรลดลงเหลือ 4,279,286.77 บาทต่อปี และกรณีรุนแรงที่สุด คือ ต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ผลผลิตลดลงร้อยละ 10 และราคาขายลดลงร้อยละ 10 กำไรสุทธิรวมลดลงเหลือ 3,611,564.77 บาทต่อปี หรือลดลงร้อยละ 29.89 จากกรณีฐาน

ผลการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองดังกล่าวสะท้อนว่าแบบจำลองมีความสามารถในการรองรับความไม่แน่นอนในระดับหนึ่ง แม้ภายใต้สถานการณ์ที่ไม่เอื้ออำนวยที่สุด ระบบยังสามารถสร้างกำไรสุทธิรวมได้มากกว่าแผนเดิมของเกษตรกร การวิเคราะห์นี้จึงไม่ได้มีประโยชน์เพียงเพื่อเปรียบเทียบกำไรในแต่ละสถานการณ์เท่านั้น แต่ยังช่วยให้เกษตรกรและหน่วยงานส่งเสริมสามารถมองเห็นความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจริง เช่น ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ผลผลิตลดลง หรือราคาตลาดตกต่ำ และสามารถออกแบบมาตรการรองรับได้ล่วงหน้า เช่น การบริหารต้นทุน การปรับแผนการผลิต การกระจายชนิดพืช และการเชื่อมโยงตลาดให้ชัดเจนขึ้น ดัง Table 7 Scenario Analysis

Table 7 Scenario Analysis

Scenario	Conditions	Total Net Profit (THB/year)	Decrease from Baseline (%)
Base Case	Base Case	5,151,239.04	0.00%
Scenario 1	Cost +10%	4,931,062.11	4.27%
Scenario 2	Cost +10% Yield -10%	4,279,286.77	16.93%
Scenario 3	Cost +10%, Yield -10% Price -10%	3,611,564.77	29.89%

เมื่อพิจารณาในภาพรวม ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า โปรแกรมเชิงเส้นสามารถใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการวางแผนเพาะปลูกของเกษตรกรรายย่อยได้จริง โดยแบบจำลองช่วยเปลี่ยนการตัดสินใจจากการเลือกปลูกตามประสบการณ์หรือความเคยชิน ไปสู่การตัดสินใจที่อิงข้อมูลเชิงปริมาณ มีข้อจำกัดรองรับ และสามารถอธิบายเหตุผลของผลลัพธ์ได้อย่างเป็นระบบ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวคิดของงานวิจัยด้าน Linear Programming ที่ระบุว่า LP เหมาะสำหรับการจัดสรรทรัพยากรที่มีจำกัดเพื่อให้เกิดผลตอบแทนสูงสุด โดยเฉพาะในบริบทที่มีข้อจำกัดหลายด้านพร้อมกัน เช่น พื้นที่ แรงงาน ทุน และตลาด

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษายังมีข้อจำกัดบางประการที่ควรพิจารณาในการนำไปใช้จริง ประการแรก แบบจำลองใช้ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยของผลผลิต ต้นทุน และราคาขาย จึงควรมีการปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันอย่างต่อเนื่อง ประการที่สอง แบบจำลองยังไม่ได้พิจารณาปัจจัยด้านความชื้นของพื้นที่ รูปแบบการจัดเรียงพืช และข้อจำกัดเชิงพื้นที่ในระดับแปลงอย่างละเอียด ดังนั้น หากนำแบบจำลองไปใช้ในพื้นที่สูงหรือพื้นที่ลาดชัน ควรเพิ่มเติมข้อมูลด้านภูมิประเทศ แหล่งน้ำ ระยะทางขนส่ง และความเสี่ยงด้านการพังทลายของดิน เพื่อให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริงมากขึ้น จากการศึกษา ผู้วิจัยเสนอว่าแบบจำลองควรถูกนำไปใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามข้อมูลจริง ไม่ใช่คำตอบสำเร็จรูปเพียงครั้งเดียว โดยควรพัฒนาเป็นไฟล์ Excel Template หรือ Dashboard ที่เจ้าหน้าที่และเกษตรกรสามารถปรับค่าราคา ผลผลิต ต้นทุน และความต้องการตลาด เพื่อทดลองแผนการผลิตใหม่ได้เองในอนาคต แนวทางนี้จะช่วยให้แบบจำลองสามารถใช้เป็นเครื่องมือปฏิบัติงานจริงของโครงการและหน่วยงานด้านการเกษตรในจังหวัดแม่ฮ่องสอนได้ โดยสรุป ผลและการวิจารณ์ชี้ให้เห็นว่า แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจ เพิ่มความหลากหลายของระบบการปลูก ลดการกระจุกตัวของพืชหลัก และสนับสนุนแนวทางเกษตร

ผสมผสานและวนเกษตรได้อย่างเป็นรูปธรรม ผลลัพธ์ดังกล่าวไม่ได้เป็นเพียงการคำนวณกำไรสูงสุด แต่เป็นการสร้างกรอบการตัดสินใจที่เชื่อมโยงข้อมูลด้านการผลิต ตลาด ทรัพยากร และความยั่งยืนเข้าด้วยกัน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประกอบการวางแผนการผลิตของกลุ่มเกษตรกรและการส่งเสริมการเกษตรเชิงพื้นที่ของจังหวัดแม่ฮ่องสอนในอนาคตได้อย่างเหมาะสม

4 สรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming: LP) เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจวางแผนการเพาะปลูกที่เหมาะสมของกลุ่มเกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ภายใต้ข้อจำกัดด้านพื้นที่เพาะปลูก ความเหมาะสมของชนิดพืช ความต้องการของตลาด การกระจายความเสี่ยง และการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ไม่ยืนต้น โดยประมวลผลด้วย Microsoft Excel Solver เพื่อค้นหาแผนการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกที่ให้กำไรสุทธิรวมสูงสุด ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกได้อย่างเป็นระบบ ส่งผลให้กำไรสุทธิรวมเพิ่มขึ้นจาก 2,586,675.65 บาท เป็น 5,151,239.04 บาทต่อปี พร้อมทั้งเพิ่มความหลากหลายของชนิดพืช ลดการพึ่งพาพืชเชิงเดี่ยว และยังคงรักษาสัดส่วนพื้นที่ไม่ยืนต้นให้เป็นไปตามแนวทางเกษตรผสมผสานและระบบวนเกษตร ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจของเกษตรกรและหน่วยงานภาครัฐในการวางแผนการผลิตและการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนสามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่มีบริบทใกล้เคียงได้ โดยในอนาคตควรพัฒนาแบบจำลองให้รองรับปัจจัยเชิงพื้นที่เพิ่มเติม เช่น ความลาดชันของพื้นที่ การเข้าถึงแหล่งน้ำ และต้นทุนการขนส่ง เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่สูงได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการตัดสินใจวางแผนเพาะปลูกที่เหมาะสมของกลุ่มเกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอนภายใต้ข้อจำกัดที่หลากหลาย ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ฉัตรทิณวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และชี้แนะแนวทางการดำเนินงาน การปรับปรุงแก้ไขด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเจ้าหน่าที่ทุกท่าน ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการศึกษาในหลักสูตรนี้มาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลือของเจ้าหน้าที่ คณะทีมวิจัยโครงการประเทศไทยไร้หมอกควัน (Haze Free Thailand) กลุ่มเกษตรกรจังหวัดแม่ฮ่องสอน สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดแม่ฮ่องสอน ที่กรุณาให้ข้อมูล คำแนะนำ ให้ความร่วมมือ

ทำให้การค้นคว้าแบบอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา สมาชิกในครอบครัว และอาจารย์ สิริศักดิ์ สืบศิริ ที่คอยให้กำลังใจ คอยให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนการเรียน และการค้นคว้าแบบอิสระในครั้งนี้หากมีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดในส่วนใดเกิดขึ้นในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อผิดพลาดนั้น

6 เอกสารอ้างอิง

- พฤตสรรค์ สุทธิไชยเมธี. (2563). การประยุกต์ใช้ Linear Programming สำหรับการวางแผนการผลิตทางการเกษตรและติดตามผลการดำเนินงานตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง. *วารสารสุทธิปริทัศน์*, 26(78), 19-36. <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/DPUsthiparithatJournal/article/view/245741>
- ไพศาล กะกุลพิมพ์, และ สุภาภรณ์ พวงชมภู. (2562). การวางแผนการผลิตพืชของเกษตรกรกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกล้วยหอมทองวังหลวง อำเภอเฝ้าไร่ จังหวัดหนองคาย. *วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร*, 36(1), 85-94. <https://i01.tci-thaijo.org/index.php/MJUN/article/view/191552>
- Esar, B. A., & Sachdeva, J. (2023). Optimal crop planning for economic and ecological sustainability of Punjab agriculture. *Indian Journal of Ecology*, 50(6), 2114-2120. <https://doi.org/10.55362/IJE/2023/4184>
- Jewpanya, P., German, J. D., Nuangpirom, P., Maghfiroh, M. F., & Redi, A. A. (2022). A decision support system for irrigation management in Thailand: Case study of Tak City agricultural production. *Applied Sciences*, 12(20), 10508. <https://doi.org/10.3390/app122010508>
- Uddin, T., Talukder, R. K., & Alam, M. S. (1994). Optimum cropping plan for a sample of farms in a farming system research area of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Agricultural Economics*, 17(1-2), 85-96. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.202691>
- Warren-Thomas, E., Nelson, L., Juthong, W., Bumrungsri, S., Brattström, O., Stroesser, L., Chambon, B., Penot, E., Tongkaemkaew, U., Edwards, D. P., & Dolman, P. M. (2020). Rubber agroforestry in Thailand provides some biodiversity benefits without reducing yields. *Journal of Applied Ecology*, 57(1), 17-29. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13530>
- Withrow-Robinson, B., Hibbs, D. E., Gypmantasiri, P., & Thomas, D. E. (1998). A preliminary classification of fruit-based agroforestry in a highland area of

- northern Thailand. *Agroforestry Systems*, 42(2), 195–205. <https://doi.org/10.1023/A:1006162513464>
- Zhang, G., Hui, G., Hu, Y., Zhao, Z., Guan, X., Gadow, K. von, & Zhang, G. (2019). Designing near-natural planting patterns for plantation forests in China. *Forest Ecosystems*, 6, Article 30. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0187-x>
- Zomer, R. J., Neufeldt, H., Xu, J., Ahrends, A., Bossio, D., Trabucco, A., van Noordwijk, M., & Wang, M. (2016). Global tree cover and biomass carbon on agricultural land: The contribution of agroforestry to global and national carbon budgets. *Scientific Reports*, 6, Article 29987. <https://doi.org/10.1038/srep29987>
- Zomer, R. J., Trabucco, A., Coe, R., & Place, F. (2009). *Trees on farm: Analysis of global extent and geographical patterns of agroforestry* (ICRAF Working Paper No. 89). World Agroforestry Centre. <https://doi.org/10.5716/WP16263>



บทความเต็ม ภาคนิทัศน์



การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าว

Design and development of a coconut male flower shelling machine

ประวีณา ศรีแวงเขต^{1**}, सरावुथิ ปานทน^{1*}, ธนาวัฒน์ ทิพย์ชิต^{1*}, วุฒิพล จันทรสระคู^{2*}, ปฐวี หมื่นแจ้ง^{3*}, อีรพงษ์ ธรรมวุฒิ^{1*}, ยุทธจักร รักเที่ยง^{1*}

Praweena Sriwangkhet^{1**}, Sarawuth Parnthon^{1*}, Thanawat Tipchit^{1*}, Wuttipol Chansachu^{2*}, Pattawee Meunchang^{3*}, Theerapong Thammawut^{1*}, Yuttajak Rakthiang^{1*}

¹ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมสุราษฎร์ธานี ตำบลคันธูลี อำเภอท่าชนะ, จังหวัดสุราษฎร์ธานี, 84170

¹Surat Thani Agricultural Engineering Research Center, Khan Thuli, Tha Chana, Surat Thani, 84170

²สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม 50 ถ. พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร, กรุงเทพมหานคร, 10900

²Agricultural Engineering Research Institute, 50 Phaholyothin Rd., Lad Yao Subdistrict, Chatuchak District, Bangkok 10900

³ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมชัยนาท ตำบลบางหลวง อำเภอสรรพยา, จังหวัดชัยนาท, 17150

³Chai Nat Agricultural Engineering Research Center, Bang Luang Subdistrict, Sapphaya District, Chai Nat Province, 17150

**Corresponding author: Tel: +66-9-4549-2949, Fax: +66-77-380-588, E-mail: praweena.lawi@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสมรรถนะในการการออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าว เพื่อทดแทนเครื่องจักรชุดเดิมที่เสื่อมสภาพ ณ ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร จังหวัดชุมพร โดยการวัดค่าระดับความเร็วของลูกยางกะเทาะและปรับระยะห่างลูกยางกะเทาะที่เหมาะสมในการกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าว การทดสอบในครั้งนี้ทำการเลือกดอกตัวผู้มะพร้าวที่นำมาทดสอบจำนวน 1 สายพันธุ์คือ มะพร้าว น้ำหอมพันธุ์มลายูสีเหลืองต้นเดี่ยว จากศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพรที่สวนผลิตพันธุ์มะพร้าวลูกผสมคันธูลี ตำบลคันธูลี อำเภอท่าชนะ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปริมาณดอกตัวผู้มะพร้าวที่นำมาทดลองครั้งละ 1.30 kg ก่อนการทดสอบได้ทำการวัดระดับความชื้นของดอกตัวผู้มะพร้าวซึ่งมีความชื้นเท่ากับ 66.97% จากนั้นทำการทดสอบด้วยการวัดค่าความเร็วของลูกยางกะเทาะและปรับระยะห่างของลูกยางกะเทาะที่เหมาะสมกับการกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าว ระยะห่างของลูกยางกะเทาะ 1.60, 1.80, 2.00, 2.20 และ 2.40 mm ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญ ผลการทดสอบพบว่า ค่าระดับความเร็วของลูกยางกะเทาะที่เหมาะสมที่สามารถกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าวได้ โดยลูกยางกะเทาะ ก ข และ ค มีความเร็วรอบเท่ากับ 1,035, 1,440 และ 853 rpm ตามลำดับ ขนาดมอเตอร์ 373 W, 220 V, 50 Hz หลังจากนั้นจึงนำไปลดความชื้นเพื่อให้กลีบดอกแตก และใส่ถาดอลูมิเนียมเคลือบดกให้กระจายทั่วทั้งถาดและกลีบดอกแตกซ้อนกันได้น้อย จากนั้นผึ่งดอกตัวผู้มะพร้าวที่อุณหภูมิห้อง 25 °C ควบคุมความชื้นอยู่ในระดับ 45-55% เป็นระยะเวลา 48-72 hr จะได้ดอกตัวผู้มะพร้าวที่แห้งความชื้น 15% จากการทดสอบเครื่องกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าวพบว่าได้ระยะห่างระหว่างลูกยางกะเทาะที่เหมาะสม เท่ากับ 2.00, 2.20 และ 2.40 mm โดยได้น้ำหนักละอองเธรเท่ากับ 4.99, 6.06 และ 4.85 g ตามลำดับ ผลการทดสอบได้สมรรถนะการกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าวที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.00, 2.20 และ 2.40 mm พบว่าเปอร์เซ็นต์ของกลีบดอกแตกเท่ากับ 99.80, 93.20 และ 81.20% ตามลำดับ ความสามารถในการทำงานเท่ากับ 106.85, 120.62 และ 61.10 kg/hr ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบเปรียบเทียบพบว่าที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะที่ 2.20 mm ได้น้ำหนักละอองเธรจากการใช้เครื่องกะเทาะเป็นที่น่าสนใจ

คำสำคัญ: เครื่องกะเทาะ, มะพร้าว, ดอกตัวผู้มะพร้าว

Abstract

This research aimed to design and construct a coconut male flower shelling machine to replace the deteriorated equipment previously used at the Chumphon Horticultural Research Center, Chumphon Province. The study investigated the effects of rubber shelling roller speed and shelling distance on shelling performance. Male flowers of the Malayan Yellow Dwarf Coconut were obtained from the Kanthuli Hybrid Coconut Seedling Farm, Surat Thani Province. Each test used 1.30 kg of flowers with an initial moisture content of 66.97%. The optimal shelling roller speed was achieved using a 373 W, 220 V, 50 Hz motor, rubber shelling distances of 1.60, 1.80, 2.00, 2.20 and 2.40 mm with rollers A, B, and C operating at 1,035, 1,440, and 853 rpm, respectively. After

shelling, the flowers were spread on aluminum trays and air-dried at 25 °C for 48–72 hr until the moisture content reached approximately 15%. Performance was evaluated at shelling distances of 2.00, 2.20, and 2.40 mm. The corresponding pollen yields were 4.99, 6.06, and 4.85 g, respectively. Petal breakage percentages were 99.80%, 93.20%, and 81.20%, while machine capacities were 106.85, 120.62, and 61.10 kg/hr, respectively. Among the tested conditions, a shelling distance of 2.20 mm provided the best overall performance, producing the highest pollen yield with satisfactory shelling efficiency and machine capacity.

Keywords: Shelling machine, Coconut, Coconut male flower

1 บทนำ

ในการผลิตต้นอ่อนมะพร้าวพันธุ์ดีตามที่ต้องการเพื่อนำไปปลูก หรือการจำหน่ายเพื่อนำไปปลูก จะใช้วิธีการช่วยผสมพันธุ์มะพร้าว โดยนำเกสรตัวผู้ของพันธุ์ที่ต้องการไปผสมกับเกสรตัวเมียของมะพร้าวธรรมดา มะพร้าวต้นแม่ที่มีลักษณะพันธุ์ดีแข็งแรงทนโรค หรือเป็นมะพร้าวที่มีลักษณะพันธุ์ดีตามต้องการ กระบวนการผลิตละอองเกสรสำหรับการผลิตมะพร้าวลูกผสมพันธุ์ดี จะทำการปลิดดอกตัวผู้ออกจากกระแงโดยมือหรือเครื่องมือ และเครื่องบีบหรือกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าวให้แตกด้วยเครื่องที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ลดความชื้นและแยกด้วยตะแกรงละเอียดเพื่อนำไปบรรจุขวดและเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นช่องแช่แข็งระบบ no frost ที่อุณหภูมิ -4 °C ต่อไป (สมชาย และคณะ, 2555; หยกทิพย์ และคณะ, 2562) ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตเกสรที่ต้องใช้เวลานานและเครื่องมือที่มีอยู่ ณ ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพรนั้นชำรุดทำให้ประสิทธิภาพการผลิตละอองเกสรได้ไม่ดีเท่าที่ควรและอาจจะมีการปนเปื้อนจากการผลิตละอองเกสรหลากหลายพันธุ์ โดยเฉพาะขั้นตอนของการใช้เครื่องจักร

ในการผลิตต้นอ่อนมะพร้าวพันธุ์ดีตามที่ต้องการ เช่น มะพร้าวน้ำหอม และมะพร้าวกะทิเพื่อนำไปปลูก หรือการจำหน่ายเพื่อนำไปปลูก จะใช้วิธีการช่วยผสมพันธุ์มะพร้าว โดยนำเกสรตัวผู้ของพันธุ์ที่ต้องการเช่น มะพร้าวน้ำหอมหรือมะพร้าวกะทิแท้ (มะพร้าวกะทิ 100% ซึ่งขยายพันธุ์ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ) ไปผสมกับเกสรตัวเมียของมะพร้าวธรรมดา มะพร้าวต้นแม่ที่มีลักษณะพันธุ์ดีแข็งแรงทนโรค หรือเป็นมะพร้าวที่มีลักษณะพันธุ์ดีตามต้องการ เช่น ต้นเตี้ย มะพร้าวพวงร้อย มะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง จะได้ผลมะพร้าวลูกผสมที่สามารถเพาะได้ และต้นมะพร้าวลูกผสมจะให้ผลผลิตเป็นมะพร้าวน้ำหอมหรือ มะพร้าวกะทิได้ ถ้าได้รับการผสมเกสรจากมะพร้าวน้ำหอมหรือมะพร้าวกะทิด้วยตนเอง เช่น ได้รับการผสมเกสรตัวผู้จาก มะพร้าวน้ำหอมหรือกะทิ 100% (ต้นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ) จะให้ผลผลิตเป็นมะพร้าวน้ำหอมหรือกะทิ 50% ต่อทะลาย และถ้าได้รับการผสมเกสรตัวผู้จากมะพร้าวกะทิลูกผสมด้วยตนเอง จะให้ผลผลิตเป็นมะพร้าวน้ำหอมหรือกะทิ 25% ต่อทะลาย

กระบวนการผลิตละอองเกสรสำหรับการผลิตมะพร้าวลูกผสมพันธุ์ดี จะทำการปลิดดอกตัวผู้ออกจากกระแงโดยมือหรือเครื่องมือ และเครื่องบีบหรือกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าวให้แตกด้วยเครื่องที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ แล้วนำดอกตัวผู้ที่จะกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าวให้แตกแล้วไปตากผึ่งในห้องควบคุมสภาวะอากาศมีความชื้นต่ำให้อยู่ในระดับ 45-55% หรือห้องแอร์อุณหภูมิห้อง 25 °C เป็นเวลา 48 hr จนกระทั่งดอกเกสรตัวผู้มีความชื้นลดลง 15% จึงนำมาร่อนแยกด้วยตะแกรงละเอียดเพื่อนำไปบรรจุขวดและเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นต่อไป (สมชาย และคณะ, 2555; หยกทิพย์ และคณะ, 2562) ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตเกสรที่ต้องใช้เวลานานและเครื่องมือที่มีอยู่ชำรุดทำให้ประสิทธิภาพการผลิตละอองเกสรได้ไม่ดีเท่าที่ควรและมีอาจจะเป็นการปนเปื้อนจากการผลิตละอองเกสรหลากหลายพันธุ์ โดยเฉพาะขั้นตอนของการใช้เครื่องจักร นับว่ามีความสำคัญกระบวนการหนึ่ง ในขั้นตอนการกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าวมีความสำคัญมาก บางขั้นตอนยังคงใช้แรงงานคนอยู่ ทำให้เกิดความเมื่อยล้า ลำบาก อีกทั้งการใช้เครื่องบีบหรือกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าวให้แตกด้วยเครื่องที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เมื่อมีความจำเป็นที่จะต้องทำการซ่อมแซมเครื่องมือดังกล่าวก็หาอะไหล่ในการซ่อมแซมได้ยาก หากเปลี่ยนพันธุ์มะพร้าวที่จะทำการแยกละอองเกสรตัวผู้ ก็มีสิทธิ์ที่จะเกิดการปนเปื้อนของละอองเกสรตัวผู้ข้ามสายพันธุ์ได้ ในการผสมพันธุ์มะพร้าวเพื่อให้ได้มะพร้าวลูกผสมมะพร้าวพันธุ์ดีที่ต้องการและป้องกันการปนเปื้อนของเกสรตัวผู้จากมะพร้าวอื่นบริเวณใกล้เคียง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเห็นควรมีการพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์สำหรับกระบวนการผลิตละอองเกสรมะพร้าว ได้แก่ การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าว เพื่อให้มีความรวดเร็ว ลดเวลาในการกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าว และต้องสามารถถอดทำความสะอาดได้ง่าย เพื่อลดการปนเปื้อนของละอองเกสรตัวผู้ข้ามสายพันธุ์เพื่อให้ได้มะพร้าวลูกผสมพันธุ์ดีและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

อุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างและทดสอบเก็บค่าการกะเทาะของดอกตัวผู้มะพร้าว ได้แก่

- 1) ดอกตัวผู้มะพร้าว
- 2) เครื่องกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าว
- 3) เวอร์เนียร์คาลิเปอร์
- 4) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า มัลติมิเตอร์ดิจิทัล (Digital Multimeter) รุ่น UNI-T UT203+ UT204+ Digital Clamp Meter ขนาดกระแส 400A-600A, 600V
- 5) เครื่องชั่งดิจิทัล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ HUAJIE รุ่น HJ-3000

2.2 วิธีการ

2.2.1 การเตรียมตัวอย่างดอกตัวผู้มะพร้าว

ในงานวิจัยนี้ใช้ดอกตัวผู้มะพร้าว จาก ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ณ สวนผลิตพันธุ์มะพร้าวลูกผสมพันธุ์ดี ตำบลคันธุลี อำเภอนาทม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2568 จากนั้นนำมาปลิดดอกตัวผู้มะพร้าว และทำการวัดขนาด เพื่อนำมาออกแบบเครื่องกะเทาะ โดยมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ดังนี้

2.2.1.1 คัดเลือกดอกตัวผู้มะพร้าว มะพร้าวน้ำหอมพันธุ์มลายูสีเหลืองต้นเดี่ยว ที่แก่จัดพร้อมนำมาทำเป็นละอองเกสร มะพร้าวสำหรับนำไปขยายพันธุ์ต่อไป

2.2.1.2 นำมาปลิดดอกตัวผู้แยกออกจากจั่นมะพร้าว โดยแยกดอกตัวผู้มะพร้าวออก ทำการวัดขนาด ความกว้าง ความยาว ความหนา จากดอกตัวผู้มะพร้าวทั้งหมด 120 ตัวอย่าง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย (จากสุทธร, 2558) มีขนาดความกว้าง 4.36 mm ขนาดความยาว 9.96 mm ความหนา 3.43 mm ดังแสดงใน Figure 1 ซึ่งจะทำให้สามารถทราบระยะห่างของลูกยางกะเทาะ ในการออกแบบเครื่องกะเทาะของดอกตัวผู้มะพร้าว โดยต้องมีระยะห่างไม่เกิน ความหนาซึ่งมีขนาด 3.43 mm

2.2.1.3 การตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่างดอกตัวผู้มะพร้าว

2.2.2 การทดสอบการกะเทาะ

2.2.2.1 ทดสอบการกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าว แยกและไม่แยก

2.2.2.2 ทำการศึกษาผลของระยะห่างระหว่างลูกยางกะเทาะ ต่อประสิทธิภาพการกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าว โดยกำหนดค่าระยะห่างในการทดลองจำนวน 5 ค่า ได้แก่ 1.60, 1.80, 2.00, 2.20 และ 2.40 mm และเปรียบเทียบผลการกะเทาะที่เกิดขึ้นในแต่ละสภาวะการทดลอง

2.2.2.3 จากนั้นเมื่อได้ค่าระยะห่างลูกยางกะเทาะที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการทดสอบหาค่าความสามารถในการกะเทาะ ได้ capacity (kg/hr) ทำการวัดซ้ำที่ 5 ระดับ

2.2.2.4 หลังจากเสร็จสิ้นการทดลองแต่ละรอบ เก็บตัวอย่างดอกตัวผู้มะพร้าว เพื่อนำไปลดความชื้น จากนั้นผึ่งดอกตัวผู้ที่อุณหภูมิห้อง 25 °C ควบคุมความชื้นอยู่ในระดับ 45-55% เป็นระยะเวลา 48-72 hr จะได้ดอกตัวผู้มะพร้าวที่แห้งความชื้น 15% หยกทิพย์ และคณะ (2562) จากนั้นนำไปร่อนละอองเกสรและชั่งน้ำหนักเกสรที่ได้ โดย 1) ขนาดตะแกรงหยาบขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง x สูง เท่ากับ 0.2 x 0.05 m ขนาดความละเอียด 40 mesh (425 μ m), 2) ตะแกรงละเอียดรองลงมา เส้นผ่านศูนย์กลาง x สูง เท่ากับ 0.2 x 0.05 m ขนาดความละเอียด 80 mesh (180 μ m), 3) และ ตะแกรงละเอียดที่สุด เส้นผ่านศูนย์กลาง x สูง เท่ากับ 0.2 x 0.05 m ขนาดความละเอียด 100 mesh (150 μ m) ตามลำดับ หลังจากร่อนละอองเกสรแล้วบรรจุตัวอย่างละอองเกสรมะพร้าวที่ได้ในขวดแก้วที่ปิดสนิท ซึ่งจะได้อะอองเกสรสำหรับผสมพันธุ์ หลังจากนั้นบรรจุละอองเกสรในขวดแก้ว และเก็บในตู้เย็นของแชแข็งระบบ no frost ที่อุณหภูมิ -4 °C ซึ่งสามารถ เก็บรักษาละอองเกสรได้นานเป็นระยะเวลา 6 เดือน เพื่อนำไปยังห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร เปรียบเทียบวัดค่าความมีชีวิตของละอองเกสร และวัดค่าการออกของละอองเกสรมะพร้าวที่ได้ รวมทั้งสิ้น 26 ตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบกับกับวิธีปฏิบัติของศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร และเพื่อการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป



Figure 1 Measuring the size of male coconut flower samples

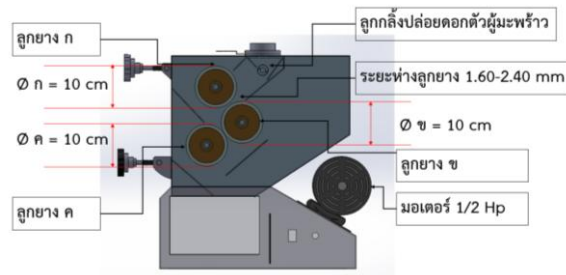


Figure 2 Rubber rollers of the shelling machine

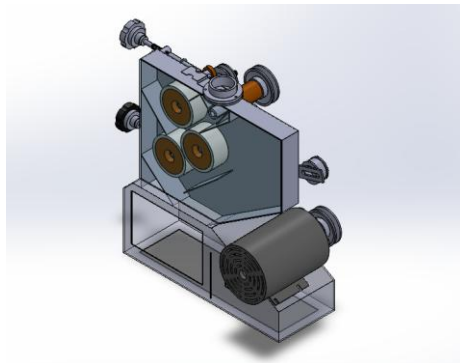


Figure 3 Drawing of shelling machine



Figure 4 Shelling machine



Figure 5 Testing the shelling of male coconut flowers

3 ผลและวิจารณ์

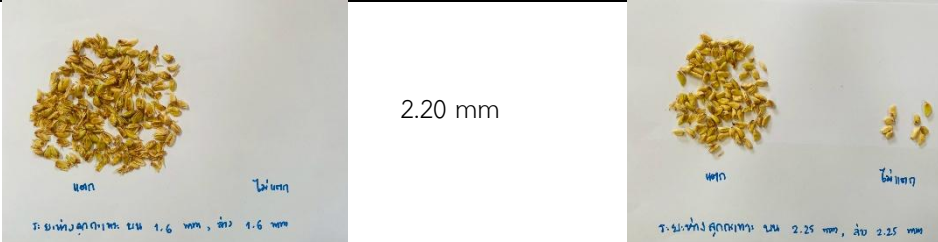
3.1 ข้อมูลของการเปรียบเทียบระหว่างดอกตัวผู้มะพร้าวที่มีรอยแตกและไม่มียรอยแตกที่ระยะห่างการกะเทาะ 1.60, 1.80, 2.00, 2.20 และ 2.40 mm

ค่าร้อยละการกะเทาะของดอกตัวผู้มะพร้าวของตัวอย่างที่นำมาทดลองกะเทาะที่ระยะห่างการกะเทาะ 1.60-2.40 mm นั้น มีค่าเฉลี่ยร้อยละของการแตกของดอกตัวผู้มะพร้าว แสดงดัง Table 2

ค่าร้อยละของการแตกของตัวอย่างดอกตัวผู้มะพร้าว ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละ} = \frac{\text{จำนวนดอกตัวผู้มะพร้าว (แตก)}}{\text{จำนวนดอกตัวผู้มะพร้าวทั้งหมด}} \times 100 \quad (1)$$

จากวิธีการทดสอบการกะเทาะของดอกตัวผู้มะพร้าวเพื่อหา ระยะการกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าวที่เหมาะสม โดยใช้ดอกตัวผู้มะพร้าวจำนวนครั้งละ 100 เมล็ด ที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 1.60, 1.80, 2.00, 2.20 และ 2.40 mm แสดงดัง Figure 6 และ ทำการทดสอบครั้งละ 5 ซ้ำ

ระยะห่างลูกยางกะเทาะ	ระยะห่างลูกยางกะเทาะ	ภาพประกอบ
1.60 mm	2.20 mm	

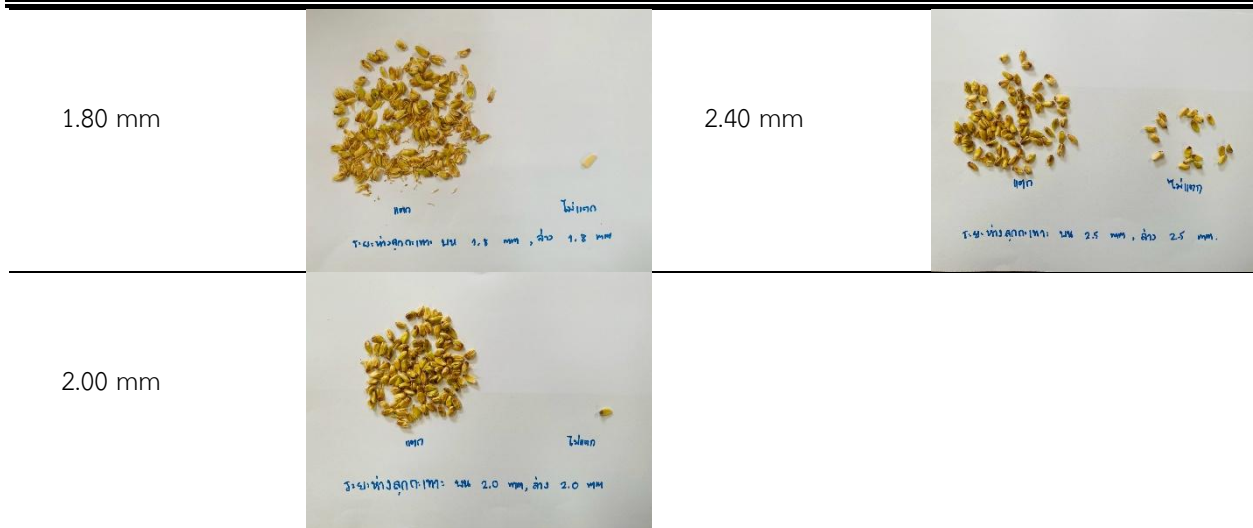
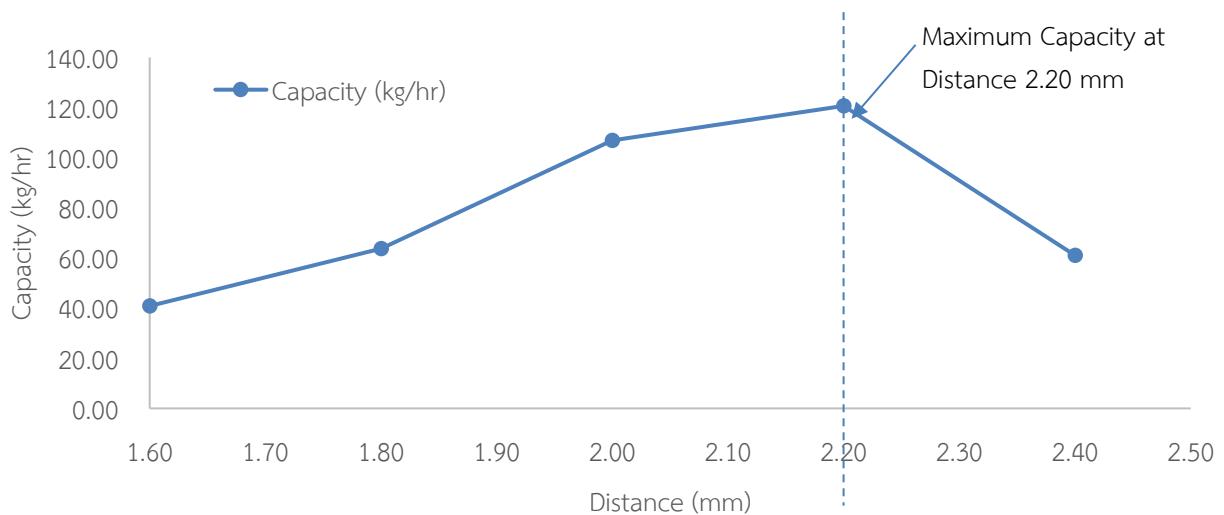


Figure 6 Comparison of cracked-uncracked results at shelling distances of 1.60, 1.80, 2.00, 2.20 and 2.40 mm

1

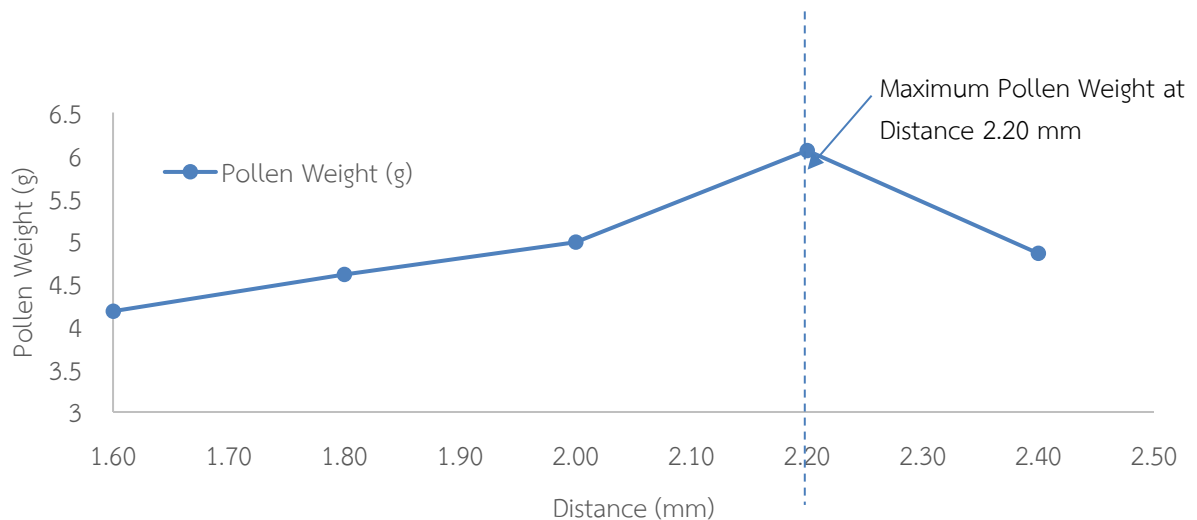


2

3

4 Figure 7 Capable of shelling at distances of 1.60, 1.80, 2.00, 2.20 and 2.40 mm

5



6

7 Figure 8 Pollen weight at distances of 1.60, 1.80, 2.00, 2.20 and 2.40 mm

1

3.2 ผลการทดสอบเครื่องกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าว

Table 1 Results of testing the male coconut flower shelling machine

spacing (mm)	Average (%)		Appearance
	broken	unbroken	
1.60	100.00	0.00	Pollen released
1.80	99.20	0.80	No pollen released
2.00	99.80	0.20	No pollen released
2.20	93.20	6.80	No pollen released
2.40	81.20	18.80	No pollen released

จาก Table 1 เมื่อทดสอบที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 1.60, 1.80, 2.00, 2.20 และ 2.40 mm พบว่า ที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 1.60 mm สามารถทำให้ดอกตัวผู้มะพร้าวแตกมากที่สุด คือ 100.00% แต่มีละอองเกสรติดออกมาด้วยขณะทำการกะเทาะ ร่องลงมา คือ ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.00 mm สามารถทำให้ดอกตัวผู้มะพร้าวแตก คือ 99.80% ส่วนที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 1.80, 2.20 และ 2.4 mm สามารถทำให้ดอกตัวผู้มะพร้าวแตก คือ 99.20%, 93.20% และ 81.20% ตามลำดับ โดยตรวจสอบด้วยสายตาไม่มีละอองเกสรติดออกมาด้วยขณะทำการกะเทาะ

Table 2 Testing a male coconut flower extraction machine to compare the weight of pollen obtained

Sample	spacing (mm)	Average (g)
1	1.60	4.18 b
2	1.80	4.61 b
3	2.00	4.99 b
4	2.20	6.06 a
5	2.40	4.85 b
6	* Chumphon Horticultural	4.99 b

* Note : Chumphon Horticultural Research Centre the weight of pollen obtained average 4.99 g

จาก Table 2 เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักเฉลี่ยของละอองเกสร พบว่าที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 1.60, 1.80, 2.00 และ 2.40 mm มีน้ำหนักเฉลี่ยของละอองเกสรไม่แตกต่างจากค่ามาตรฐาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) (กรมวิชาการเกษตร, 2565), (Gomez and

Gomez, 1984) ส่วนที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.20 mm มีน้ำหนักเฉลี่ยของละอองเกสรไม่เท่ากับค่ามาตรฐาน โดยน้ำหนักละอองเกสรที่ได้แตกต่างจากค่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) โดยค่ามาตรฐานได้มาจากน้ำหนักเฉลี่ยโดยเครื่องจักรเดิมของศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร พบว่ามีน้ำหนักเฉลี่ย 4.99 g

ทั้งนี้จาก Table 2 เมื่อทดสอบเก็บข้อมูลน้ำหนักละอองเกสรที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 1.60, 1.80, 2.00, 2.20 และ 2.40 mm พบว่า ได้น้ำหนักละอองเกสรที่ 4.18, 4.61, 4.99, 6.06 และ 4.85 g ตามลำดับ ดังนั้นที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.20 mm สามารถทำให้ได้น้ำหนักละอองเกสรมากที่สุด คือ น้ำหนักเฉลี่ย 6.06 g และที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.00 mm สามารถทำให้ได้น้ำหนักละอองเกสรมารองลงมา คือ น้ำหนักเฉลี่ย 4.99 g โดยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักละอองเกสรที่ได้จากการทดสอบโดยเครื่องจักรเดิมของศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร พบว่ามีน้ำหนักเฉลี่ย 4.99 g จากการทดสอบนี้จึงทำให้สรุปได้ว่าที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.20 mm สามารถทำให้ได้น้ำหนักละอองเกสรมากที่สุด

Table 3 The capability of the shelling machine

Sample	spacing (mm)	Capacity (kg/hr)
1	1.60	40.84
2	1.80	63.76
3	2.00	106.85
4	2.20	120.62
5	2.40	61.10
6	* Chumphon Horticultural	50.32

จาก Table 3 เมื่อทดสอบเก็บข้อมูลความสามารถในการกะเทาะที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 1.60, 1.80, 2.00, 2.20 และ 2.40 mm พบว่า ได้ความสามารถในการกะเทาะที่ 40.84, 63.76, 106.85, 120.62 และ 61.10 kg/hr ตามลำดับ ดังนั้นที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.20 mm สามารถทำให้ได้ความสามารถในการกะเทาะมากที่สุด คือ 120.62 kg/hr และที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.00 mm สามารถทำให้ได้ความสามารถในการกะเทาะมารองลงมา คือ 106.85 kg/hr โดยเมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการกะเทาะที่ได้จากการทดสอบโดยเครื่องจักรเดิมของศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร พบว่ามีความสามารถในการกะเทาะ 50.32 kg/hr ทั้งนี้ที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.40 mm มีความสามารถในการกะเทาะ 61.10 kg/hr ลดลงเมื่อเทียบกับที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.20 mm สาเหตุเนื่องมาจากการป้อนตัวอย่าง (ผ่านลูกยางกะเทาะชุดที่ 1 : ก และ ข) เมื่อระยะห่างมากเกินไปทำ

ให้ตัวอย่างไปอัดแน่นอยู่ที่ (ลูกยางกะเทาะชุดที่ 2 : ข และ ค) มากเกินไปจึงทำให้กะเทาะได้ช้าลง จึงทำให้สรุปได้ว่าที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.20 mm นั้นมีความสามารถในการกะเทาะมากที่สุด

Table 4 Percentage of pollen viability and germination

spacing (mm)	** Pollen viability percentage (%)	*** Pollen germination percentage (%)
1.60	77.39	68.12
1.80	82.59	71.63
2.00	83.82	76.21
2.20	81.54	70.08
2.40	84.80	72.96
* Chumphon Horticultural	86.22	75.39

Note ** Pollen viability percentage (%) คือ เปอร์เซนต์ความมีชีวิตของละอองเกสร และ

*** Pollen germination percentage (%) คือ ความงอกของละอองเกสร

การทดสอบประสิทธิภาพของละอองเกสร ก่อนนำละอองเกสรไปผสมพันธุ์ 1) ทดสอบความมีชีวิต ของละอองเกสรด้วยการย้อม acetocarmine หรือ triphenyl tetrazolium chloride นำละอองเกสรเกลี่ยบนกระจกสไลด์ หยดสีย้อม 1-2 หยด ทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาที และ 2) ทดสอบความงอกของละอองเกสร โดยนำละอองเกสรเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งประกอบด้วย $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 0.3 \text{ g/L}$ $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 0.2 \text{ g/L}$ $\text{H}_3\text{BO}_3 = 0.1 \text{ g/L}$ $\text{KNO}_3 = 0.1 \text{ g/L}$ และน้ำตาล 150 g/L เป็นระยะเวลา 1 hr ณ อุณหภูมิห้อง 25 °C หลังจากนั้นนำละอองเกสรสุ่มตรวจนับภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยความมีชีวิตต้องไม่ต่ำกว่า 80% และความงอกต้องไม่ต่ำกว่า 35% หากละอองเกสรมีความมีชีวิต และความงอกต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดจะไม่นำละอองเกสรชุดนั้นไปผลิตพันธุ์ (หยกทิพย์ และคณะ, 2562)

Figure 9 แสดงตัวอย่างการทดสอบประสิทธิภาพของละอองเกสรมะพร้าว (a) ละอองเกสรที่มีชีวิตจะย้อมติดสีแดงสด (b) ละอองเกสรที่แข็งแรงจะงอกเป็นหลอด (pollen tube) ซึ่งมีความยาวมากกว่า 1 เท่าของขนาดละอองเกสร (pollen grain) หากมีค่าเปอร์เซนต์ความมีชีวิตของละอองเกสร และ ค่าเปอร์เซนต์ความงอก ตามเกณฑ์ที่กำหนดซึ่ง

หมายถึงการเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการผสมเกสรเพื่อการขยายพันธุ์มะพร้าวในลำดับต่อไป

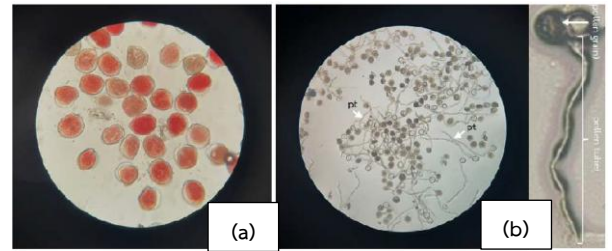


Figure 9 Testing the effectiveness of coconut pollen
(a) Living pollen grains stain bright red
(b) Strong pollen grains will germinate into pollen tubes (pollen tube) Its length is more than one times the size of the pollen grain (pollen grain)
ที่มา : หยกทิพย์ และคณะ (2562)

อัตราการผลิตของเกสรตัวผู้มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีการ ดังนี้

1) ทดสอบความมีชีวิตของละอองเกสรมะพร้าว โดยวิธี Tetrazolium test โดยใช้สารละลาย Triphenyl Tetrazolium Chloride (TTC) โดยมีส่วนผสมของ น้ำตาลซูโครส 15 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร และ TTC 0.05 กรัม ตามสูตรของ (Kearns and Inouye, 1993) เพื่อหาเปอร์เซนต์ความมีชีวิตของละอองเกสรมะพร้าว นับละอองเกสรที่ติดสีและไม่ติดสีของ tetrazolium ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า สุ่มตรวจนับจำนวน 4 บริเวณ (microscopic field) ต่อ 1 สไลด์ เพื่อหาค่าเฉลี่ยความมีชีวิตของละอองเกสรละอองเกสรที่มีชีวิตจะติดสีแดงอมชมพู ส่วนละอองเกสรที่ไม่มีชีวิตจะไม่ติดสี Figure 10 จากนั้นคำนวณเป็นเปอร์เซนต์ความมีชีวิตของละอองเกสร

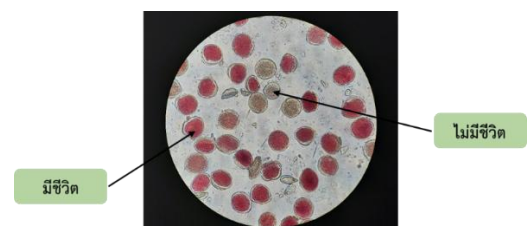


Figure 10 Counting the viability of pollen grains
ที่มา : หยกทิพย์ และคณะ (2562)

2) ทดสอบการงอกของละอองเกสร โดยวิธี Hanging drop ใช้อาหารเพาะเลี้ยงละอองเกสร ซึ่งมีส่วนผสมของน้ำตาลซูโครส 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) H_3BO_3 100 มิลลิลิตรต่อลิตร $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 300 มิลลิลิตรต่อลิตร $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 200 มิลลิลิตรต่อลิตร และ KNO_3 100 มิลลิลิตรต่อลิตร ตามสูตรของ (Brewbaker and Kwack, 1963) แล้วจึง

นับจำนวนละอองเกสรที่ออก และไม่ออก ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า สุ่มตรวจนับจำนวน 4 บริเวณ ต่อ 1 จานเพาะเชื้อ เพื่อหาค่าเฉลี่ยการงอกของละอองเกสร ละอองเกสรที่งอกปกติจะต้องมีลักษณะของหลอดละอองเกสรสมบูรณ์ มีเมมเบรนหุ้มโดยรอบ ความยาวของหลอดละอองเกสรจะต้องมากกว่า หรือเท่ากับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของละอองเกสร ที่ทำการนับ Figure 11 จากนั้นคิดเปรียบเทียบความงอกของละอองเกสรที่นับได้เป็นเปอร์เซ็นต์

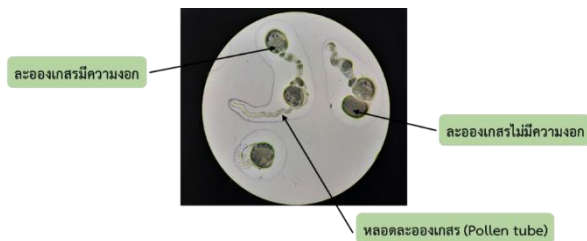


Figure 11 Counting pollen germination rates
ที่มา : หยกทิพย์ และคณะ (2562)

จาก Table 4 เมื่อทดสอบเก็บข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของละอองเกสรที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 1.60, 1.80, 2.00, 2.20 และ 2.40 mm พบว่า ได้เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเกสร ที่ 77.39, 82.59, 83.82, 81.54 และ 84.80% ตามลำดับ ดังนั้นที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.40 mm สามารถทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเกสรมากที่สุด คือ 84.80% และที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.00 mm สามารถทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเกสรมากรองลงมา คือ 83.82% โดยเมื่อเปรียบเทียบกับกับละอองเกสรที่ได้จากการทดสอบโดยเครื่องจักรเดิมของศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเกสร 86.22% จึงทำให้สรุปได้ว่าที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.40 mm สามารถทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเกสรมากที่สุด

ทั้งนี้จาก Table 4 เมื่อทดสอบเก็บข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของละอองเกสรที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 1.60, 1.80, 2.00, 2.20 และ 2.40 mm พบว่า ได้เปอร์เซ็นต์ความงอกของละอองเกสร ที่ 68.12, 71.63, 76.21, 70.08 และ 72.96% ตามลำดับ ดังนั้นที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.00 mm สามารถทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ความงอกของละอองเกสรมากที่สุด คือ 76.21% และที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.40 mm สามารถทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ความงอกของละอองเกสรมากรองลงมา คือ 72.96% โดยเมื่อเปรียบเทียบกับกับละอองเกสรที่ได้จากการทดสอบโดยเครื่องจักรเดิมของศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความงอกของละอองเกสร คือ 75.39% จึงทำให้สรุปได้ว่าที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.00 mm สามารถทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ความงอกของละอองเกสร

มากที่สุด โดยสรุปแล้วผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทั้ง 2 ค่า คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเกสร ต้องไม่ต่ำกว่า 80% และ ค่าเปอร์เซ็นต์ความงอกต้องไม่ต่ำกว่า 35% (หยกทิพย์ และคณะ, 2562)

4 สรุป

จากการทดสอบกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าว สำหรับมะพร้าว น้ำหอมพันธุ์มลายูสีเหลืองต้นเตี้ยนี้ จึงทำให้สรุปได้ว่าที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 2.20 mm สามารถทำให้ได้น้ำหนักเฉลี่ยของละอองเกสรมากที่สุด เท่ากับ 6.06 g เปอร์เซ็นต์ของกลีบดอกแตก เท่ากับ 93.20% และ ความสามารถในการทำงาน เท่ากับ 120.62 kg/hr การใช้ลูกยางกะเทาะเมื่อถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการกะเทาะดอกตัวผู้มะพร้าว พบว่ามีประสิทธิภาพสำหรับการกะเทาะให้ดอกตัวผู้มะพร้าวแตกได้ดี ทั้งนี้ระยะการกะเทาะที่เหมาะสมควรพิจารณาทั้งในเรื่องของน้ำหนักเฉลี่ยของละอองเกสรมะพร้าวที่ได้ และไม่มีการตกค้างของละอองเกสรมะพร้าวที่เครื่องกะเทาะอีกด้วย ทั้งนี้เพื่อลดการสูญเสียละอองเกสรมะพร้าวระหว่างการใช้งานเครื่องกะเทาะ อีกทั้งควรพิจารณาละอองเกสรที่ได้ว่ามีอัตราความมีชีวิต และการงอกที่อยู่ในเกณฑ์อีกด้วย

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กรมวิชาการเกษตร ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบ ขอขอบคุณ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมสุราษฎร์ธานี เจ้าหน้าที่ข้าราชการ และบุคลากรในหน่วยงานที่ช่วยเตรียมตัวอย่างในงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ตำบลวิสัยใต้ อำเภอสวี จังหวัดชุมพร และ สวนผลิตพันธุ์ลูกผสมคันธุลี ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ตำบลคันธุลี อำเภอนาทม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่สนับสนุนสถานที่ทำวิจัย และให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างในการทำวิจัย

6 เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2565. ตัวอย่างการนำเสนอผลการทดลอง. กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติงานวิจัยเกษตร กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร. 62 หน้า.
จตุรภัทร วาฤทธิ์. 2558. สมบัติทางกายภาพของผลผลิตเกษตรและอาหาร. สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 201 หน้า.
สมชาย วัฒนโยธิน, ปิยนุช นาคะ, ทิพย์ ไกรทอง, ปริญดา หุรณหิม, ผานิต งานกรณธิกร, อัมพร วิโนทัย, พิชรีวรรณ มณีสาคร, รจนา ไวยเจริญ, ยุพิน กลิ่นเกษมพงษ์, สุภาพร ชุมพงษ์, ประภาพร ฉันทานุมิต, วีรา คล้ายพุก

และหยกทิพย์ สุดารีย์. 2555. มะพร้าว การผลิตและการใช้ประโยชน์. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 105 หน้า.

หยกทิพย์ สุดารีย์, ปริญดา หรุณหิม, ทิพย์ ไกรทอง และดารากร เผ่าชู. 2562. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และการผลิตพันธุ์: การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิต มะพร้าวน้ำหอม. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์การันตี นนทบุรี. หน้า. 15-24.

Brewbaker, J.L. and Kwack, B.H. 1963. The Essential Role of Calcium Ion in Pollen Germination and Pollen Tube Growth. American Journal of Botany, 50, 859-865.

Gomez and Gomez. 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. John Wiley & Sons, Inc., Canada. 680 p.

Kearns, C.A. and Inouye, D.W. 1993. Techniques for Pollination Biologists. University Press of Colorado, Niwot.



การทดสอบเครื่องคัดแยกเมล็ดโกโก้แห้งแบบตะแกรงสั่น

Testing of Vibration Motor Sorter for Dry Cocoa

พัชกรวิภา สุทธิวาริ^{1*}, ณัชพล มนต์ชัยวนะกิจ¹, กิตติศักดิ์ กิติรัตน์², วรวิทย์ ไชยโส¹, ศราวิณ จันทโชติ¹

Phakwipha Sutthiwaree^{1*}, Natchapol Monchaivanakit¹, Kittisak Kitirat², Worawit Chaiso¹, Sarawin Chantachot¹

¹ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี, จังหวัดจันทบุรี, 22000

¹Chantaburi Agricultural Engineering Research Center, Chantaburi province, 22000

²ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่, 50100

²Chiang Mai Agricultural Engineering Research Center, Chiang Mai province, 50100

*Corresponding author: Tel: +66-9-8826-0122, E-mail: s.pakwipa18@gmail.com

บทคัดย่อ

ขนาดเมล็ดโกโก้เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการแปรรูป ปัจจุบันการคัดแยกเมล็ดด้วยแรงงานคนประสบปัญหาด้านผลผลิตภาพ ใช้เวลาและแรงงานมาก ทำให้มีความสามารถในการคัดแยกเพียง 1.25-7.5 kgh⁻¹ จากผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่า เครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงสั่นช่วยเพิ่มความสามารถและประสิทธิภาพการคัดแยกได้ ที่มุมเอียง 6.6° มอเตอร์สั่น 0.35 A 220 V ปรับค่าความถี่ 40-60 Hz จึงออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้แห้งแบบตะแกรงสั่น ขนาด 0.63 x 1.5 x 1.09 m ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์สั่น 3000 rpm 0.18 kW 220 V 0.6 A จำนวน 2 ชุด ติดตั้งได้ตะแกรงคัดขนาด Ø 13 mm และ Ø 10 mm ร่วมกับชุดแยกสิ่งเจือปนและเมล็ดลิบด้วยพัดลมแบบ centrifugal 750 W 220V 50 Hz อัตราการไหลของลม 1200 m³h⁻¹ ความเร็วรอบ 2800 rpm ทดสอบคัดขนาดเมล็ดโกโก้ที่ระดับความถี่ 40, 45 และ 50 Hz จำนวนความถี่ละ 3 ซ้ำ พบว่า ความถี่ที่เหมาะสม คือ 45 Hz ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 168 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการคัดแยก 98% เปอร์เซ็นต์เมล็ดปน 2% สามารถคัดแยกเมล็ดโกโก้เป็น 3 ขนาด คือ เมล็ดขนาดใหญ่ (30.3%) มีความกว้าง ความยาว และความหนาเฉลี่ย 13.43, 20.34 และ 8.91 mm ตามลำดับ เมล็ดขนาดกลาง (67.7%) 12.90, 20.90 และ 7.97 mm ตามลำดับ และเมล็ดขนาดเล็ก (2%) 9.03, 15.94 และ 6.12 mm ตามลำดับ

คำสำคัญ: เครื่องคัดขนาด, โกโก้, มอเตอร์สั่น

Abstract

Cocoa bean size is a critical factor that influences processing efficiency. Manual sizing relies on skilled labor, which suffers from low productivity while remaining time-consuming and labor-intensive. The manual sorting capacity only 1.25 to 7.5 kgh⁻¹. Sizing machines can enhance both sorting capacity and efficiency. Preliminary studies indicated that a vibrating screen sizing machine with a 6.6° screen inclination, powered by a 0.35 A, 220 V vibrator motor with an adjustable frequency of 40–60 Hz, achieved good efficiency. The sorter with vibrating screen prototype was developed. Size of prototype is 0.63 x 1.5 x 1.09 m. It is equipped with two sets of 3,000 rpm, 0.18 kW, 220 V, 0.6 A vibrator motors installed beneath sizing screens with 13 mm and 10 mm apertures. Impurities and flat beans are separated using a 750 W, 220 V, 50 Hz centrifugal fan with an airflow rate of 1,200 m³h⁻¹ and a rotational speed of 2,800 rpm. The experiment to define the optimize frequency was conducted by 3 repetitions each 40, 45 and 50 Hz. The results showed that the optimal frequency was 45 Hz. This setup delivered an average operating capacity of 168 kgh⁻¹, a sorting efficiency of 98%, and a bean contamination rate of 2%. The prototype effectively classified the cocoa beans into three sizes: large (30.3%), medium (67.7%), and small (2.0%). The corresponding mean physical dimensions (width x length x thickness) were 13.43 x 20.34 x 8.91 mm, 12.90 x 20.90 x 7.97 mm, and 9.03 x 15.94 x 6.12 mm, respectively.

Keywords: Sorter, Cocoa, Vibration Motor

1 บทนำ

โกโก้เป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม อาหาร และเวชภัณฑ์เครื่องสำอางค์ การแข่งขันในตลาดมีความสำคัญทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ ตลาดเมล็ดโกโก้มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง คาดการณ์ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 4.8% ต่อปี โดยเฉพาะในเขตภูมิภาคเอเชียมีการเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ มูลค่าการส่งออกโกโก้และผลิตภัณฑ์มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ในปี 2568 มูลค่าส่งออกเมล็ดโกโก้มากกว่า 99 ล้านบาท มูลค่าส่งออกช็อกโกแลต กว่า 4,000 ล้านบาท มีผู้ประกอบการรายใหม่เพิ่มขึ้นกว่า 44% (กระทรวงพาณิชย์, 2568) ในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อผลิตเมล็ดโกโก้แห้งเพื่อการส่งออก หรือเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปนั้น เกษตรกรหรือกลุ่มเกษตรกรยังขาดแคลนเครื่องมือที่เหมาะสม โดยเฉพาะในขั้นตอนการหลังการหมัก และตากแห้ง ต้องคัดขนาดเพื่อแบ่งเกรดเมล็ดตามมาตรฐาน การคัดขนาดผลผลิตทางการเกษตรมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการคัดขนาดคือ ขนาดรูตะแกรง มุมและความเร็วในการหมุนที่เหมาะสม มีการศึกษาปัจจัยดังกล่าวในเครื่องคัดแยกข้าวสาร มุม 2° ความเร็วรอบในการหมุน 15 rpm ประสิทธิภาพการคัดแยก 94% เมื่อคัดแยกข้าวสารเหนียว 95.5% เมื่อคัดแยกข้าวสารหอมมะลิ (กันญาและคณะ, 2025) ในการคัดแยกเมล็ดกาแฟ มุม 16° ความเร็วรอบ 91.07 rpm (Ansar, et al., 2021) ความถี่ในการสั่นที่เหมาะสม จะช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบแบบเรียงตัว การคัดขนาดจะมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ การเลือกขนาดรูตะแกรงสำหรับเมล็ดที่มีลักษณะทรงกลม ทรงรียาว มีการใช้ตะแกรงรูวงรียาว และตะแกรงรูกกลมสำหรับคัดวัสดุที่แตกต่างกัน ในการศึกษาเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนในเมล็ดพันธุ์ข้าว (ทิพลาและคณะ, 2567) ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีความสำคัญต่อการพัฒนาเครื่องคัดเมล็ดโกโก้แห้ง ที่ปัจจุบันใช้แรงงานและเวลามากในการคัดแยกเกรดคุณภาพเมล็ด การคัดแยกด้วยแรงงานคนยังมีความสามารถในการทำงานต่ำ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าระบบตะแกรงสั่นช่วยในการกระจายตัวและการเคลื่อนที่ของเมล็ด ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและผลผลิตภาพของการคัดขนาดได้ดี จึงเห็นว่าการวิจัยและพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้แห้งโดยใช้ระบบมอเตอร์สั่น เพื่อศึกษาความถี่ที่เหมาะสม เป็นการพัฒนาเครื่องมือที่เป็นส่วนหนึ่งสำหรับการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ที่ช่วยเพิ่มความสามารถ ประสิทธิภาพคัดขนาดเมล็ดโกโก้แห้ง และเพิ่มมูลค่าให้กับเมล็ดโกโก้แห้งเมื่อแบ่งเกรดตามมาตรฐานการผลิตโกโก้

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ต้นแบบเครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้แบบใช้มอเตอร์สั่น

เครื่องต้นแบบขนาด กว้าง 0.63 m ยาว 1.50 m สูง 1.07 m ถึงบรรจุ 20 kg ใช้ต้นกำลังมอเตอร์เขย้าขนาด 3000 rpm 220

V ตะแกรงคัดแยกแบบรูกกลม สองชั้น ชั้นแรกตะแกรงรูกกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 mm และ ชั้นที่สอง ตะแกรงรูกกลมขนาด 10 mm พร้อมกล่องควบคุมแบบปรับความถี่ในการสั่นของตะแกรงได้ 0-50 Hz และทำความสะอาดคัดแยกด้วยพัดลมแบบใบตรงชนิด Centrifugal ขนาด 750 W 220V 50 Hz ความเร็วรอบ 2800 rpm ปริมาณการไหลของลม $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ ดัง Figure 1

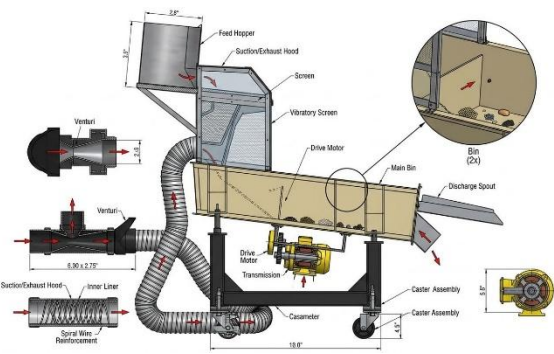


Figure 1 Prototype of dry cocoa sorting

2.2 ทดสอบเครื่องต้นแบบ ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาค่าความถี่ในการสั่นตะแกรงที่เหมาะสม 3 ระดับ คือ 40, 45 และ 50 Hz ทดสอบการทดลองละ 3 ซ้ำ โดยใช้เมล็ดโกโก้แห้ง การทดลองละ 10 kg เก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทำงาน สุ่มตัวอย่างเพื่อเก็บข้อมูลขนาด น้ำหนักของเมล็ดดี และเมล็ดลีบที่คัดได้ ในตำแหน่ง (1) เมล็ดลีบ (2) ขนาดใหญ่ (3) ขนาดกลาง (ถูกคัดโดยตะแกรง 1) (4) ขนาดเล็ก (ถูกคัดโดยตะแกรง 2) (5) ติดค้างที่ตะแกรง 1 (6) ติดค้างที่ตะแกรง 2 ดัง Figure 2 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการคัดขนาดของเครื่องต้นแบบ



Figure 2 Position for data collecting

2.3 ทดสอบเปรียบเทียบการคัดแยกด้วยเครื่องต้นแบบและวิธีการคัดด้วยสายตาของแรงงานผู้ชำนาญการคัดแยก ทดสอบเก็บข้อมูล โดยใช้เมล็ดโกโก้แห้งจำนวน 10 kg จำนวน 3 ซ้ำ เพื่อวิเคราะห์ความสามารถและประสิทธิภาพในการทำงาน

2.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ ในการวิเคราะห์ขนาดเมล็ดโกโก้แห้ง อ้างอิงตามมาตรฐาน มกษ. 5708-2566 (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2566) ที่ให้นิยาม เมล็ดลีบ (flat bean) คือ เมล็ดโกโก้ที่มีลักษณะบางมาก เมื่อผ่าตามยาวจะไม่เห็นเนื้อในเมล็ด และกำหนดขนาดเมล็ดโกโก้ด้วยจำนวนเมล็ดโกโก้ทั้งหมดต่อน้ำหนักเมล็ด 100 g ดัง Table 1 และวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

2.4.1 วิเคราะห์ค่า Bean Count จากสมการ (1)

$$n_{\text{Bean}} = \frac{n_{\text{whole}}}{m_{\text{whole}}} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ n_{Bean} = Bean count (seed)

n_{whole} = จำนวนเมล็ดโกโก้ทั้งหมด (seed)

m_{whole} = น้ำหนักเมล็ดโกโก้ทั้งหมด (g)

Table 1 Dried cocoa bean size category

Category	Cocoa bean 100 g
	Number of cocoa beans
1	<100
2	100-110
3	111-120
4	>120

2.4.2 วิเคราะห์ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric Mean Diameter, dg) เนื่องจากเมล็ดโกโก้มีรูปร่างไม่เป็นทรงกลม จึงใช้ความกว้าง(w) ยาว(l) และหนา(t) มาใช้ในการวิเคราะห์ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, มปป.) จากสมการ (2)

$$dg = \sqrt[3]{w \times l \times t} \quad (2)$$

เมื่อ dg = เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (mm)

w = ความกว้างเมล็ดโกโก้ (mm)

l = ความยาวเมล็ดโกโก้ (mm)

t = ความหนาเมล็ดโกโก้ (mm)

2.4.3 วิเคราะห์ค่า ความสามารถในการทำงาน จาก สมการ (3)

$$WC = \frac{W}{T} \times 60 \quad (3)$$

เมื่อ WC = ความสามารถในการทำงาน (kg h^{-1})

W = น้ำหนักเมล็ดโกโก้ (kg)

T = เวลาในการทำงาน (min)

2.4.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการคัดแยก (Sorting Efficiency) จากสมการ (4)

$$\text{Sorting Efficiency} = \frac{w_2}{w_1} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ w_1 = น้ำหนักเมล็ดโกโก้ก่อนคัดขนาด (kg)

w_2 = น้ำหนักเมล็ดโกโก้ที่คัดได้ (kg)

การวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยสถิติเชิงพรรณนา

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ

เครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้แบบตะแกรงสั่น ทดสอบคัดเมล็ดโกโก้แห้ง ครั้งละ 10 kg ที่ความถี่ในการสั่นตะแกรง 3 ระดับ คือ 40, 45 และ 50 Hz พบว่า ที่ความถี่ 45 Hz มีความสามารถในการทำงานดีที่สุด คือ 183 kg h^{-1} ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ 40 Hz แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ 50 Hz ซึ่งการทดสอบคัดขนาดเมล็ดที่ความถี่ 50 Hz นี้ มีการเคลื่อนที่ของเมล็ดเร็วขึ้น ทำให้เมล็ดกองตัวซ้อนกัน จึงมีเมล็ดที่ไม่ถูกคัดมากกว่าที่ความถี่ 45 Hz แต่เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 3 ระดับความถี่ โดยที่ความถี่ 45 Hz มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเมล็ดที่ต่ำที่สุด คือ 37% ดัง Table 2 เครื่องต้นแบบสามารถคัดขนาดเมล็ดโกโก้แห้งได้ 3 ขนาด คือ 1) ขนาดใหญ่ เมล็ดมีเส้นผ่าศูนย์กลางเชิงเรขาคณิต 13.11-14.34 mm หรือมีขนาดกว้าง 11.95-13.43 mm ยาว 19.53-21.89 mm หนา 7.85-8.91 mm 2) ขนาดกลาง เมล็ดมีเส้นผ่าศูนย์กลางเชิงเรขาคณิต 11.91-12.68 mm หรือ มีขนาดกว้าง 10.81-11.58 mm ยาว 17.71-19.44 mm หนา 6.74-7.45 mm 3) ขนาดเล็ก เมล็ดมีเส้นผ่าศูนย์กลางเชิงเรขาคณิต 10.36-10.69 mm หรือ มีขนาดกว้าง 9.01-9.28 mm ยาว 15.94-16.71 mm หนา 6.12-6.36 mm ดัง Figure 3 จะเห็นได้ว่าในทุกระดับความถี่เครื่องต้นแบบสามารถแยกเมล็ดโกโก้ให้ได้ขนาดที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน และขนาดเมล็ดโกโก้มีการกระจายตัวในขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก ในแต่ละระดับความถี่ ที่สม่ำเสมอ ทั้งในขนาดกว้าง ยาว และ หนา ดัง Figure 4 ลักษณะและขนาดของเมล็ดโกโก้ที่คัดได้แสดงดัง Figure 5 และ Bean count สำหรับขนาดใหญ่ 93 seed สำหรับขนาดกลาง 131 seed และสำหรับขนาดเล็ก 140 seed

Table 2 Result of the optimized sorter frequency

Category	Cocoa sorter frequency		
	40 Hz	45Hz	50 Hz
Work capacity(kgh ⁻¹)	98±2 ^b	183±2.65 ^a	175 ±12.66 ^a
Good bean loss (%)	48 ±0.58 ^a	37 ±0.58 ^c	39 ±1 ^b

Remarks:

1.Values are presented as Mean ± Standard Deviation (SD).

2.Means within the same row followed by different superscript letters are significantly different () according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

3.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบ การคัดขนาดด้วยเครื่องต้นแบบ และการคัดด้วยสายตาของผู้ชำนาญการคัดขนาดเมล็ดโกโก้ (วิธีดั้งเดิมของเกษตรกร) พบว่า เครื่องคัดขนาดฯ สามารถทำงานได้เร็วกว่าการคัดด้วยวิธีดั้งเดิม 20 เท่า และมีประสิทธิภาพในการคัด สูงกว่า 6 % โดยขนาดเมล็ดที่ดีที่คัดได้ มีขนาดไม่แตกต่างกัน ดัง Table 3

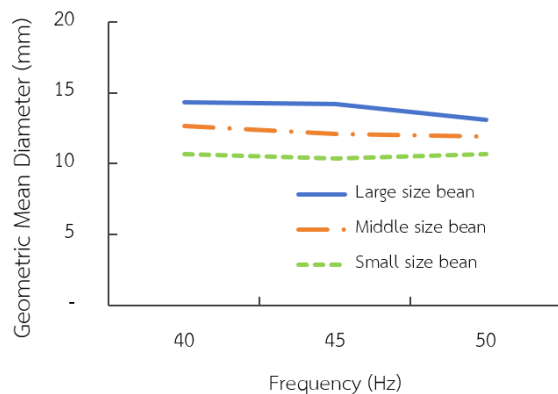


Figure 3 Geometric Mean Diameter in different frequency

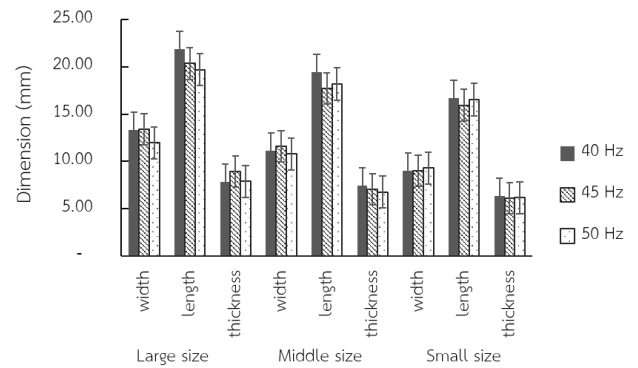


Figure 4 Cocoa bean size sorting by prototype in difference frequency



(a) large size (b) middle size (c) small size

Figure 5 Cocoa bean category by vibration sorter

3.3 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงาน เครื่องต้นแบบใช้พลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนมอเตอร์สัน ขนาด 0.18 kW จำนวน 2 ชุด และพัดลม ขนาด 0.75 kW จำนวน 1 ชุด รวมกำลังไฟฟ้าทั้งหมด 1.11 kW การใช้งานต่อเนื่อง 8 hrday⁻¹ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เป็น 8.88 unit อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (รวมค่า Ft) 3.95 THB unit⁻¹ รวมค่าไฟฟ้า 37.53 THB day⁻¹ สามารถคัดแยกเมล็ดโกโก้ได้ 1,344 kg day⁻¹ หรือมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) 23.79 kJkg⁻¹

Table 3 Result of comparative test between prototype and manual sorting

Test	Work capacity (kg h ⁻¹)	Sorting efficiency (%)	Good Bean size average (mm)		
			width	length	thickness
Prototype	168	98	13.4	23.3	7.6
Manual	8.5	92	12.8	21.5	7.1

4 สรุป

เครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้ขนาด กว้าง 0.63 m ยาว 1.50 m สูง 1.07 m ถึงบรรจุ 20 kg ใช้ต้นกำลังมอเตอร์เขี่ยขนาด 0.18 kW 3000 rpm จำนวน 2 ชุด และพัดลมแบบใบตรงชนิด Centrifugal 0.75 kW ตะแกรงขนาด $\varnothing$ 10 และ 13 mm ที่พัฒนาขึ้น ช่วยเพิ่มความสามารถและประสิทธิภาพการคัดขนาดเมล็ดโกโก้ในการใช้งานระดับเกษตรกร หรือ วิสาหกิจชุมชน เครื่องคัดขนาด 1 เครื่อง สามารถทดแทนแรงงานจำนวน 20 ราย ในการคัดขนาดเมล็ดโกโก้ จากทดสอบแสดงความถี่ที่เหมาะสมกับการคัดขนาด ที่ระดับ 45 Hz ที่ความสามารถในการทำงาน 168 kg h^{-1} และประสิทธิภาพการคัดขนาด 98% มีค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) 23.79 kJ kg^{-1}

ซึ่งมีนัยสำคัญสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องคัดขนาดเมล็ดโกโก้ระดับอุตสาหกรรมต่อไปได้ โดยเพิ่มความสามารถในการผลิต จากการเพิ่มอัตราการป้อน (feeding rate) ขยายขนาดเครื่อง รวมทั้งเพิ่มระบบการป้อนเมล็ดแบบอัตโนมัติ เพื่อรองรับการผลิตระดับอุตสาหกรรม สนับสนุนการจัดการโกโก้หลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเป็นวัตถุดิบเมล็ดโกโก้แห้งทั้งเพื่อการส่งออกและใช้ในประเทศ

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย

6 เอกสารอ้างอิง

Ansar, Sukmawaty, Murad, Surya, M. A., Riyan, P. H., & Abdurrahim. 2021. Design and performance test of the coffee bean classifier. *Processes*, 1-11.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2566. *ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร เมล็ดโกโก้ ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2551 (Vol. 140)*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กระทรวงพาณิชย์. 2568. *โกโก้ไทยเติบโตไกลด้วยคุณภาพ*. Retrieved from บ ท วิ เ ค ร าะ ห์ ธ ร ก ิจ : <https://www.dbd.go.th/data-storage/attachment/ddf54262e67b3ee6e09845bc.pdf>

โกสมมุฏ์ กันญา, แก้วอาจ ศิวดล, นวนไชย สิทธิโชค, และ สุขแก้ว ภูวนัย. 2025. การพัฒนาเครื่องคัดแยกข้าวสารแบบหมุนเหวี่ยง. *RMUTP Research Journal Science and Technology*, 2(19), 165-173.

ภูมามลา ทิพลดา, บัวปروه ทรงเศก, ฉายอรุณ ธงชัย, เพิกอาภรณ์ สยามรัฐ, และ เกตุแก้ว เฉลียว. 2567. เครื่องคัดแยก

สิ่งเจือปนในเมล็ดพันธุ์ข้าว. *Industrial Technology Journal*, 164-172.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. มปป. *บทที่ 2 ตรวจเอกสาร งาขี้ม่อน*. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.



บทคัดย่อ

ภาคบรรยาย



การพัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจวัดคุณภาพข้าวเปลือกระหว่างการเก็บรักษา Development of a Electronic Nose System for Quality Monitoring during Storage

ณัฐวุฒิ เนียมสอน¹, ปัญจกุล พงษ์พานิช^{1*}, วิบูลย์ ช่างเรือ¹, ดามร บัณทุรัตน์¹, พงษ์ประพันธ์ กันทะแก้ว²
Natawut Neamsorn¹, Punjakul Phongparnich^{1*}, Viboon Changrue¹, Damorn Bunturat¹, Phongprapan Kantakaew²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่, 50200

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²สาขาการออกแบบอุตสาหกรรม, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่, 50200

²Department of Industrial Design, Faculty of Architecture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: E-mail: Punjakul.phongparnich@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายได้ มีความเหมาะสมต่อการปฏิบัติงานในสถานที่เก็บรักษาข้าวเปลือก โดยตัวเครื่องได้รับการติดตั้งระบบพลังงานสำรองและระบบสื่อสารแบบไร้สายเพื่อรองรับการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ใช้เซ็นเซอร์ก๊าซจำนวน 8 ตัว ร่วมกับอุปกรณ์ DAQ ในการบันทึกสัญญาณทางไฟฟ้าควบคู่กับค่าสภาพแวดล้อมภายนอก จากการทดสอบการทำงานเบื้องต้นในห้องจำลองสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 °C โดยใช้ตัวอย่างในการทดสอบเป็นข้าวเปลือกพันธุ์ กข. แม่โจ้ 2 ที่ถูกแมลงทำลายและข้าวปกติ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อระดับการตอบสนองของเซ็นเซอร์ก๊าซทั้ง 8 ตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($\alpha = 0.05$) เพิ่มขึ้น อุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างสมการทำนาย ซึ่งสมการทำนายที่สร้างขึ้นสามารถจำแนกความแตกต่างของกลิ่นข้าวเปลือกปกติและข้าวเปลือกที่ถูกแมลงทำลายได้โดยมีค่า $R^2 = 0.77$ และ $RMSE = 0.24$

คำสำคัญ: จมูกอิเล็กทรอนิกส์, ข้าวเปลือก, คุณภาพ, เซ็นเซอร์ก๊าซ, อุณหภูมิ, การตรวจจebakลิ้น

Abstract

This study presents the development of a portable electronic nose (e-nose) system designed for field deployment in paddy storage facilities. The instrument incorporates a backup power supply and wireless communication to support continuous measurement and data logging. The e-nose integrates eight gas sensors with a data acquisition (DAQ) unit to record sensor responses concurrently with ambient environmental parameters.

Preliminary performance evaluation was conducted in a controlled environmental chamber at 30, 40, and 50 °C, using husked glutinous rice (*Oryza sativa* L.) cv. RD-Maejo 2 samples representing undamaged paddy and insect-infested paddy. Analysis of variance revealed that temperature exerted a statistically significant effect on the response of all eight gas sensors ($\alpha = 0.05$), with sensor output increasing at higher temperatures. Accordingly, temperature was incorporated as a key predictor in the regression model. The resulting predictive model distinguished the odor profiles of undamaged and insect-damaged paddy, achieving a coefficient of determination (R^2) of 0.77 and a root mean square error (RMSE) of 0.24.

Keywords: Electronic nose; paddy rice; quality; gas sensors; temperature effect; odor detection



การติดตามการเปลี่ยนแปลงของก๊าซระเหยระหว่างการหมักเมล็ดโกโก้โดยใช้ระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์

Monitoring Changes in Volatile Gases during Cocoa Bean Fermentation Using an Electronic Nose System

ณัฐวุฒิ เนียมสอน¹, กิตติศักดิ์ กิติรัตน์^{2*}, วิบูลย์ ช่างเรือ¹, ตามร บันฑูรัตน์¹

Natawut Neamsorn¹, Kittisak Kitirat^{2*}, Viboon Changrue¹, Damorn Bunturat¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่, 50200

²สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่, 50200

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

²Division of Postharvest Technology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

*Corresponding author: E-mail: Kittisak_kit@cmu.ac.th

บทคัดย่อ

การหมักเมล็ดโกโก้เป็นกระบวนการสำคัญที่มีผลต่อการพัฒนาสารตั้งต้นของกลิ่นและรสในผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลต โดยการกำหนดเวลาที่เหมาะสมสำหรับการพลิกกลับกองหมักในปัจจุบันยังอาศัยประสบการณ์ของเกษตรกรเป็นหลัก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose) ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของก๊าซระเหย (Volatile Gases) ระหว่างกระบวนการหมักเมล็ดโกโก้ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำข้อมูลที่ได้ไปใช้พัฒนาแบบจำลองระยะเวลาที่เหมาะสมในการพลิกกลับกองหมัก โดยทำการหมักเมล็ดโกโก้สดปริมาณ 100 กิโลกรัม เป็นเวลา 7 วัน มีการพลิกกลับกองหมักในวันที่ 3 และ 5 เก็บตัวอย่างก๊าซภายในถังหมักวันละ 1 ครั้ง และตรวจวัดด้วยระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วยเซนเซอร์ก๊าซ 7 ตัว จากนั้นสกัดคุณลักษณะของสัญญาณ เพื่อนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของก๊าซในแต่ละระยะของการหมัก ผลการศึกษาพบว่าสัญญาณจากเซนเซอร์เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนตั้งแต่วันที่ 2 ของการหมัก และมีการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบสัญญาณอย่างเด่นชัดภายหลังการพลิกกลับกองหมัก สะท้อนให้เห็นว่าระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีศักยภาพในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของก๊าซระเหยระหว่างการหมักเมล็ดโกโก้ และข้อมูลคุณลักษณะของสัญญาณที่สกัดได้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาแบบจำลองระยะเวลาที่เหมาะสมในการพลิกกลับกองหมักในอนาคต

คำสำคัญ: จมูกอิเล็กทรอนิกส์, การหมักเมล็ดโกโก้, เซนเซอร์ก๊าซ

Abstract

Cocoa bean fermentation is a key process for developing flavor and aroma precursors in chocolate products. At present, the determination of the optimal turning time during fermentation primarily relies on farmers' experience. This study aimed to evaluate the potential of an Electronic Nose system for monitoring volatile gas changes during cocoa bean fermentation for the feasibility study of developing a model for determining the optimal turning time based on the obtained data. The experiment was conducted using 100 kg of fresh cocoa beans fermented for 7 days, with fermentation mass turning performed on Days 3 and 5. Gas samples were collected once daily from the fermentation chamber and analyzed using an Electronic Nose system equipped with seven gas sensors. Signal features were then extracted and analyzed to characterize gas changes throughout the different stages of fermentation. The results showed that the sensor signals began to change noticeably from Day 2 of fermentation, with distinct changes in response patterns observed after the turning events. These findings demonstrate the potential of the Electronic Nose system for monitoring fermentation and provide a basis for developing a model to determine the optimal turning time.

Keywords: Electronic Nose, Cocoa Bean Fermentation, Gas Sensor



การพัฒนาอุปกรณ์วัดอัตราการหายใจของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองแบบเรียลไทม์

Development of Real-Time Respiration Rate Measurement Device for Soybean Seeds

ณัฐวุฒิ เนียมสอน¹, พงษ์วี นามวงศ์^{2*}, วิบูลย์ ช่างเรือ¹, ดามร บัณฑูรัตน์¹

Natawut Neamsorn¹, Pongrawee Namwong^{2*}, Viboon Changrue¹, Damorn Bunturat¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่, 50200

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่, 50200

²Division of Postharvest Technology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

*Corresponding author: E-mail: pongrawee_n@cmu.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาอุปกรณ์วัดอัตราการหายใจของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองนี้มุ่งเน้นที่การออกแบบและปรับแต่งการทำงานของชุดอุปกรณ์วัดอัตราการหายใจแบบพลวัต เพื่อให้มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดในการเก็บข้อมูลอัตราการหายใจของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองภายใต้การควบคุมตัวแปรทางสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ ประกอบด้วย การเชื่อมต่อระบบเซนเซอร์ความละเอียดสูงเข้ากับวงจรแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งรวมถึงเซนเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดตอบสนองรวดเร็ว (K30-FR) การออกแบบภาชนะทดสอบขนาด 1,400 มิลลิลิตรควบคู่กับระบบควบคุมการไหลเวียนอากาศ ช่วยขจัดข้อจำกัดของระบบการวัดอัตราการหายใจแบบสถิตย์ ที่มักก่อให้เกิดสภาวะพร่องออกซิเจน ซึ่งบิดเบือนอัตราการเผาผลาญที่แท้จริงของเมล็ดพันธุ์ ข้อมูลเชิงพลวัตที่ได้จากการปรับปรุงอุปกรณ์ชุดนี้ จะถูกนำไปใช้เป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์หอนุกรมเวลา ผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์และสร้างสมการทำนายคุณภาพและระดับคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองได้อย่างแม่นยำล่วงหน้า โดยสอดคล้องกับมาตรฐานการทดสอบความแข็งแรงของสมาคมทดสอบเมล็ดพันธุ์นานาชาติ (ISTA)

คำสำคัญ: การหายใจ, ถั่วเหลือง, เมล็ดพันธุ์

Abstract

The development of this soybean seed respiration measurement device focuses on the design and optimization of a dynamic respirometer to achieve maximum suitability and efficiency in collecting soybean seed respiration rate data under real-time environmental control. The system integrates high-resolution sensors into a continuous airflow circuit, notably incorporating a fast-response carbon dioxide sensor (K30-FR). The design of a 1,400 ml testing chamber, coupled with an airflow control system, eliminates the limitations inherent in static systems, which frequently induce hypoxia and consequently distort the seeds' true metabolic rates. The dynamic data acquired from this optimized apparatus will serve as independent variables in a time-series analysis utilizing mathematical models. This approach aims to analyze the underlying relationships and construct predictive equations to accurately forecast soybean seed quality and vigor levels in advance, in strict accordance with the vigor testing standards of the International Seed Testing Association (ISTA)

Keywords: Respiration, Soybean, Seed

Scientific Committee

- | | |
|--|--|
| 1. Prof. Dr. Sakamon Devahastin | King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand |
| 2. Prof. Dr. Anupun Terdwongworakul | Kasetsart University, Thailand |
| 3. Prof. Dr. Panmanas Sirisomboon | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 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. Prof. Dr. Chang, Yaw-Nan (Nelson) | National Formosa University, Taiwan |
| 14. Assoc. Prof. Dr. Norhashila Binti Hashim | Universiti Putra Malaysia, Malaysia |
| 15. Assoc. Prof. Dr. Prathuang Usaborisut | Kasetsart University, Thailand |
| 16. Assoc. Prof. Dr. Tiraporn Junyusen | Suranaree University of Technology, Thailand |
| 17. Assoc. Prof. Dr. Areeya Rittima | Mahidol University, Thailand |
| 18. Dr. Martin Boruvka | Technical University of Liberec, Czech Republic |
| 19. Dr. Muhammad Hazwan Hamzah | Universiti Putra Malaysia, Malaysia |



Organizing Committee

1. Dr. Dares Kittiyopas	Chairperson
2. Mr. Pramote Klainetr	Committee Members
3. Mr. Viboon Thepent	Committee Members
4. Mr. Wachirasiri Taviddech	Committee Members
5. Ms. Chanyanuch Pan-iam	Committee Members
6. Dr. Anuchit Chamsing	Committee Members
7. Dr. Wuttiophol Chansrakoo	Committee Members
8. Asst. Prof. Dr. Danuwat Thangdee	Committee Members
9. Asst. Prof. Dr. Rawin Surbkar	Committee Members
10. Asst. Prof. Dr. Sirasa Thangdee	Committee Members
11. Asst. Prof. Dr. Jittimon Wongs	Committee Members
12. Asst. Prof. D. Vasu Udompetaikul.	Committee Members
13. Asst. Prof. Sawanit Aichayanich	Committee Members
14. Assoc. Prof. Dr. Tawarat Treeamnuk	Committee Members
15. Assoc. Prof. Dr. Watcharapol Chayaprasert	Committee Members
16. Assoc. Prof. Dr. Jetsada Posom	Committee Members
17. Assoc. Prof. Dr. Sirinad Noypitak	Committee Members
18. Prof. Dr. Sakamon Devahastin	Committee Members
19. Mr. Cheerawat Munkit	Secretary

List of Reviewers

Prof. Dr. Rosnah Shamsudin	UNIVERSITI PUTRA MALAYSIA
Prof. Dr. Anupun Terdwongworakul	Department of Agricultural Engineering
Prof. D. Panmanas Sirisomboon	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Prof. Dr. Tri. Ratna Bajracharya	Senior Research Fellow, RIFS Research Institute for Sustainability at GFZ, Potsdam, Germany
Prof. Dr. Abdul Rashid Bin Mohamed Shariff	Universiti Putra Malaysia, Malaysia
Assoc. Prof. Dr. Bandit Suksawat	KMUTNB
Assoc. Prof. Dr. Jetsada Posom	Khon Kaen 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. Prathuang Usaborisut	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. Tiraporn Junyusen	Suranaree University of Technology
Assoc. Prof. Dr. Watchapol Chayaprasert	Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Tawarat Treeamnuak	Suranaree University of Technology
Assoc. Prof. Dr. Preeda Prakotmak	Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Norhashila Binti Hashim	Universiti Putra Malaysia, Malaysia
Assoc. Prof. Dr. Areeya Rittima	Mahidol University
Asst. Prof. Dr. Sirasa Thangdee	KMUTNB
Asst. Prof. Dr. Danuwat Thangdee	KMUTNB
Asst. Prof. Dr. Jittimon Wongsu	KMUTNB
Asst. Prof. Dr. Sawanit Aichayanich	KMUTNB
Asst. Prof. Dr. Khatha Wathakit	Suranaree University of Technology
Asst. Prof. Dr. Krawee Treeamnuak	Suranaree University of Technology
Asst. Prof. Dr. Vasu Udompetaikul	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst. Prof. Dr. Nuttapong Ruttanadech	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Asst. Prof. Dr. Pansa Liplap	Suranaree University of Technology
Asst. Prof. Dr. Wanrat Abdullakasim	Kasetsart University
Asst. Prof. Dr. Aphisik Pakdeekaew	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr. Narumon Boonkrachang	Rajamangala University of Technology Tawan-ok
Asst. Prof. Dr. Nuttapong Wongbubpa	Rajamangala University of Technology Isan
Asst. Prof. Dr. Chuphan Chompuchan	Kasetsart University
Asst. Prof. Dr. Ketvara Sittichok	Kasetsart University
Asst. Prof. Dr. Phayom Saraphirom	Khon Kaen University



Dr. Muhammad Hazwan Hamzah	Universiti Putra Malaysia, Malaysia
Dr. Janewit Wannapeera	Suranaree University of Technology
Dr. Kiattisak Jaito	Rajamangala University of Technology Krungthep
Dr. Somkiat Maithomklang	Rajamangala University of Technology Tawan-Ok
Dr. Theeraphat Sri-On	Maejo University



TSAE2026

