

การพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวานสำหรับผู้ประกอบการมะขามหวาน

วันที่รับ : 16 กรกฎาคม 2567

วันที่แก้ไข : 12 พฤศจิกายน 2567

วันที่ตอบรับ : 13 พฤศจิกายน 2567

ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์^{1*}, อนันตกุล อินทรผดุง¹,

ดุชนิ ศุภวรรณะกุล¹ และ นัฐพงศ์ ส่งเนียม²

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

กรุงเทพฯ

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ

*Corresponding author e-mail: Seksunsek@pcru.ac.th



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบ ทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน และศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวานสำหรับผู้ประกอบการมะขามหวาน วิธิตำเนินการวิจัย เลือกใช้ข้อกำหนดคุณลักษณะทางวิศวกรรมที่ผ่านการสังเคราะห์ความต้องการด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพร่วมกับหลักทางกายศาสตร์ ออกแบบแบบร่างต้นแบบ สร้างต้นแบบ ทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน ศึกษาค่าการใช้พลังงาน และศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวาน กำหนดความเร็วสายพานลำเลียงฝัก 0.82 เมตร/วินาที เวลาในการประมวลผลการคัดขนาดฝักมะขาม 230 มิลลิวินาที เวลาในการประมวลผลการแยกฝักมะขาม 40 มิลลิวินาที ใช้มะขามลักษณะฝักตรงพันธุ์ศรีชมภู และลักษณะฝักโค้งพันธุ์สีทอง คัดแยกขนาดฝัก 2 ขนาด แบ่งเป็น ฝักยาว และฝักสั้น ตามข้อกำหนด ใช้เซ็นเซอร์แบบอินฟราเรดสำหรับตรวจจับขนาดความยาวฝัก ระยะเซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 สำหรับคัดขนาดฝักตรงพันธุ์ศรีชมภู 75 มิลลิเมตร ฝักโค้งพันธุ์สีทอง 90 มิลลิเมตร ประมวลผลสั่งการด้วย Arduino รุ่น Uno R3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ พบว่า การคัดแยกมะขามหวานลักษณะฝักตรง แบ่งเป็น ฝักยาว 153 ฟัก ฝักสั้น 191 ฟัก ใช้เวลาเฉลี่ย 2.65 นาที ปริมาณในคัดแยกได้ตามขนาดเฉลี่ย ฝักยาว 150.00 ฟัก ฝักสั้น 160.33 ฟัก ความแม่นยำในการคัดแยกฝักยาวเฉลี่ยร้อยละ 98.04 ฝักสั้นร้อยละ 83.94 ความเสียหายของฝักมะขามหลังการคัดแยกเฉลี่ย 7.33 ฟัก คิดเป็นร้อยละ 2.13 การคัดแยกมะขามหวานลักษณะฝักโค้ง แบ่งเป็น ฝักยาว 115 ฟัก ฝักสั้น 110 ฟัก ใช้เวลาเฉลี่ย 2.41 นาที ปริมาณการคัดแยกได้ตามขนาดเฉลี่ย ฝักยาว 110.33 ฟัก ฝักสั้น 94.33 ฟัก ความแม่นยำในการคัดแยกฝักยาวเฉลี่ยร้อยละ 95.94 ฝักสั้นร้อยละ 85.76 ความเสียหายของฝักมะขามหลังการคัดแยกเฉลี่ย 6.67 ฟัก คิดเป็นร้อยละ 2.96 การใช้พลังงานไฟฟ้า 0.81 หน่วย/ชั่วโมง ค่าไฟฟ้า 3.18 บาท/ชั่วโมง ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ มีค่าใช้จ่ายรวมของเครื่อง 72.96 บาท/ชั่วโมง จุดคุ้มทุน 1,589 ชั่วโมง/ปี ระยะเวลาในการคืนทุน 0.02 ปี ผลการวิจัยจะเป็นแนวทางในการช่วยลดปัญหาคุณภาพในการคัดแยกมะขามและการมีมะขามเกรดอื่นปะปนมา ช่วยลดเวลาในการทำงานและลดต้นทุนค่าจ้าง

คำสำคัญ: เครื่องคัดแยกฝักมะขามหวาน, ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

THE DEVELOPMENT OF A SWEET TAMARIND POD SORTING MACHINE PROTOTYPE FOR SWEET TAMARIND ENTREPRENEURS

Received : July 16, 2024

Revised : November 12, 2024

Accepted : November 13, 2024

Saksirichai Srisawad^{1*}, Anantakul Intarapadung¹,

Dusanee Supawantanakul¹ and Nattapong Songneam²

¹Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University,
Bangkok, Thailand

²Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, Thailand

*Corresponding author e-mail: Seksunsek@pcru.ac.th



Abstract

The objectives of this study were to develop a prototype, evaluate its operational efficiency, and conduct an economic feasibility of sweet tamarind pod sorting machine prototype for tamarind entrepreneurs. The research methodology employed the engineering specifications synthesized from users' requirements using the Quality Function Deployment (QFD) technique together with ergonomic principles. The process involved designing a prototype blueprint, building the prototype, testing its performance, analyzing energy consumption, and assessing its economic viability. The prototype of sorting machine operated with a conveyor belt speed of 0.82 meters per second. The processing time for tamarind pod size classification was 230 milliseconds, while the processing time for pod sorting was 40 milliseconds. The system was designed to sort straight tamarind pods of the "Sri Chompoo" variety and curved pods of the "Sri Thong" variety into two size categories of long and short pods, as specified. An infrared sensor was used to detect pod length, with the sensor distances set at 75 millimeters for straight pods of the Sri Chompoo variety and 90 millimeters for curved pods of the Sri Thong variety. The system was controlled by an Arduino Uno R3. The performance test results indicated that for sorting straight tamarind pods, 153 long pods and 191 short pods were sorted, with an average processing time of 2.65 minutes. The average number of pods sorted by size was 150.00 long pods and 160.33 short pods. The accuracy of sorting long pods was 98.04%, while that of short pods was 83.94%. The average number of damaged pods after sorting was 7.33, accounting for 2.13%. For sorting curved tamarind pods, 115 long pods and 110 short pods were sorted, with an average processing time of 2.41 minutes. The average number of pods sorted by size was 110.33 long pods and 94.33 short pods. The accuracy of sorting long pods was 95.94%, while that of short pods was 85.76%. The average number of damaged pods after sorting was 6.67, accounting for 2.96%. The electrical energy consumption was 0.81 units per hour, with an electricity cost of 3.18 THB per hour. From an economic standpoint, the total operating cost of the machine was 72.96 THB per hour, and the break-even point was at 1,589 operating hours per year, payback period was 0.02 years. The research results offered a solution to improve tamarind sorting quality by reducing the incidence of mixed-grade tamarinds, and decreasing processing time and labor costs.

Keywords: Sweet tamarind pod sorting machine prototype, Economic feasibility

บทนำ

มะขามหวานจังหวัดเพชรบูรณ์มีการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดเพชรบูรณ์ แบ่งประเภทของฝักรวมออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ลักษณะฝักตรง และลักษณะฝักโค้ง (กรมทรัพย์สินทางปัญญา, 2548) จากข้อมูลมะขามหวานช่วงปี 2562 ภาพรวมระดับประเทศ ปริมาณมะขามหวาน จำนวน 79,576,776 กิโลกรัม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2563) มูลค่าการขายมะขามฝักรวมไม่แยกฝักมีมูลค่ารวมประมาณ 614,561,175 บาท เทียบมูลค่าการขายมะขามหวานที่คัดแยกฝักมีมูลค่ารวมประมาณ 887,699,475 บาท มูลค่าต่างกันจำนวน 273,138,300 บาท และข้อมูลรายงานการส่งออกมะขามไปต่างประเทศพบปัญหาด้านคุณภาพฝักมะขามสอดคล้องกับรายงานมะขามไทยในตลาดอินเดียตอนใต้ร้านค้าปลีกและค้าส่งมากกว่า 3,000 ร้าน (สำนักงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2558) พบว่า ปัญหาและอุปสรรคของการนำเข้าสินค้าจากกลุ่มผู้ปลูกมะขามหวานที่ไม่ตรงตามสิ่ง คือ คุณภาพในการคัดแยกมะขามและการมีมะขามเกรดอื่นปะปนมา และรายงานจากผู้นำเข้าสินค้าผลไม้จากออสเตรเลีย สหรัฐฯ และนิวซีแลนด์ เสนอแนะว่าการส่งออกมะขามหวานของไทยควรมีการประกันคุณภาพมะขามหวานเพื่อเพิ่มความมั่นใจในการสั่งซื้อมะขามหวานจากประเทศไทยมากยิ่งขึ้น โดยข้อมูลสะท้อนกระบวนการคัดแยกฝักมะขามจำเป็นต้องที่มีคุณภาพ สอดคล้องกับการศึกษาข้อมูลในพื้นที่จริงวิธีการคัดแยกฝักมะขามหวานของผู้ประกอบการมะขามหวานจังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่า การคัดแยกฝักยังคงใช้แรงงานคนในการคัดด้วยมือ ไม่มีการใช้เครื่องจักร ซึ่งแรงงานคนเหล่านี้ล้วนเป็นผู้ที่มีความชำนาญและมีประสบการณ์ในการคัดแยกฝักมะขาม จากการเก็บข้อมูลผู้ประกอบการมะขามหวานจังหวัดเพชรบูรณ์ คือ วิสาหกิจชุมชนดวงทอง ตำบลห้วยโป่ง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ การคัดแยกฝักมะขามก่อนขายฝักหรือนำไปแปรรูปแล้วขาย จะคัดแยกฝัก จำนวน 2 ขนาดตามลักษณะสายพันธุ์มะขาม เช่น มะขามพันธุ์ศรีชมภูจะมีลักษณะฝักตรง การคัดขนาดแบ่งเป็น 1) ฝักสั้น มีความยาวฝักเฉลี่ยไม่เกิน 57 มิลลิเมตร หรือประมาณ 3 ข้อย และ 2) ฝักยาว มีความยาวฝักเฉลี่ย 70 มิลลิเมตร หรือประมาณ 4 ข้อยขึ้นไป ส่วนมะขามพันธุ์ศรีทองจะมีลักษณะฝักโค้ง การคัดขนาดแบ่งเป็น 1) ฝักสั้น มีความยาวฝักเฉลี่ยไม่เกิน 64 มิลลิเมตร หรือประมาณ 3 ข้อย และ 2) ฝักยาว มีความยาวฝักเฉลี่ย 76 มิลลิเมตร หรือประมาณ 4 ข้อยขึ้นไป โดยมะขามสายพันธุ์ที่มีลักษณะฝักโค้งจะมีความยาวระหว่างข้อยฝักมากกว่าสายพันธุ์ที่มีลักษณะฝักตรง ส่วนการคัดแยกจะใช้การตรวจพินิจด้วยสายตาที่ละฝักและจับแยกออกด้วยมือ โดยการคัดแยกฝักมะขามเป็นกระบวนการสำคัญและมีความจำเป็นที่ต้องทำเพื่อการเพิ่มมูลค่าให้กับมะขามหวานส่งผลให้ราคาขายแตกต่างกัน ได้แก่ 1) ฝักสั้นราคาขายประมาณ 70 บาทต่อกิโลกรัม 2) ฝักยาวราคาขายประมาณ 100 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนฝักรวมที่ไม่ได้คัดแยกราคาขายประมาณ 70 บาทต่อกิโลกรัม จากปริมาณรับซื้อเข้า 50,000 กิโลกรัม/ปี ของวิสาหกิจชุมชนดวงทอง ค่าใช้จ่ายในการรับซื้อมะขาม 2,500,000 บาท/ปี การจ้างแรงงานคัดแยกฝักมะขามมี 2 ลักษณะ คือ 1) จ้างคัดแยกคิดเป็นกิโลกรัมละ 0.8 บาท และ 2) จ้างเหมา 600 บาท/ตัน ช่วงเวลาการรับซื้อผลผลิตช่วงเดือนธันวาคมถึงเมษายนของทุกปี มีความจำต้องใช้แรงงานคนจำนวนมากในการคัดแยก ทำให้ประสบกับปัญหาการขาดแคลนแรงงานในการคัดแยกคัดแยกฝักมะขามไม่ทันและจากการทำงานเป็นเวลานานจะทำให้แรงงานคัดแยกมีอาการตาพร่าเบลอส่งผลให้การคัดแยกขนาดฝักมะขามเกิดปัญหาการปลอมระหว่างฝักสั้นกับฝักยาว ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวานสำหรับผู้ประกอบการมะขามหวานประกอบด้วย การลำเลียงฝักมะขาม การจัดเรียงฝักมะขามก่อนการคัดแยก การตรวจจับขนาดฝักมะขามประมวลผลส่งการตามที่ต้องการจับ แยกขนาดฝักมะขามตามที่ตรวจจับ

จากการศึกษาเทคโนโลยีการคัดแยก เช่น ใช้ตะแกรงคัดแยกฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง (ธีรพงษ์ ศรีจันทร์ และคนอื่นๆ, 2560, น.5) พบว่ามุมเอียงของตะแกรง 3 องศา หมุนด้วยความเร็วรอบ 12 รอบต่อนาที

จำนวนการป้อน 3 กิโลกรัม มีประสิทธิภาพในการตัดผักดีที่สุตร้อยละ 90.63 ความสามารถในการทำงาน 260.87 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สามารถตัดได้เร็วกว่าแรงงานคน 3 เท่า (ธนศ อ้อมนอก และคนอื่นๆ, 2566, น.1) ใช้การตัดแยกผักมะขามด้วยแรงงานคนครั้งละ 5 คน บนสายพานลำเลียง โดยปริมาณการตัดแยกมะขามรวม 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้เวลา 40.04 นาที อัตราการกินไฟ 34.48 บาท ข้อจำกัดคือเมื่อความเร็วของสายพานมากขึ้นทำให้คนงานไม่สามารถตัดมะขามได้ทัน เกิดอาการตาลายจนทำให้ประสิทธิภาพการตัดแยกผักมะขามลดลง (บัณฑิต จริโมภาส และนิติพงษ์ ใจสิน, 2549, น.282) ใช้เทคนิคการประมวลผลด้วยภาพคัดแยกผักมะขามหวานพันธุ์สีทองและศรีชมภู ตามรูปร่าง ขนาด และรอยแตก ประสิทธิภาพการคัดขนาดมะขามพันธุ์สีทองร้อยละ 89.8 ร้อยละ 10.2 ความสามารถในการทำงาน จำนวน 1,517 ผัก/ชั่วโมง และคัดขนาดมะขามพันธุ์ศรีชมภู ร้อยละ 94.3 ร้อยละ 5.7 และความสามารถในการทำงาน จำนวน 1,491 ผัก/ชั่วโมง ป้อนผักมะขามที่ละผักบนสายพานลำเลียง สอดคล้องกับ (Tangwannawit & Tangwannawit, 2022, p.344) แยกคุณสมบัติเพื่อทำนายคุณภาพมะขามหวานโดยใช้การประมวลผลภาพ เสนอแนะการพัฒนาต่อโดยการใช้อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (IoT) ร่วมกับอุปกรณ์เซ็นเซอร์และเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ตและเก็บข้อมูลลักษณะการวางผักมะขามบนสายพาน ความเร็วการเคลื่อนที่ของผักมะขามและระยะห่างระหว่างผักมะขามบนสายพานลำเลียง เมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละเทคโนโลยีในแง่ของกำลังการผลิตใช้ตะแกรงคัดแยกผักได้ปริมาณแตกต่างกับใช้สายพานลำเลียงผักไม่มาก แต่หลักการคัดแยกผักมะขามจะพิจารณาจากความยาวผักหรือจำนวนข้อมีใช้ขนาดความโตของผักมะขาม ในด้านความซับซ้อนของกลไกและการควบคุมความแม่นยำในการคัดแยก ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการคัดแยก จะเป็นการใช้เทคนิคการประมวลผลด้วยภาพซึ่งถ้าใช้อุปกรณ์ที่มีสมรรถนะสูงจะมีราคาสูงซึ่งมาพร้อมกับการบำรุงรักษาและซ่อมบำรุงที่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญไม่เหมาะสมกับผู้ใช้งาน และผู้ประกอบการมะขามหวานในพื้นที่ต้องการได้เทคโนโลยีที่ง่าย ราคาไม่สูง การบำรุงรักษาและซ่อมบำรุงง่ายสามารถทำได้เอง สอดคล้องกับ (ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์ และคนอื่นๆ, 2565, น.408) ได้แปลงความต้องการของผู้ประกอบการมะขามหวานเป็นข้อกำหนดการออกแบบเครื่องคัดแยกผักมะขามหวานด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ พบว่าข้อกำหนดคุณลักษณะทางวิศวกรรม เรียงจากมากสุดไปน้อยสุดได้แก่ (1) อุปกรณ์การตรวจจับขนาดผักมะขาม (2) ค่าการคัดผักมะขามที่ยอมรับได้ (3) อุปกรณ์การแยกขนาดผักมะขามตามที่ตรวจจับ (4) ค่าปริมาณผักมะขามหลังการคัดแยกที่ยอมรับได้ (5) ค่าการแยกผักมะขามที่ยอมรับได้ (6) อุปกรณ์ประมวลผลสั่งการตามที่ตรวจจับ (7) อุปกรณ์ลำเลียงผัก (8) อุปกรณ์สำหรับการจัดเรียงผักมะขามก่อนการคัดแยกผัก (9) อุปกรณ์ปรับแต่งความเร็วของการลำเลียงผักมะขาม และ (10) ค่าความเสียหายที่ยอมรับได้

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงนำเสนอการพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกผักมะขามหวานสำหรับผู้ประกอบการมะขามหวาน โดยใช้การลำเลียงผักมะขามด้วยสายพานลำเลียง มีการจัดเรียงผักมะขามก่อนการคัดแยก การตรวจจับขนาดความยาวผักมะขามด้วยเซนเซอร์ การประมวลผลสั่งการตามที่ตรวจจับใช้อาณูโน แยกขนาดผักมะขามตามที่ตรวจจับใช้นิวเมติกส์ ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดหาซื้อง่ายในท้องตลาดราคาไม่สูง เพื่อเป็นทางเลือกในการปรับใช้เพื่อลดปัญหาด้านแรงงานคัดแยกผักมะขาม เพิ่มประสิทธิภาพการคัดแยกผักมะขามสำหรับปรับลดปัญหาเรื่องคุณภาพขนาดของผักในขั้นตอนการคัดแยกผักมะขามของผู้ประกอบการมะขามหวาน

1. เพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกผักมะขามหวานสำหรับผู้ประกอบการมะขามหวาน
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของต้นแบบเครื่องคัดแยกผักมะขามหวาน
3. เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของต้นแบบเครื่องคัดแยกผักมะขามหวาน



วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยและพัฒนา (Research & Development) โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

การพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวานสำหรับผู้ประกอบการมะขามหวาน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ข้อกำหนดคุณลักษณะทางวิศวกรรมของต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวาน (ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์ และคนอื่นๆ, 2565, น.408) ซึ่งมีคุณลักษณะทางวิศวกรรมของต้นแบบที่เป็นข้อกำหนดในการออกแบบ ดังตาราง 1 ร่วมกับหลักทางกายศาสตร์ โดยพิจารณาจากความสูงระดับมือและระยะเอื้อมแขนไปข้างหน้า โดยใช้คนปฏิบัติงานกับเครื่อง จำนวน 1 คน ส่วนข้อกำหนดการคัดแยกความยาวฝักมะขามลักษณะฝักตรง พันธุ์ศรีชมภู ดังภาพ 1 และภาพ 2

ตาราง 1 คุณลักษณะทางวิศวกรรมของต้นแบบที่เป็นข้อกำหนดในการออกแบบ

ข้อกำหนดคุณลักษณะ	ค่าเป้าหมาย
1. ขนาดเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวาน	280 x 4,161 x 700 มิลลิเมตร
2. ขนาดอุปกรณ์สำหรับการจัดเรียงฝักมะขามก่อนการคัดแยก	25.4 x 50 x 1,120 มิลลิเมตร
3. ระยะทางอุปกรณ์การตรวจจับขนาดฝักและอุปกรณ์การแยกฝักมะขาม	90 มิลลิเมตร
4. ความเร็วสายพานลำเลียงฝัก	0.82 เมตร/วินาที
5. เวลาในการประมวลผลการคัดขนาดฝักมะขาม	230 มิลลิวินาที
6. ค่าความแม่นยำในการคัดฝักมะขาม	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90
7. เวลาในการประมวลผลการแยกฝักมะขาม	40 มิลลิวินาที
8. ค่าความแม่นยำในการแยกฝักมะขาม	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90
9. แรงดันลมที่ใช้ในแยกฝักมะขามหวาน	5 บาร์
10. ค่าความเสียหายของฝักมะขามหลังแยก	ไม่เกินร้อยละ 5
11. ปริมาณในการคัดแยกฝักมะขาม	ไม่น้อยกว่า 60 กิโลกรัม/ชั่วโมง
12. การคัดแยกขนาดฝักมะขาม	2 ขนาด (ฝักสั้นและฝักยาว)
13. ขนาดความยาวเฉลี่ยมะขามลักษณะฝักตรงพันธุ์ศรีชมภู	
- ฝักสั้น	ต่ำกว่า 70 มิลลิเมตร
- ฝักยาว	70 มิลลิเมตร ขึ้นไป
14. ขนาดความยาวเฉลี่ยมะขามลักษณะฝักโค้งพันธุ์สีทอง	
- ฝักสั้น	ต่ำกว่า 76 มิลลิเมตร
- ฝักยาว	76 มิลลิเมตร ขึ้นไป
15. ระยะเซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 สำหรับคัดขนาดฝักตรงพันธุ์ศรีชมภู	75 มิลลิเมตร
16. ระยะเซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 สำหรับคัดขนาดฝักโค้งพันธุ์สีทอง	90 มิลลิเมตร

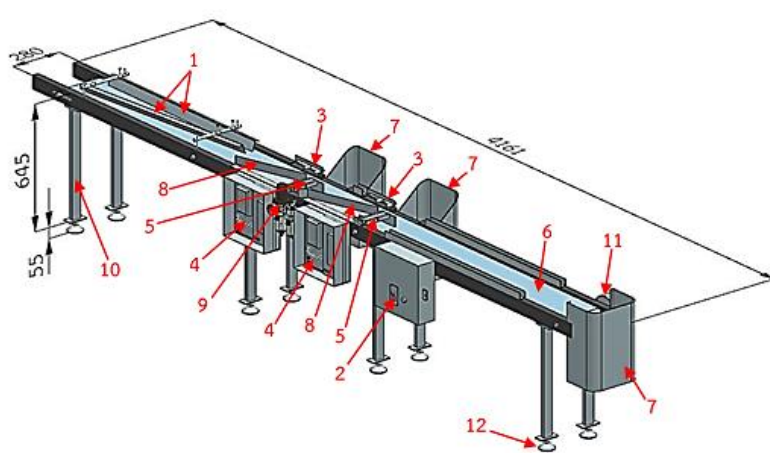


ภาพ 1 ข้อกำหนดขนาดความยาวเฉลี่ยมะขามลักษณะฝักตรง พันธุ์ศรีชมภู



ภาพ 2 ข้อกำหนดขนาดความยาวเฉลี่ยมะขามลักษณะฝักโค้ง พันธุ์สีทอง

2. การออกแบบแบบร่างต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขาม มีขนาด $280 \times 4,161 \times 700$ มิลลิเมตร ดังภาพ 3 ตามข้อกำหนด ได้แก่ หมายเลข 1 อุปกรณ์สำหรับการจัดเรียงฝักมะขามก่อนการคัดแยก หมายเลข 2 อุปกรณ์ปรับแต่งความเร็วของการลำเลียงฝักมะขาม หมายเลข 3 อุปกรณ์การตรวจจับขนาดฝักมะขาม หมายเลข 4 อุปกรณ์ประมวลผลสั่งการตามที่ตรวจจับ หมายเลข 5 อุปกรณ์การแยกขนาดฝักมะขามตามที่ตรวจจับ หมายเลข 6 อุปกรณ์ลำเลียงฝัก หมายเลข 7 ช่องทางออกฝักมะขาม หมายเลข 8 อุปกรณ์กันฝักมะขาม หมายเลข 9 อุปกรณ์ควบคุมแรงดันลม หมายเลข 10 โครงสร้างเครื่อง หมายเลข 11 มอเตอร์ และหมายเลข 12 ขาปรับระดับฐานเครื่อง



ภาพ 3 แบบร่างต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวาน

3. การสร้างต้นแบบตามแบบร่างต้นแบบที่ได้ออกแบบไว้ ดังภาพ 3 และมีรายการชิ้นส่วนอุปกรณ์ประกอบต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวาน ดังตาราง 2 โดยหลักการทำงานจะทำการบ่อนฝักมะขามที่อยู่บนโต๊ะใส่ฝักมะขามหวานลงบนสายพานลำเลียงฝักมะขาม ดังภาพ 6 โดยฝักมะขามจะเลื่อนผ่านอุปกรณ์สำหรับการจัดเรียงฝักมะขามก่อนการคัดแยกฝักจะถูกปรับทิศทางให้หันไปทางเดียวกันเพื่ออยู่ในแนวการตรวจจับขนาดฝัก ซึ่งเป็นชุดเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวแบบอินฟราเรด ดังภาพ 7 โดยเงื่อนไข

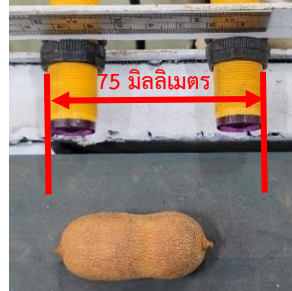
3.1 ฝักมะขามที่มีความยาวสามารถบ่งแสงเลเซอร์ของเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 พร้อมกัน “Yes” อุปกรณ์ประมวลผล Arduino จะส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์การแยกขนาดฝักมะขามเพื่อแยกฝักลงช่องทางออกฝักมะขามบริเวณด้านข้างของตัวเครื่อง ดังภาพ 4 และภาพ 5

3.2 ฝักมะขามที่มีความยาวที่ไม่สามารถบ่งแสงเลเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ได้พร้อมกัน “No” อุปกรณ์ประมวลผล Arduino จะไม่ส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์การแยกขนาดฝัก ฝักมะขามจะเลื่อนผ่านไปลงช่องทางออกฝักมะขามบริเวณด้านล่างของตัวเครื่อง ดังภาพ 4 และภาพ 5

ตาราง 2 รายการชิ้นส่วนอุปกรณ์ประกอบต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวาน

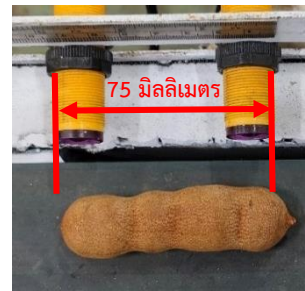
หมายเลข	รายการชิ้นส่วนอุปกรณ์ประกอบแบบร่าง
1	อุปกรณ์สำหรับการจัดเรียงฝักมะขามก่อนการคัดแยก เป็นแผ่นสแตนเลสพับมุมฉาก ขนาด 25.4x50x1,120 มิลลิเมตรหนา 1.8 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น
2	อุปกรณ์ปรับแต่งความเร็วของการลำเลียงฝักมะขาม ประกอบด้วย Switching Power Supply ขนาด 24 โวลต์ 750 วัตต์ 30 แอมป์ จำนวน 1 ตัว Speed Control PWM จำนวน 1 ตัว ย่านการปรับ 0-100 เซฟต์ไบรเกอร์ 20 แอมป์ จำนวน 1 ตัว ไฟลัดตแลม จำนวน 1 ตัว หม้อแปลงสวิตชิง 24 โวลต์ 10 แอมป์ จำนวน 1 ตัว ตู้ไฟพลาสติก จำนวน 1 ใบ
3	อุปกรณ์การตรวจจับขนาดฝักมะขามเป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวแบบอินฟราเรด Photoelectric Sensor DC6-36V 100mA ระยะตรวจจับ 3-80 เซนติเมตร จำนวน 4 ตัว
4	อุปกรณ์ประมวลผลสั่งการตามที่ตรวจจับ ประกอบด้วย ชุด Arduino รุ่น Uno R3 จำนวน 2 ชุด หน้าจอ LCD 1602 จำนวน 2 ตัว เซฟต์ไบรเกอร์ 20 แอมป์ จำนวน 2 ตัว หม้อแปลงสวิตชิง จำนวน 2 ตัว
5	อุปกรณ์การแยกขนาดฝักมะขามตามที่ตรวจจับ ประกอบด้วย โซลินอยด์วาล์ว รุ่น 4V110-06 Pressure 0.15~0.8 MPa ขนาด 1/8 inch จำนวน 2 ตัว กระบอกสูบแกนคู่ แรงกดดันจากงาน 1-9.0 Kgf/cm ² จำนวน 2 ตัว
6	อุปกรณ์ลำเลียงฝัก เป็นสายพานลำเลียงพีวีซี ขนาด Ø4,000 x 200 x 3 มิลลิเมตร จำนวน 1 เส้น
7	ช่องทางออกฝักมะขาม จำนวน 3 ช่อง แบ่งเป็น 2 ช่อง ด้านข้างเครื่องสำหรับฝักยาว และ 1 ช่อง ส่วนปลายสายพานลำเลียงสำหรับฝักสั้น
8	อุปกรณ์กันฝักมะขาม เป็นโลหะแผ่นทาสีดำตัดเอียงองศา จำนวน 2 แผ่น
9	อุปกรณ์ควบคุมแรงดันลม ประกอบด้วย บัลมมอยล์ฟรี ขนาด 30 ลิตร 800W จำนวน 1 ตัว และชุดควบคุมและปรับคุณภาพลม จำนวน 1 ชุด
10	โครงเครื่องเป็นเหล็กกล่องชุบสีวาล์วไนซ์ ขนาด 75x38 x1.2 มิลลิเมตร 2 เส้น และ ขนาด 280x4,161x700 มิลลิเมตร จำนวน 1 เส้น
11	มอเตอร์ DC ปรับความเร็วรอบได้ รุ่น ZY1020 T8F 24VDC 500W 2500 RPM จำนวน 1 ตัว
12	ขาปรับระดับฐานเครื่อง ระยะเกลียว 15 เซนติเมตร จำนวน 12 ตัว

ระยะเซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2



ผักสั้น ต่ำกว่า 70 มิลลิเมตร

ระยะเซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2



ผักยาว 70 มิลลิเมตร ขึ้นไป

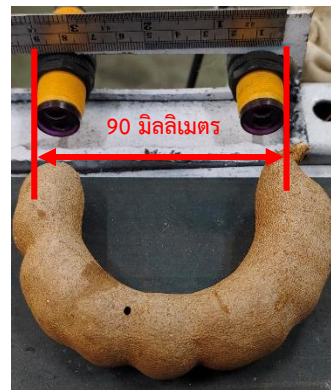
ภาพ 4 ระยะเซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 สำหรับคัดผักมะขามลักษณะผักตรง “พันธุ์ศรีชมภู”

ระยะเซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2



ผักสั้น

ระยะเซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2

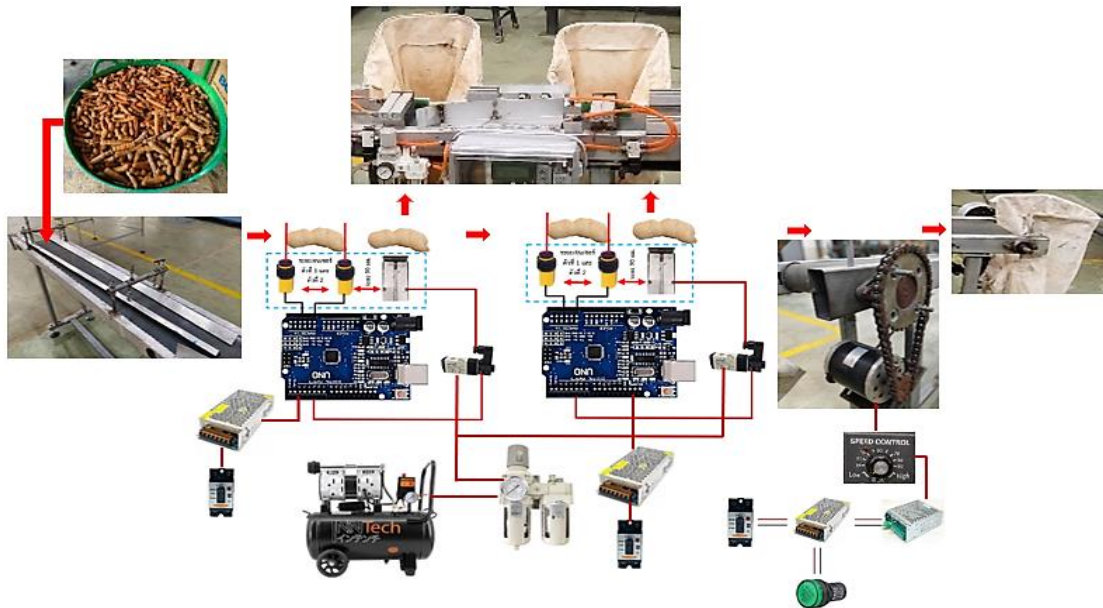


ผักยาว

ภาพ 5 ระยะเซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 สำหรับคัดผักมะขามลักษณะผักโค้ง “พันธุ์สีทอง”



ภาพ 6 ต้นแบบเครื่องคัดแยกผักมะขามหวาน



ภาพ 7 แผนผังส่วนประกอบต้นแบบเครื่องตัดแยกฝักมะขาม

4. ทำการทดสอบประสิทธิภาพต้นแบบเครื่องตัดแยกฝักมะขามหวาน วัตถุดิบที่ใช้ทดสอบเป็นมะขามหวาน 2 สายพันธุ์ ซึ่งลักษณะเด่นประจำสายพันธุ์มะขาม “พันธุ์ศรีชมภู” จะมีลักษณะฝักตรง ขนาดความโตฝัก และช่วงความยาวข้อฝักจะเล็กและสั้นกว่า “พันธุ์สีทอง” จะมีลักษณะฝักโค้ง ขนาดความโตฝักและช่วงความยาวข้อฝักจะใหญ่และยาวกว่า เมื่อเทียบกับน้ำหนักต่อกิโลกรัมจึงทำให้ขนาดฝักในการทดสอบไม่เท่ากัน ด้วยการคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการทดสอบในการวิจัยครั้งนี้กำหนดปริมาณมะขามที่ใช้ทดสอบที่มะขามหวานสายพันธุ์ละ 3 กิโลกรัม ดังตาราง 3 กำหนดค่าการทดสอบ ได้แก่ ระยะทางอุปกรณ์การตรวจจับขนาดฝักและอุปกรณ์การแยกฝักมะขาม 90 มิลลิเมตร ระยะเซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 สำหรับตัดฝักมะขามลักษณะฝักตรง “พันธุ์ศรีชมภู” ที่ 75 มิลลิเมตร ระยะเซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 สำหรับตัดฝักมะขามลักษณะฝักโค้ง “พันธุ์สีทอง” ที่ 75 มิลลิเมตร ความเร็วสายพานลำเลียงฝัก 0.82 เมตร/วินาที เวลาในการประมวลผลการคัดขนาดฝักมะขาม 230 มิลลิวินาที และเวลาในการประมวลผลการแยกฝักมะขาม 40 มิลลิวินาที แรงดันลงที่ใช้ในแยกฝักมะขาม 5 บาร์ จากนั้นทำการแยกทดสอบโดยใช้อุปกรณ์การเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ นาฬิกาจับเวลา เก็บรวบรวมข้อมูลลงในตารางบันทึกข้อมูล เพื่อหาประสิทธิภาพการคัดแยกฝักมะขาม คือ ปริมาณในการคัดแยกฝักมะขาม ความแม่นยำในการคัดแยก และความเสียหายของฝักมะขามหลังการคัดแยก จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ ค่าร้อยละ และค่าเฉลี่ย

ตาราง 3 ปริมาณฝักมะขามที่ใช้ในการทดสอบ

มะขามหวาน ลักษณะ	ฝักยาว(ฝัก)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ฝักสั้น(ฝัก)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)
ฝักตรง	153	2	191	1	3
ฝักโค้ง	115	2	110	1	3

5. ทำการศึกษาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการวัดค่าการใช้พลังงานจริงขณะทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมด โดยใช้อุปกรณ์ ได้แก่ แคลมป์มิเตอร์ จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ส่วนอัตราค่าไฟฟ้าคิดที่ หน่วยละ 3.9086 บาท อ้างอิงราคาไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ณ เดือนสิงหาคม 2567

5.1 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า หาได้จากสูตรการคำนวณได้ (Marcsolarbrother, 2023) ดังสมการที่ (1)

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

เมื่อ	P	=	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
	V	=	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)
	I	=	ปริมาณกระแสไฟฟ้า (แอมป์)

5.2 การคำนวณค่าไฟฟ้า ใช้สูตร ดังสมการที่ (2)

$$\text{จำนวนหน่วยต่อวัน (ยูนิต)} = \frac{(\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)}) \times \text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า} \div 1000}{\times \text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้ใน 1 วัน}} \quad (2)$$

6. ทำการศึกษาคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการทำงาน จุดคุ้มทุน และวิเคราะห์หาระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่อง โดยต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของเครื่องเท่ากันประมาณอายุการใช้งานเท่ากับ 5 ปี และค่าเสียโอกาสของเงินทุนคิดอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 10 ราคาเครื่องจักร 45,000 บาท มูลค่าซาก 10,000 บาท ต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าจ้างแรงงาน 1 คน เพื่อทำงานร่วมกับเครื่อง 44 บาท/ชั่วโมง ค่าไฟฟ้า 3.1816004 บาท/ชั่วโมง ค่าบำรุงรักษาร้อยละ 5 เท่ากับ 2,250 บาท และค่าซ่อมแซมร้อยละ 5 เท่ากับ 2,250 บาท ส่วนกำไรสุทธิต่อปี 2,195,715.021 บาท/ปี จากข้อมูลวิสาหกิจชุมชนดวงทอง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ณ ปี 2566 ปริมาณรับซื้อเข้า 50,000 กิโลกรัม/ปี เวลาในการทำงาน 912 ชั่วโมง

6.1 ค่าใช้จ่ายรวมของเครื่อง (Total cost) (Stonier, 1980) ดังสมการที่ (3)

$$TC = \frac{F_c}{X} + VC \quad (3)$$

เมื่อ	TC	=	ค่าใช้จ่ายรวมของเครื่อง (บาท/ชั่วโมง)
	F_c	=	ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท/ชั่วโมง)
	X	=	ชั่วโมงการทำงานต่อปี(ชั่วโมง)
	VC	=	ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท/ชั่วโมง)

6.2 จุดคุ้มทุน (Break even point) (Stonier, 1980) ดังสมการที่ (4)

$$BEP = \frac{F_c}{B - VC} \quad (4)$$

เมื่อ	BEP	=	จุดคุ้มทุน (ชั่วโมง/ปี)
	F_c	=	ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท/ปี)
	B	=	อัตราการรับจ้าง (บาท/ชั่วโมง)
	VC	=	ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท/ชั่วโมง)

6.3 ระยะเวลาในการคืนทุน (Humt & Wilson, 2015) ดังสมการที่ (5)

เมื่อ

PBP

PBP

P

R

=

=

=

=

$\frac{P}{R}$

ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)

ราคาเครื่องจักร (บาท)

กำไรสุทธิต่อปี (บาท/ปี)

(5)

6.4 ค่าเสื่อมราคา (Stonier, 1980) ดังสมการที่ (6)

	D	=	$\frac{P-S}{L}$	(6)
เมื่อ	D	=	ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)	
	P	=	ราคาเครื่องจักร (บาท)	
	S	=	มูลค่าซาก (บาท)	
	L	=	อายุการใช้งาน (ปี)	

6.5 ค่าดอกเบี้ย หรือค่าเสียโอกาสในการลงทุน (Stonier, 1980) ดังสมการที่ (7)

	l	=	$\frac{(P+S)}{2} i$	(7)
เมื่อ	l	=	ค่าดอกเบี้ย (บาท/ปี)	
	i	=	อัตราดอกเบี้ยทศนิยม	



ผลการวิจัย

การพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกผักมะขามหวานสำหรับผู้ประกอบการมะขามหวาน มีผลการวิจัยดังนี้

1. ผลการพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกผักมะขามหวาน กำหนดความเร็วสายพานลำเลียงผัก 0.82 เมตร/วินาที เวลาในการประมวลผลการคัดขนาดผักมะขาม 230 มิลลิวินาที เวลาในการประมวลผลการแยกผักมะขาม 40 มิลลิวินาที ใช้เซนเซอร์เซ็นเซอร์แบบอินฟราเรดสำหรับตรวจจับขนาดความยาวผัก ระยะเซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 สำหรับคัดขนาดผักตรงพันธุ์ศรีชมภู 75 มิลลิเมตร ผักโค้งพันธุ์สีทอง 90 มิลลิเมตร ประมวลผลสั่งการด้วย Arduino รุ่น Uno R3

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องคัดแยกผักมะขามหวาน ตามข้อกำหนดความเร็วของสายพานคัดแยกผักมะขามหวานที่ 0.82 เมตร/วินาที เวลาในการประมวลผลการคัดขนาดผักมะขามที่ 230 มิลลิวินาที เวลาในการประมวลผลการแยกผักมะขาม 40 มิลลิวินาที ระยะตรวจสอบการคัดแยกโดยมีระยะห่างเซนเซอร์ ตัวที่ 1 กับตัวที่ 2 ของมะขามลักษณะผักตรงเท่ากับ 75 มิลลิเมตร และมะขามลักษณะผักโค้งเท่ากับ 90 มิลลิเมตร ดังนี้

2.1 ปริมาณในการคัดแยกมะขามหวาน โดยมะขามลักษณะฝักตรง จำนวน 344 ฝัก แบ่งเป็น ฝักยาว 153 ฝัก ฝักสั้น 191 ฝัก พบว่า ปริมาณในการคัดแยกมะขาม ตามขนาดเฉลี่ยคิดเป็น ฝักยาว 150.00 ฝัก ฝักสั้น 160.33 ฝัก ไม่ตามขนาดเฉลี่ยคิดเป็น ฝักยาว 3.00 ฝัก และฝักสั้น 30.67 ฝัก ใช้เวลาคัดแยกเฉลี่ย 2.65 นาที หรือคิดเป็น 7,788.6 ฝัก/ชั่วโมง ความเสียหายของฝักมะขามเฉลี่ย 7.33 ฝัก ดังตาราง 4 ส่วนมะขามลักษณะฝักโค้ง จำนวน 225 ฝัก แบ่งเป็น ฝักยาว 115 ฝัก ฝักสั้น 110 ฝัก พบว่า ปริมาณในการคัดแยกมะขาม ตามขนาดเฉลี่ย คิดเป็น ฝักยาว 110.33 ฝัก ฝักสั้น 94.33 ฝัก ไม่ตามขนาดเฉลี่ยคิดเป็น ฝักยาว 4.67 ฝัก ฝักสั้น 15.67 ฝัก เวลาคัดแยกเฉลี่ยเท่ากับ 2.41 นาที หรือคิดเป็น 5,601.6 ฝัก/ชั่วโมง ความเสียหายของฝักมะขามเฉลี่ย 6.67 ฝัก ดังตาราง 5

ตาราง 4 ปริมาณในการคัดแยกมะขามหวานลักษณะฝักตรง

ครั้งที่	จำนวนมะขาม 344 ฝัก		เวลาคัด แยกฝัก (นาที)	ปริมาณในการคัดแยก (ฝัก)				ความเสียหาย ของฝักมะขาม (ฝัก)
	ฝักยาว	ฝักสั้น		ตามขนาด		ไม่ตามขนาด		
				ฝักยาว	ฝักสั้น	ฝักยาว	ฝักสั้น	
1	153	191	3.00	150	160	3	31	9
2	153	191	2.50	151	166	2	25	6
3	153	191	2.45	149	155	4	36	7
ค่าเฉลี่ย	153	191	2.65	150.00	160.33	3.00	30.67	7.33

ตาราง 5 ปริมาณในการคัดแยกมะขามหวานลักษณะฝักโค้ง

ครั้งที่	จำนวนมะขาม 225 ฝัก		เวลาคัด แยกฝัก (นาที)	ปริมาณในการคัดแยก (ฝัก)				ความเสียหาย ของฝักมะขาม (ฝัก)
	ฝักยาว	ฝักสั้น		ตามขนาด		ไม่ตามขนาด		
				ฝักยาว	ฝักสั้น	ฝักยาว	ฝักสั้น	
1	115	110	2.55	112	93	3	17	4
2	115	110	2.24	110	90	5	20	8
3	115	110	2.45	109	100	6	10	8
ค่าเฉลี่ย	115	110	2.41	110.33	94.33	4.67	15.67	6.67

2.2 ความแม่นยำในการคัดแยก และความเสียหายของฝักมะขามหลังการคัดแยก ข้อมูลการคำนวณมาจากตาราง 4 มะขามลักษณะฝักตรง จำนวน 344 ฝัก แบ่งเป็น ฝักยาว 153 ฝัก ฝักสั้น 191 ฝัก พบว่า มีความแม่นยำในการคัดแยก ตามขนาดเฉลี่ยคิดเป็น ฝักยาวร้อยละ 98.04 ฝักสั้นร้อยละ 83.94 ไม่ตามขนาดเฉลี่ยคิดเป็น ฝักยาวร้อยละ 1.96 ฝักสั้นร้อยละ 16.06 ความเสียหายของฝักมะขามเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 2.13 ดังตาราง 6 และข้อมูลการคำนวณมาจากตาราง 5 มะขามลักษณะฝักโค้ง จำนวน 225 ฝัก แบ่งเป็น ฝักยาว 115 ฝัก ฝักสั้น 110 ฝัก มีความแม่นยำในการคัดแยก ตามขนาดเฉลี่ยคิดเป็น ฝักยาวร้อยละ 95.94 ฝักสั้นร้อยละ 85.76 ไม่ตามขนาดเฉลี่ยคิดเป็น ฝักยาวร้อยละ 4.06 ฝักสั้นร้อยละ 14.24 ความเสียหายของฝักมะขามเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 2.96 ดังตาราง 7

ตาราง 6 ร้อยละความแม่นยำในการคัดแยก และความเสียหายของฝักมะขามลักษณะฝักตรงหลังการคัดแยก

ครั้งที่	จำนวนมะขาม		ความแม่นยำในการคัดแยก (ร้อยละ)				ความเสียหายของฝักมะขาม (ร้อยละ)
	344 ฝัก		ฝักยาว		ฝักสั้น		
	ฝักยาว	ฝักสั้น	ตามขนาด	ตามขนาด	ตามขนาด	ตามขนาด	
1	153	191	98.04	1.96	83.77	16.23	2.62
2	153	191	98.69	1.31	86.91	13.09	1.74
3	153	191	97.39	2.61	81.15	18.85	2.03
	ค่าเฉลี่ย		98.04	1.96	83.94	16.06	2.13

ตาราง 7 ร้อยละความแม่นยำในการคัดแยก และความเสียหายของฝักมะขามลักษณะฝักโค้งหลังการคัดแยก

ครั้งที่	จำนวนมะขาม 225		ความแม่นยำในการคัดแยก (ร้อยละ)				ความเสียหายของฝักมะขาม (ร้อยละ)
	ฝัก		ฝักยาว		ฝักสั้น		
	ฝักยาว	ฝักสั้น	ตามขนาด	ไม่ตามขนาด	ตามขนาด	ไม่ตามขนาด	
1	115	110	97.39	2.61	84.55	15.45	1.78
2	115	110	95.65	4.35	81.82	18.18	3.56
3	115	110	94.78	5.22	90.91	9.09	3.56
	ค่าเฉลี่ย		95.94	4.06	85.76	14.24	2.96

3. การใช้พลังงานไฟฟ้าของต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวาน พบว่า ปริมาณกระแสไฟฟ้าของเครื่อง โดยการใช้แคลมป์มิเตอร์วัดเท่ากับ 3.7 แอมป์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.184 หน่วย/ชั่วโมง ค่าไฟฟ้า 3.9086 บาท/หน่วยอ้างอิงราคาค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ณ เดือนสิงหาคม 2567 คิดเป็น 3.1816004 บาท/ชั่วโมง โดยคำนวณได้ ดังนี้

วิธีทำ

$$P = 3.7 \times 220$$
$$P = 814 \text{ วัตต์}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนหน่วยต่อวัน (ยูนิต)} &= 814 \div 1,000 \times 1 \text{ ชั่วโมง} \\ &= 0.814 \text{ หน่วย/ชั่วโมง} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าไฟฟ้า} &= 3.9086 \text{ บาท/หน่วย} \\ &= 3.9086 \text{ บาท/หน่วย} \times 0.814 \text{ หน่วย/ชั่วโมง} \\ &= 3.1816004 \text{ บาท/ชั่วโมง} \end{aligned}$$

4. ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวานสำหรับผู้ประกอบการมะขามหวาน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายรวมของเครื่อง 72.96 บาท/ชั่วโมง จุดคุ้มทุน 1,589 ชั่วโมง/ปี ระยะเวลาในการคืนทุน 0.02 ปี ค่าเสื่อมราคา 7,000 บาท/ปี ค่าดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสในการลงทุน 2,750 บาท/ปี

$$4.1 \text{ ค่าใช้จ่ายรวมของเครื่อง (Total Cost) } TC = \frac{62,000}{912} + 4.9816004, TC = 72.96 \text{ บาท/ชั่วโมง}$$

$$4.2 \text{ จุดคุ้มทุน (Break Even Point) } BEP = \frac{62,000}{44 - 4.9816004}, BEP = 1,589 \text{ ชั่วโมง/ปี}$$

$$4.3 \text{ ระยะเวลาในการคืนทุน } PBP = \frac{45,000}{2,195,715.021}, PBP = 0.02 \text{ ปี}$$

$$4.4 \text{ ค่าเสื่อมราคา } D = \left(\frac{45,000 - 10,000}{5} \right), D = 7,000 \text{ บาท/ปี}$$

$$4.5 \text{ ค่าดอกเบี้ย หรือค่าเสียโอกาสในการลงทุน } I = \frac{(45,000 + 10,000)}{2} \cdot 0.1, I = 2,750 \text{ บาท/ปี}$$



อภิปรายผลการวิจัย

จากการพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวานตามข้อกำหนดความเร็วของสายพานคัดแยกฝักมะขามหวานที่ 0.82 เมตร/วินาที เวลาในการประมวลผลการคัดขนาดฝักมะขามที่ 230 มิลลิวินาที เวลาในการประมวลผลการแยกฝักมะขาม 40 มิลลิวินาที ระยะเวลาตรวจสอบการคัดแยกโดยมีระยะห่างเซนเซอร์ ตัวที่ 1 กับตัวที่ 2 ของมะขามลักษณะฝักตรงเท่ากับ 75 มิลลิเมตร และมะขามลักษณะฝักโค้งเท่ากับ 90 มิลลิเมตร ความเร็วของสายพานคัดแยกฝักมะขามใช้เซนเซอร์ในการคัดขนาดฝักบนสายพานลำเลียงจำเป็นต้องเรียงที่ละฝักไม่สอดคล้องกับ (จินต อ่อนนอก และคนอื่นๆ, 2566, น.1) ที่ลำเลียงฝักมะขามครั้งละมากและใช้คน 5 คน คัดแยกบนสายพานลำเลียงความเร็วสายพานจึงแตกต่างกัน ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพผลการทดลองด้านปริมาณในการคัดแยกมะขามลักษณะฝักตรงพันธุ์ศรีชมภู คิดเป็น 7,788.6 ฝัก/ชั่วโมง และลักษณะฝักโค้งพันธุ์สีทอง คิดเป็น 5,601.6 ฝัก/ชั่วโมง ไม่สอดคล้องงานวิจัย (บัณฑิต จริโมภาส และนิติพงษ์ ใจสิน, 2549, น.282) คัดแยกมะขามลักษณะฝักตรงพันธุ์ศรีชมภูเฉลี่ย 1,491 ฝัก/ชั่วโมง และมะขามลักษณะฝักโค้งพันธุ์สีทอง เฉลี่ย 1,517 ฝัก/ชั่วโมง และไม่สอดคล้องกับ (ธีรพงษ์ ศรีจันทร์หอม และคนอื่นๆ, 2560, น.5) เนื่องจากใช้เทคนิคการคัดแยกที่ต่างกัน ความแม่นยำในการคัดแยกมะขามฝักยาวไม่แตกต่างกันมากอยู่ในเกณฑ์ค่าความแม่นยำในการคัดแยกฝักมะขามไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 แต่มะขามฝักสั้นจะต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเนื่องจากฝักสั้นของข้างกลมทำให้เกิดการลื่นอยู่บนสายพานและเกิดการร่วงหล่นลงไปในช่องคัดขนาดฝักยาวบ้าง ส่วนค่าความเสียหายของฝักมะขามหลังคัดแยกไม่เกินร้อยละ 5 อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ มีค่าใช้จ่ายรวมของเครื่อง 72.96 บาท/ชั่วโมง จุดคุ้มทุน 1,589 ชั่วโมง/ปี ระยะเวลาในการคืนทุน 0.02 ปี



สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวาน ผลการทดสอบประสิทธิภาพ พบว่า ปริมาณในการคัดแยกมะขามหวานลักษณะฝักตรง จำนวน 344 ฝัก แบ่งเป็น ฝักยาว 153 ฝัก ฝักสั้น 191 ฝัก ใช้เวลาเฉลี่ย 2.65 นาที สามารถคัดแยกได้ตามขนาดเฉลี่ย ฝักยาว 150.00 ฝัก ฝักสั้น 160.33 ฝัก ไม่ตามขนาดเฉลี่ย ฝักยาว 3.00 ฝัก ฝักสั้น 30.67 ฝัก ความแม่นยำในการคัดแยกเฉลี่ยตามขนาดคิดเป็นฝักยาวร้อยละ 98.04 ฝักสั้นร้อยละ 83.94 ไม่ตามขนาดคิดเป็นฝักยาวร้อยละ 1.96 ฝักสั้นร้อยละ 16.06 ความเสียหายของฝักมะขามหลังการคัดแยกเฉลี่ย 7.33 ฝัก คิดเป็นร้อยละ 2.13 มะขามหวานลักษณะฝักโค้ง จำนวน 225 ฝัก แบ่งเป็น ฝักยาว 115 ฝัก ฝักสั้น 110 ฝัก ใช้เวลาเฉลี่ย 2.41 นาที สามารถคัดแยกได้ตามขนาดเฉลี่ย ฝักยาว 110.33 ฝัก ฝักสั้น 94.33 ฝัก ไม่ตามขนาดเฉลี่ย ฝักยาว 4.67 ฝัก ฝักสั้น 15.67 ฝัก ความแม่นยำในการคัดแยกเฉลี่ยตามขนาดคิดเป็นฝักยาวร้อยละ 95.94 ฝักสั้นร้อยละ 85.76 ไม่ตามขนาดคิดเป็นฝักยาวร้อยละ 4.06 ฝักสั้นร้อยละ 14.24 ความเสียหายของฝักมะขามหลังการคัดแยกเฉลี่ย 6.67 ฝัก คิดเป็นร้อยละ 2.96 การใช้พลังงานไฟฟ้า 0.814 หน่วย/ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า 3.1816004 บาท/ชั่วโมง ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ มีค่าใช้จ่ายรวมของเครื่อง 72.96 บาท/ชั่วโมง จุดคุ้มทุน 1,589 ชั่วโมง/ปี และระยะเวลาในการคืนทุน 0.02 ปี

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ควรถ่ายทอดต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวานสำหรับผู้ประกอบการมะขามหวานเพื่อเป็นทางเลือกในการปรับใช้เพื่อลดปัญหาด้านแรงงานคัดแยกฝักมะขาม เพิ่มประสิทธิภาพการคัดแยกฝักมะขาม
2. ควรพิจารณาการใช้เซนเซอร์ในรูปแบบอื่น เช่น Image Processing เป็นต้น เพราะในปัจจุบันมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง แต่ต้องพิจารณาด้านสมรรถนะการทำงาน ราคา และความพร้อมของผู้ใช้ในพื้นที่
3. ควรขยายผลไปใช้ในการไปใช้กับชิ้นงานอื่นๆ เช่น การคัดแยกกุ้ง สัตว์น้ำต่างๆ เป็นต้น

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการพัฒนาต่อยอดเพื่อให้ต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวานมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เช่น พัฒนาความแม่นยำในการคัดแยกฝักมะขามเพิ่มขึ้น พัฒนาปริมาณในการคัดแยกฝักมะขามให้เพิ่มขึ้น พัฒนาระบบสำรองข้อมูลการคัดแยกฝักมะขาม และพัฒนาโครงสร้างเครื่องให้มีขนาดกะทัดรัด
2. ในการออกแบบและพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวานครั้งต่อไปควรมีการใช้ Finite Element เพื่อช่วยลดขนาดของเครื่องรวมไปถึงชิ้นส่วนที่ไม่จำเป็นลงได้ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายลงได้



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร และกรรมการที่ปรึกษาทุกท่าน ขอขอบคุณวิสาหกิจชุมชนดวงทอง ตำบลห้วยโป่ง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลและเป็นสถานที่ในการวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี



เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพย์สินทางปัญญา. (2548). *ประกาศกรมทรัพย์สินทางปัญญา เรื่อง การขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ มะขามหวานเพชรบูรณ์ ทะเบียนเลขที่ สช 48100003*.

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2563). มะขาม. <http://www.agriinfo.doae.go.th/year63/plant/rortor/fruit/tamarine.pdf>
- ธนศ อ้อมนอก, เอื้อบุญ ที่พึ่ง, นิวัตร พัฒนะ, และธราทิพย์ ศรีสัตตบุตร. (2566). ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ไฟฟ้าและความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์คัดแยกมะขามแบบสายพานลำเลียงและการพัฒนา. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, 5(1), 1-10.
- ธีรพงษ์ ศรีจันทอม, ชัยมงคล ไชยชนะ, ชัยพร พลัดกลาง, พีรณัฐ อันสุรีย์, และวิทยา บุญคำ. (2560, 4-7 กรกฎาคม). *เครื่องคัดแยกมะขามหวานพันธุ์สีทอง* [การนำเสนอบทความ]. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- บัณฑิต จริโมภาส และนิติพงษ์ ใจสิน. (2549). เทคนิคการประมวลผลด้วยภาพคัดแยกฝักมะขาม. *ว. วิทย. กษ.*, 37(5), 280-283.
- ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์, อนันตกุล อินทรผดุง, ดุชนิ สุภารัตนะกุล, และนัฐพงศ์ ส่องเนียม. (2565, 19 มีนาคม). *การแปลงความต้องการของผู้ประกอบการมะขามหวานเป็นข้อกำหนดการออกแบบเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวานด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ* [การนำเสนอบทความ]. การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปี พ.ศ. 2565, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- สำนักงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ. (2558). *มะขามไทยในตลาดอินเดีย (ตอนใต้)*. https://www.ditp.go.th/contents_attach/139740/139740.pdf
- Humt, D., & Wilson, D. (2015). *Farm Power and Machinery Management*. (11th ed.). Waveland Press.
- MarcSolarbrother. (2023, June 16). *Electrical concepts: W, Wh, A, Ah, mAh, V*. solarbrother. Solar Brother. https://www.solarbrother.com/en/blog/electrical-concepts-w-wh-a-ah-mah-v/?srsltid=AfmBOOouL_eqvFgtR-tHxkwwKDfkaq8Svrkt_3hEXjNXBztl-oeP6-ru-
- Stonier, A. W. (1980). *A Text Book of Economic Theory*. (5th ed.). Longman.
- Tangwannawit, P., & Tangwannawit, S. (2022). Feature extraction to predict quality of segregating sweet tamarind using image processing. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 25(1), 339-346. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v25.i1.pp339-346>