

การพัฒนาเครื่องคัดขนาดผลมะเขือเทศเชอร์รี่แบบทรงกระบอกสำหรับมูลนิธิโครงการหลวง Development of Cylindrical Grading Machine for Cherry Tomatoes in Royal Project Foundation

เผ่าไท ทยะพิงค์¹ วิฑูรย์ บุญสง่า¹ และ ศีลวัต พัฒโนดม¹
Paothai Thayaping¹, Witoon Boonsanga¹ and Silawat Patthanodom¹

บทคัดย่อ

มูลนิธิโครงการหลวงได้ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกมะเขือเทศเชอร์รี่บนพื้นที่สูง มีปริมาณผลผลิตรวม 842 ตัน/ปี และด้วยผลมะเขือเทศเชอร์รี่มีขนาดเล็ก ปัจจุบันประสบปัญหาการคัดขนาดมีความแม่นยำต่ำ ใช้เวลานาน และขาดแคลนแรงงาน จึงได้วิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา เครื่องคัดขนาดผลมะเขือเทศเชอร์รี่อัตโนมัติแบบทรงกระบอก เพื่อเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพการคัดขนาด และลดการพึ่งพาแรงงาน โดยเครื่องประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่ โครงสร้าง ถาดป้อนผลผลิต (รองรับผล 20 กก./ครั้ง) ชุดคัดแยกขนาดแบบทรงกระบอก (แบ่ง 4 เกรด ตามเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 - ≥ 2.5 ซม.) และระบบส่งกำลังด้วยมอเตอร์ปรับความเร็วได้ ผลการทดสอบพบว่า เครื่องมีความแม่นยำในการคัดขนาดเฉลี่ย 83.26% ที่ความเร็ว 30 รอบ/นาที โดยมีความสามารถในการทำงานเฉลี่ยที่ 175.29 ± 35.54 กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าแรงงานคนถึง 4.55–7.22 เท่า (แรงงานคนคัดได้ 28–30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง)โดยใช้พลังงานไฟฟ้าเพียง 0.125 กิโลวัตต์-ชั่วโมง มีระยะคืนทุน 1.16 ปี นอกจากนี้ยังไม่พบการแตกหรือตำหนิที่เกิดจากแรงกระแทกระหว่างการคัด และไม่พบผลซ้ำ และมีผลประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด โดยเครื่องที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถแก้ไขปัญหาความแม่นยำต่ำและขาดแคลนแรงงานของมูลนิธิโครงการหลวงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยเพิ่มกำลังการผลิต ลดต้นทุนระยะยาว และได้รับการยอมรับในระดับสูงจากผู้ใช้งาน พร้อมสำหรับการขยายผลต่อไป

คำสำคัญ: เครื่องคัดขนาดอัตโนมัติ, มะเขือเทศเชอร์รี่, เครื่องคัดขนาดแบบทรงกระบอก

Abstract

The Royal Project Foundation has promoted cherry tomato cultivation in highland areas, with a total production volume of 842 tons per year. However, due to the small fruit size, grading currently faces problems such as low accuracy, long processing time, and labor shortages. Therefore, this research aimed to develop an automatic cylindrical cherry tomato sizing machine to enhance grading accuracy and efficiency while reducing labor dependency. The developed machine consists of four main components: a structural frame, a feeding tray (with a capacity of 20 kg per batch), a cylindrical grading unit (dividing fruits into four grades based on diameter ranging from 1.5 to ≥ 2.5 cm), and a motor-driven power transmission system with adjustable speed. Experimental results demonstrated an average grading accuracy of 83.26% at 30 rpm, with an average processing capacity of 175.29 ± 35.54 kg/h, which is 4.55–7.22 times higher than manual labor (28–30 kg/h). The system consumed only 0.125 kWh of electricity and showed an economic payback period of 1.16 years. Moreover, no fruit cracking or duplication was observed during operation, and user satisfaction was rated at the highest level. The prototype unit was delivered to a field station, with user satisfaction evaluated at the highest level. This automatic sizing machine effectively addresses the limitations of manual grading by improving productivity, reducing long-term costs, and achieving high user acceptance. It presents strong potential for broader application in sustainable agricultural practices

Keywords: automatic grading, cherry tomato, cylindrical sorter

คำนำ

มูลนิธิโครงการหลวงมีนโยบายมุ่งสืบสาน รักษา และต่อยอดการพัฒนาคุณภาพชีวิตเกษตรกรบนพื้นที่สูง ควบคู่กับการส่งเสริมการผลิตพืชปลอดภัยภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์และ GAP โดย มะเขือเทศเชอร์รี่ เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่ได้รับการส่งเสริมเนื่องจากมีความต้องการสูงในตลาด ทั้งนี้ ในปี 2565 มูลนิธิโครงการหลวงได้รับผลผลิตมะเขือเทศเชอร์รี่มากกว่า 301 ตัน ซึ่งจำเป็น

¹ มูลนิธิโครงการหลวง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรโครงการหลวง ชนกาธิเบศรดำริ, เชียงใหม่, 50100

¹ Chanaka Dhibesra Damri Royal Project Agricultural Research and Development Center, Chiang Mai, 50100

ต้องผ่านการคัดขนาดตามมาตรฐานเกรด อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันการคัดแยกยังอาศัยแรงงานคนที่ต้องใช้ความชำนาญและเวลา ส่งผลให้ประสิทธิภาพต่ำ ความล่าช้าในการส่งมอบ และความผิดพลาดในการคัดเกรดที่ทำให้มูลค่าผลผลิตลดลง

เครื่องคัดมะเขือเทศเชอร์รี่ในเชิงอุตสาหกรรมที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีราคาสูงกว่า 200,000–1,000,000 บาท และต้องติดตั้งในโรงงานมาตรฐาน ซึ่งไม่เหมาะสมกับศูนย์พัฒนาโครงการหลวงที่ผ่านมา งานวิจัยทั้งในและต่างประเทศได้พัฒนาเครื่องคัดผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิด เช่น เครื่องคัดลำไย เครื่องคัดเมล็ดบัว เครื่องคัดเมล็ดกาแฟ รวมถึงเครื่องผลเชอร์รี่ทั้งแบบตะแกรงร่อน ลูกกลิ้ง และสายพาน (นเรศ และคณะ, 2560) ตลอดจนเทคโนโลยีการใช้ RGB Color Sensors (Batra *et al.*, 2020) และ Image Processing (Moghaddm *et al.*, 2013) ในการแยกขนาดและความสุกของผลผลิต ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำและลดการพึ่งพาแรงงาน

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องคัดขนาดมะเขือเทศเชอร์รี่แบบอัตโนมัติที่สามารถคัดได้อย่างน้อย 4 มาตรฐานเกรด โดยออกแบบให้มีต้นทุนต่ำ เหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่มูลนิธิโครงการหลวง ทั้งนี้ การออกแบบเครื่องได้กำหนดเกณฑ์การออกแบบ (Design Criteria) เพื่อให้ได้ต้นแบบที่มีประสิทธิภาพและใช้งานได้จริง ประกอบด้วย (1) สามารถคัดขนาดได้อย่างน้อย 4 ระดับ ตามเส้นผ่านศูนย์กลางผล 1.5–≥2.5 เซนติเมตร, (2) ลดการซ้ำของผลผลิตขณะคัดแยก, (3) ใช้วัสดุที่ไม่เป็นสนิมและปลอดภัยต่ออาหาร, (4) สามารถปรับความเร็วของระบบขับเคลื่อนได้, (5) มีต้นทุนต่ำและสามารถซ่อมบำรุงได้ง่าย และ (6) ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับพื้นที่สูง เครื่องที่พัฒนาขึ้นนี้เพื่อเป็นต้นแบบเครื่องทุนแรงที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและรองรับความต้องการของตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถลดต้นทุนการผลิตด้านแรงงานของเกษตรกรในพื้นที่สูงได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การศึกษาข้อมูลสำหรับออกแบบเครื่องคัดขนาดผลมะเขือเทศเชอร์รี่

1.1 วิธีการคัดขนาดมะเขือเทศเชอร์รี่ในปัจจุบัน

ทำการศึกษาวิธีการคัดขนาดมะเขือเทศเชอร์รี่ตามมาตรฐานเกรดของมูลนิธิโครงการหลวง โดยอ้างอิงจากคู่มือการรับซื้อผลผลิต ดังนี้ เกรด 1 ผลมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ≥2.5 เซนติเมตร เกรด 2 ผลมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0–2.4 เซนติเมตร เกรด 3 ผลมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5–1.9 เซนติเมตร เกรด 4 ผลมีเส้นผ่านศูนย์กลาง <1.5 เซนติเมตร และทุกเกรดมีตำหนิที่เกิดจากแมลงไม่เกิน 10% ของผล และเก็บข้อมูลเชิงปริมาณเกี่ยวกับปริมาณการคัดแยกโดยแรงงานคน พร้อมทั้งสำรวจและสัมภาษณ์ปัญหาที่เกิดขึ้นภายหลังการคัดแยกด้วยแรงงาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดขนาดและรูปแบบของเครื่องคัดขนาดอัตโนมัติ

1.2 ลักษณะทางกายภาพของมะเขือเทศเชอร์รี่

เก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของมะเขือเทศเชอร์รี่ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลาง น้ำหนัก และสีของผลผลิต เพื่อใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการออกแบบระบบการคัดขนาด โดยเก็บตัวอย่างอย่างน้อย 100 ผล นำมาวิเคราะห์หาค่ากลางและค่าความแปรปรวน

2. การออกแบบโครงสร้างเครื่องและระบบคัดขนาดอัตโนมัติ

ทำการออกแบบเครื่องคัดขนาดโดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาข้างต้น พร้อมถอดแบบและจัดทำคู่มือสำหรับการประกอบเครื่องต้นแบบ ส่วนประกอบหลักของเครื่องประกอบด้วย

1. โครงสร้างหลัก ใช้เหล็กเป็นวัสดุหลักโครงสร้างหลัก ส่วนที่สัมผัสผลผลิตทำจากสแตนเลส สามารถเคลื่อนย้ายได้พร้อมถาดป้อนผลผลิต
2. ระบบควบคุมการทำงาน ประกอบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ แผงวงจรควบคุม ปุ่มสวิตช์ และหน้าจอ LCD Display สำหรับสั่งงานและแสดงผล
3. ระบบส่งกำลัง ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าร่วมกับพูลเลย์ สายพาน และชุดเกียร์ทดรอบ โดยมีอินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมความเร็วรอบในการหมุน
4. ชุดคัดขนาด เป็นตะแกรงอะลูมิเนียมทรงกระบอกหมุนได้ สามารถคัดแยกผลผลิตออกเป็น 4 เกรด โดยผลผลิตจะไหลผ่านช่องตะแกรงตามขนาดและตกลงบนถาดรองรับ

3. การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบในด้านต่าง ๆ ได้แก่

1. เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดขนาด โดยทดสอบเครื่องคัดขนาดที่ความเร็ว 30 และ 36 รอบ/นาที โดยใช้ผลมะเขือเทศเชอร์รี่สด 20 กิโลกรัมต่อรอบ จำนวน 3 ซ้ำ เปรียบเทียบจำนวนผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ถูกคัดถูกต้องตรงตามเกรดมาตรฐานกับจำนวนผลผลิตทั้งหมด จากสมการ

$$E = \frac{W_g}{W_t}$$

E = ประสิทธิภาพการตัดขนาด (%)

W_g = น้ำหนักผลผลิตที่ถูกตัดถูกเกรด (kg)

W_t = น้ำหนักผลผลิตทั้งหมดที่เข้าสู่เครื่อง (kg)

2. ความสามารถในการทำงานจริง โดยคำนวณจากปริมาณผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่เครื่องสามารถตัดแยกได้ต่อหน่วยเวลา (กิโลกรัม/ชั่วโมง) โดยบันทึกน้ำหนักผลผลิตที่ผ่านการคัดแยกและเวลาในการทำงานจริง แล้วนำมาคำนวณความสามารถในการทำงานจริง จากสมการ

$$Q = \frac{W}{t}$$

Q = กำลังการผลิตของเครื่อง (กิโลกรัม/ชั่วโมง; kg/h)

W = น้ำหนักผลที่ตัดได้ทั้งหมด (กิโลกรัม; kg)

t = เวลาในการตัดทั้งหมด (ชั่วโมง; h)

3. เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของผลผลิตหลังคัดแยก โดยคำนวณจากจำนวนผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่แตกหรือชำรุดหลังจากกระบวนการคัดขนาดกับผลผลิตทั้งหมดที่ผ่านการคัด ทำการสุ่มตัวอย่างผลมะเขือเทศเชอร์รี่จำนวน 50 ผล จากแต่ละเกรดที่ตัดได้ เพื่อตรวจสอบลักษณะความเสียหายด้วยการสังเกตด้วยสายตาตามทันทีหลังคัด จากสมการ

$$D = \frac{N_d}{N_t}$$

D = ร้อยละความเสียหายของผลผลิต (%)

N_d = จำนวนผลที่แตกหรือชำ (ผล)

N_t = จำนวนผลทั้งหมดที่ผ่านการคัด (ผล)

4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องคัดอัตโนมัติและแรงงานคน ทำการคัดผลมะเขือเทศเชอร์รี่ปริมาณเท่ากัน (20 กิโลกรัม) โดยแรงงาน 1 คนใช้วิธีคัดด้วยมือ แยกเกรดตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (≥ 2.5 , 2.0–2.4, 1.5–1.9, < 1.5 ซม.) ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ทำซ้ำ 3 ครั้ง บันทึกเวลาเพื่อคำนวณอัตราการคัด (กิโลกรัม/ชั่วโมง/คน) และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

5. การใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยการวัดการใช้พลังงานของมอเตอร์ขับเคลื่อนโรลเลอร์ด้วย เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าดิจิทัล โดยเชื่อมต่อกับระบบจ่ายไฟของเครื่องและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง; kWh) ระหว่างการคัดขนาดที่ความเร็ว 36 รอบ/นาที แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยเป็น พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อการคัด/ชั่วโมง จากสมการ

$$P = \frac{IVt}{1000}$$

P = การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

V = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)

t = เวลา (ชั่วโมง)

4. การประเมินความพึงพอใจและการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

ทำการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานจากศูนย์/สถานีทดลองของมูลนิธิโครงการหลวง โดยใช้แบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ครอบคลุมด้านการออกแบบ ความปลอดภัย ความสะดวกในการใช้งาน และผลผลิตที่ได้ ข้อมูลนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) สำหรับการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback period) โดยสมมติการทำงานวันละ 8 ชั่วโมง เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของเครื่องต้นแบบ

ผล

1. การศึกษาข้อมูลสำหรับออกแบบเครื่องคัดขนาดผลมะเขือเทศเชอร์รี่

1.1 วิธีการคัดขนาดมะเขือเทศเชอร์รี่ในปัจจุบัน

จากการเก็บข้อมูลในพื้นที่ของมูลนิธิโครงการหลวง 2 แห่ง ได้แก่ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่สาใหม่ อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ และศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า การคัดขนาดมะเขือเทศเชอร์รี่ใช้แรงงานคนเป็นหลัก โดยมีทั้งการคัดในแปลงเกษตรกรและอาคารคัดบรรจุ วิธีการคัดแยกส่วนใหญ่ใช้การสังเกตด้วยสายตาร่วมกับการคัดด้วยมือ เพื่อแยกผลผลิตออกเป็นเกรดตามมาตรฐาน โดยที่ศูนย์ฯ แม่สาใหม่ เกษตรกรส่งผลผลิตเข้าสู่อาคารคัดบรรจุได้

ประมาณ 1,000 กิโลกรัม/วัน ใช้แรงงาน 4–5 คน ใช้เวลาประมาณ 6–8 ชั่วโมง ทำให้มีกำลังการผลิตเพียง 25–30 กิโลกรัม/ชั่วโมง/คน ขณะที่ศูนย์ฯ แม่ทาเหนือ พบว่า เกษตรกรคัดขนาดผลในแปลงสามารถคัดได้ 200–300 กิโลกรัม/วัน ใช้เวลา 6–8 ชั่วโมง ด้วยแรงงานเพียง 1–2 คน หรือคิดเป็น 20–50 กิโลกรัม/ชั่วโมง/คน สำหรับด้านอาคารคัดบรรจุของ ศูนย์ฯ แม่ทาเหนือ มีการใช้แรงงาน 5–6 คน สามารถคัดได้ 1,000–2,000 กิโลกรัม ภายใน 4–5 ชั่วโมง หรือประมาณ 60–125 กิโลกรัม/ชั่วโมง/คน (Table 1) ในการคัดขนาดผลมะเขือเทศเชอร์รี่ทั้ง 2 แห่ง แต่ยังมีข้อจำกัดคือ ความล้าของแรงงาน ความไม่สม่ำเสมอในการคัด และระยะเวลาในการดำเนินการที่ค่อนข้างยาวนาน

1.2 ลักษณะทางกายภาพของมะเขือเทศเชอร์รี่

วัดขนาดผลมะเขือเทศเชอร์รี่จำนวน 100 ผล โดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของผล ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ามะเขือเทศเชอร์รี่สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 เกรดมาตรฐาน โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านกว้าง 17.65–25.00 มม. และความยาว 27.25–35.05 มม. (Figure 1) จากผลการศึกษา สามารถกำหนดช่องคัดแยกที่ 17, 20, 23 และ 26 มม.

2. ออกแบบโครงสร้างเครื่องและระบบคัดขนาดอัตโนมัติ

ออกแบบเครื่องคัดขนาดผลมะเขือเทศเชอร์รี่แบบอัตโนมัติ โดยเน้นคุณสมบัติที่สำคัญ ได้แก่ ความรวดเร็ว ความแม่นยำ ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิต ใช้งานง่าย และบำรุงรักษาสะดวก (Figure 2)

เครื่องต้นแบบประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ได้แก่

1. โครงสร้างหลัก ผลิตจากเหล็กกล่อง ขนาด 600×2,450×800 มม. แข็งแรง ทนทานต่อการใช้งาน พร้อมติดตั้งล้อสำหรับเคลื่อนย้าย
2. ถาดป้อนผลผลิต ผลิตจากสแตนเลส ขนาด 600×700×120 มม. มีช่องส่งผลผลิตเข้าสู่ระบบ พร้อมขอบหุ้มป้องกันรอย
3. ชุดคัดแยกขนาดทรงกระบอก ผลิตจากสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลาง 440 มม. ยาว 1,500 มม. สามารถคัดได้ 4 ขนาด ตามระยะห่างของช่องตะแกรง (17, 20, 23 และ 26 มม.) โดยใช้หลักการกลิ้งตามแรงโน้มถ่วงในกระบอกที่หมุนเอียง 10–20 องศา
4. ระบบกำลังส่ง ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า DC ควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์ ส่งกำลังผ่านพูลเลย์และสายพาน ทำให้สามารถปรับความเร็วรอบได้
5. ช่องลำเลียงผลผลิต รองรับผลผลิตหลังคัดแยกให้ลงสู่ภาชนะได้โดยตรง

หลักการทำงานของเครื่องคัดขนาดมะเขือเทศเชอร์รี่แบบอัตโนมัติอาศัยการหมุนของกระบอกคัดแยกที่เอียง จากนั้นผลผลิตจะเคลื่อนที่ไปตามความลาดเอียงและตกลงผ่านช่องคัดแยกที่มีขนาดต่างกัน ทำให้ถูกแยกเป็นหลายเกรดขนาดอย่าง ต่อเนื่องผลผลิตแต่ละเกรดจะถูกส่งต่อผ่าน ช่องทางลำเลียง ลงสู่ภาชนะรองรับ และสามารถปรับความเร็วรอบของกระบอก เพื่อควบคุม ประสิทธิภาพ และความแม่นยำในการคัดแยกได้

3. การทดสอบประสิทธิภาพ

3.1 ความแม่นยำในการคัดขนาด

ทดสอบที่ความเร็ว 30 และ 36 รอบ/นาที พบว่าที่ 30 รอบ/นาที ความแม่นยำเฉลี่ยสูงสุด 83.26% ในขณะที่ 36 รอบ/นาที ความแม่นยำเฉลี่ยลดลงเหลือ 74.33% ดังนั้น ความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการคัดอยู่ที่ 30 รอบ/นาที (Figure 3)

3.2 ความสามารถในการทำงานจริง

ที่ความเร็ว 30 รอบ/นาที เครื่องสามารถคัดได้เฉลี่ย 175.29 ± 35.54 กิโลกรัม/ชั่วโมง ส่วนที่ 36 รอบ/นาที เพิ่มขึ้นเป็น 245.56 ± 24.12 กิโลกรัม/ชั่วโมง แม้ว่าความเร็วรอบที่สูงกว่าจะเพิ่มผลผลิตต่อชั่วโมง แต่ความแม่นยำลดลง ดังนั้นควรเลือกใช้ความเร็วรอบตามเป้าหมายการผลิต

3.3 ความเสียหายของผลผลิต

ไม่พบผลแตกหรือผลชำรุดในการคัดขนาดจำนวน 4 ครั้ง ที่ความเร็ว 30 และ 36 รอบต่อนาที (น้ำหนัก 15 กิโลกรัม/ ครั้ง) โดยมีค่าเฉลี่ยอัตราความเสียหายเท่ากับ 0% ทั้งสองระดับความเร็ว แสดงให้เห็นว่าเครื่องคัดขนาดผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิต (Table 2)

3.4 การใช้พลังงานไฟฟ้า

ที่ความเร็ว 36 รอบ/นาที เครื่องใช้พลังงานเพียง 0.125 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือราว 0.625 บาท/ชั่วโมง เมื่อเทียบกับต้นทุนค่าแรง ถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่ต่ำมาก

3.5 การเปรียบเทียบกับแรงงานคน

เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคน เครื่องสามารถคัดได้ 128–217 กิโลกรัม/ชั่วโมง ในขณะที่แรงงานคนคัดได้เพียง 28–30 กิโลกรัม/ชั่วโมง แสดงว่าเครื่องมีประสิทธิภาพสูงกว่าแรงงานคนถึง 4.55–7.22 เท่า และเครื่องคัดขนาดผลมะเขือเทศเชอร์รี่อัตโนมัติ

สามารถคัดขนาดผลมะเขือเทศเชอร์รี่ได้สูงกว่าการคัดแบบแรงงานคน แสดงว่า วิธีการคัดขนาดมีผลต่อปริมาณผลผลิตที่คัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ (Table 3)

4. การประเมินความพึงพอใจและการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

ต้นทุนเครื่องรวมค่าเสื่อมราคาเท่ากับ 49,500 บาท ขณะที่การใช้แรงงานต้องใช้แรงงาน 9 คน เพื่อให้ได้ผลผลิตเทียบเท่าเครื่อง 1 เครื่อง ค่าแรงต่อวันสูงถึง 2,700 บาท ในขณะที่เครื่องมีต้นทุนรวมเพียง 605 บาท/วัน (รวมค่าไฟฟ้า) สามารถประหยัดได้ 2,095 บาท/วัน หรือ 42,634.59 บาท/ปี ที่ผลผลิต 40,000 กก./ปี ส่งผลให้มีระยะเวลาคืนทุนสั้นเพียง 1.16 ปี เป็นการลงทุนที่คุ้มค่าและมีศักยภาพในการต่อยอดเชิงพาณิชย์ (Table 4)

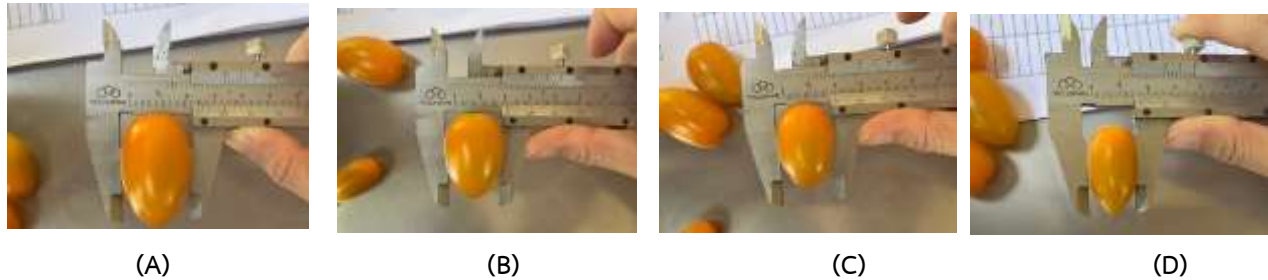


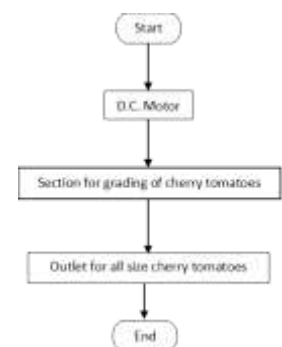
Figure 1 The characteristics of cherry tomato fruits can be classified into four grades based on fruit size: Grade 1 (A), Grade 2 (B), Grade 3 (C), and Grade 4 (D)



(A)



(B)



(C)

Figure 2 Structural Design (A) and Assembled Prototype (B) of the Automatic Cherry Tomato Grading Machine, with the Principles of Operation (C) detailing its function.

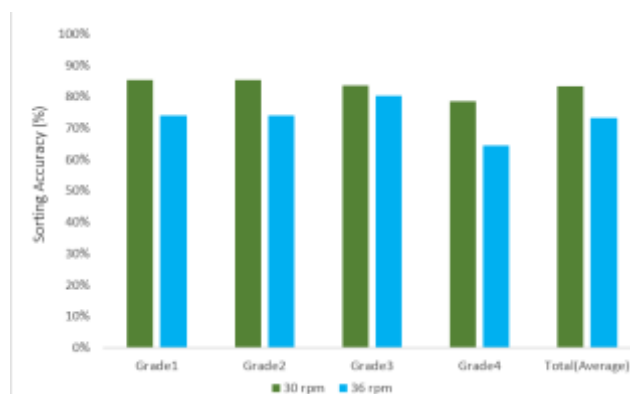


Figure 3 The average sizing accuracy percentage of the automatic cherry tomato sorting machine at speeds of 30 and 36 revolutions per minute (rpm)

Table 1 Efficiency of Cherry Tomato Grading by the Royal Project Foundation at Packing House and Farm Plots: Mae Tha Nuea RPF and Mae Sa Mai RPF.

Grading Location	Cherry Tomato Yield (kg)	Duration (hours)	Grading Capacity (kg/hour/person)
Farmer's plots (Mae Tha Nuea RPC)	200-300	6 - 8	30 - 50
Packing house (Mae Tha Nuea RPC)	1,000 – 2,000	4-5	60- 125
Packing house (Mae Sa Mai RPC)	1,000	4-5	25 - 30

Table 2 Summary of fruit damage rate during grading at different rotational speeds

Rotational speed (rpm)	No. of trials	Sample weight (kg/trial)	Mean damage rate (%)	Observation
30	4	15	0	No cracked or bruised fruits
36	4	15	0	

Note: No physical damage was observed in any test.

Table 3 Mean grading capacity of automatic and manual cherry tomato sorting methods with ANOVA analysis

Grading Method	Mean $\pm$ SD (kg/h)	Range (kg/h)	Efficiency ($\times$ Human Labor)	F value	p-value
Automatic Machine	176.67 $\pm$ 44.64	128–217	4.55–7.22	32.17	0.004 *
Manual Labor	29.00 $\pm$ 1.00	28–30	1.00		

Note: * Differences between means are statistically significant at $p < 0.05$ according to one-way ANOVA.

Table 4 Comparative analysis of the automatic cherry tomato grading machine and manual labor based on value engineering principles

Value Engineering Principles / Details	Automatic Grading Machine	Manual Labor
Increase value by enhancing productivity (kg/day)	1,965.54	240
Increase value by reducing labor cost (number of workers)	2 persons (600 THB/day)	9 persons (2,700 THB/day)
Energy consumption (THB/day)	5	
Total operating cost (THB/day)	605	2,700
Labor cost difference (THB/day)	2,095	
Annual production capacity (kg/year)	40,000	
Cost reduction capacity	$40,000/1,965.54 \times 2,095 = 42,634.59$	
Depreciation (straight-line, 5 years)	$45,000 + 4,500 = 49,500$	
Payback period (years)	$49,500/42,634.59 = 1.16$ years	

วิจารณ์ผล

ผลการพัฒนาและทดสอบเครื่องคัดขนาดมะเขือเทศเชอร์รี่แบบอัตโนมัติ แสดงให้เห็นว่าเครื่องสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการคัดได้มากกว่าแรงงานคนถึง 4.5–7.2 เท่า โดยไม่พบความเสียหายของผลผลิต และมีความแม่นยำเฉลี่ยสูงกว่า 80% ที่ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu *et al.* (2018) ที่พัฒนาเครื่องคัดแยกผลผลิตพืชตระกูลเบอร์รี่ด้วยระบบกระบอกลม พบว่า ความแม่นยำในการคัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบการทำงาน แต่สามารถทดแทนด้วยการเพิ่มปริมาณผลผลิตที่คัดต่อหน่วยเวลา และ Zhang *et al.* (2020) ที่พัฒนาเครื่องคัดขนาดมะเขือเทศโดยใช้สายพานลำเลียงและเซ็นเซอร์ตรวจจับขนาด พบว่าความแม่นยำอยู่ที่ประมาณ 85% แต่ต้นทุนการผลิตเครื่องค่อนข้างสูงและใช้พลังงานมากกว่าเครื่องที่พัฒนาขึ้นในครั้งนี้ ดังนั้น เครื่องคัดขนาดต้นแบบของงานวิจัยนี้จึงมีข้อได้เปรียบในด้าน ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ การใช้พลังงานต่ำ และโครงสร้างเรียบง่ายซ่อมบำรุงง่าย เหมาะกับการประยุกต์ใช้ในระดับศูนย์รวบรวมผลผลิตของชุมชนหรือสหกรณ์

สรุปผล

การศึกษานี้ได้พัฒนาเครื่องคัดขนาดผลมะเขือเทศเชอร์รี่แบบอัตโนมัติที่สามารถคัดแยกผลผลิตออกเป็น 4 ขนาด ตามมาตรฐานเกรดที่กำหนด โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากการสำรวจวิธีการคัดขนาดในพื้นที่เพาะปลูกจริง และการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลมะเขือเทศเชอร์รี่เพื่อนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ ผลการทดสอบพบว่า เครื่องสามารถคัดแยกผลมะเขือเทศเชอร์รี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีความแม่นยำสูงสุดเฉลี่ย 83.26% ที่ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที และมีกำลังการผลิตเฉลี่ย 245.56 ± 24.12 กิโลกรัม/ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 36 รอบ/นาที โดยไม่พบความเสียหายของผลผลิตหลังคัดแยก เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคน เครื่องคัดขนาดสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้มากกว่า 4.55–7.22 เท่า ลดจำนวนแรงงานที่ต้องใช้จาก 9 คนเหลือเพียง 2 คนต่อการทำงานเทียบเท่า นอกจากนี้ยังมีการสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ เฉลี่ย 0.125 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือเพียง 0.625 บาท/ชั่วโมง จึงถือว่ามีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยมีระยะเวลาในการคืนทุนเพียง 1.16 ปี จากมูลค่าการลงทุน 45,000 บาท จุดเด่นของเครื่องนี้คือ ความรวดเร็ว แม่นยำ ใช้งานง่าย เคลื่อนย้ายสะดวก ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิต และช่วยลดต้นทุนแรงงานได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมูลนิธิโครงการหลวงที่ได้มอบทุนวิจัยเพื่อสนับสนุนโครงการนี้ และเกษตรกรทุกท่านที่กรุณาให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และขอขอบคุณทีมวิจัยและผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ทุ่มเทแรงกายแรงใจในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- นเรศ อินตะวงศ์ กนต์ธีร์ สุขตากจันทร์ และดอน วิละคำ. 2560. การออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดมะเขือเทศเชอร์รี่. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน).
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2564). รายงานสถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญปี 2563. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- Batra D., Hardik R. and Hema N. 2020. Automated Tomato Sorting Machine. Jaypee Institute of Information Technology-Noida Sec 128 (L3).
- Kumar, S., Singh, A., & Sharma, R. (2017). Design and development of tomato grader for small scale farmers. International Journal of Agricultural Engineering, 10(1), 45–52.
- Liu, H., Li, J., & Chen, Y. (2018). Development of rotary drum grading machine for small fruits. Applied Engineering in Agriculture, 34(2), 247–254.
- Moghaddam P. A., Omid O. A. and A. M. Motlagh. 2013. Online tomato sorting based on shape, maturity, size, and surface defects using machine vision. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 37: 62-68.
- Zhang, X., Li, Y., & Wang, Z. (2020). Development of tomato sorting machine using machine vision and conveyor system. Journal of Agricultural Engineering Research, 45(3), 112–124.