

การออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส
สำหรับกลุ่มผู้ผลิตมะขามจังหวัดเพชรบูรณ์
A DESIGN AND DEVELOPMENT OF A SEASONED SOUR TAMARIND
CUBE FORMING MACHINE FOR TAMARIND PRODUCERS
IN PHETCHABUN PROVINCE

ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์*, บุญสิน นาดอนดู

Saksirichai Srisawad*, Boonsin Nadondu

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ ประเทศไทย 67000

Faculty of Agricultural and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University,

Muang, Phetchabun, Thailand, 67000.

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

วันที่เข้ารับ 15 สิงหาคม 2566

วันที่แก้ไขบทความ 10 ธันวาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 15 ธันวาคม 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เน้นการออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรสสำหรับกลุ่มผู้ผลิตมะขามในจังหวัดเพชรบูรณ์ ตัวเครื่องประกอบด้วยชุดด้ามขึ้นรูป ชุดสปริงดันด้ามขึ้นรูป และชุดฐานเครื่อง ขนาดเครื่องทั้งหมด คือ 200 x 305 x 386 มม. ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องมีความพึงพอใจในออกแบบและพัฒนาเครื่อง โดยปริมาณการผลิตเครื่องที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานเร็วขึ้น 1.8 เท่า คิดเป็น 83.3% เมื่อเทียบกับเครื่องเดิม ขนาดก้อนมะขามหลังการขึ้นรูปเฉลี่ยเปลี่ยนไปคิดเป็นกว้างเพิ่มขึ้น 102.8 % ยาวลดลง 95.1 % และสูงเพิ่มขึ้น 102.8 % และแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเฉลี่ยประมาณ 3.6 นิวตัน การพัฒนาเครื่องยังช่วยเพิ่มความสะดวกในกระบวนการบรรจุหีบห่อ โดยก้อนมะขามหลังการขึ้นรูปมีเหลี่ยมวัสดุที่เข้ารูปและไม่คลายตัว ทำให้การบรรจุเข้ากล่องเป็นไปอย่างสะดวกและสวยงาม

คำสำคัญ: การออกแบบและพัฒนา, เครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส, สมรรถนะการผลิต

Abstract

This research focused on the design and development of a seasoned sour tamarind cube forming machine for tamarind producers in Phetchabun Province. The machine consisted of a molding handle, a spring molding handle, and a base. The size of the machine size was 200 x 305 x 386 mm. The results showed that relevant experts were satisfied with the design and development of the machine. The production speed of the machine could be increased by 1.8 times or 83.3% compared with the original machine. The average size change of the tamarind cube after molding was 102.8%, the length was reduced by 95.1%, and the height increased by 102.8%. The average forming force was of about 3.6 N. The development of the machine also improved the convenience of the packaging process. The formed tamarind cube was square and not loosen; therefore, the packaging was convenient and beautiful.

Keywords: Design and development, Tamarind cube forming machine, Production performance

1. บทนำ

จังหวัดเพชรบูรณ์สามารถผลิตมะขามเปรี้ยวปี 2566 จำนวน 1,807.85 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2566) มีกลุ่มวิสาหกิจชุมชนนำมะขามเปรี้ยวไปสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับจังหวัดและประเทศหลากหลายกลุ่ม วิสาหกิจชุมชนกลุ่มดวงทอง ตำบลห้วยโป่ง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นอีกหนึ่งกลุ่มที่จำหน่ายผลิตภัณฑ์จากมะขามเปรี้ยวได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ส่งขายตามห้างสรรพสินค้าสร้างรายได้ให้กับกลุ่มจนกลายเป็นรายได้สำคัญ ผลิตภัณฑ์“มะขามเปรี้ยวอัดก้อน” และเคยได้รับรางวัลชนะเลิศปี 2559 จากสำนักงานพัฒนาชุมชนจังหวัดเพชรบูรณ์ และเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ ระดับ 4 ดาว มียอดความต้องการสั่งซื้อภายในประเทศเฉลี่ยเดือนละ 10,000 กล่อง และยังเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง ในการลงพื้นที่ศึกษากระบวนการห่อก้อนเนื้อมะขามนี้จะผ่านการอบไล่ความชื้นเนื้อมะขามจะแข็งและเหนียวเล็กน้อย ลักษณะก้อนเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 25.4 x 25.4 x 25.4 มิลลิเมตร 1 กล่อง บรรจุ 12 ก้อน น้ำหนักเฉลี่ย 120 กรัม/กล่อง โดยปกติจะห่อก้อนเนื้อมะขามประมาณ 120,000 ก้อน/เดือน ในกระบวนการนี้จะแยกออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกพับห่อก้อนเนื้อมะขามโดยใช้ลูมึนเฝ้ายมพอยล์ห่อกระดาษเคลือบ ในการพับห่อก้อนเนื้อมะขามวัสดุที่ใช้ห่อจะยังไม่เข้ารูปทรงจะเกิดการคายตัวฟูหลังการห่อตามรูปทรงก้อนมะขามที่เกิดจากกระบวนการตัดก้อนเนื้อมะขาม และขั้นตอนสองการขึ้นรูปก้อนเนื้อมะขามให้เข้ารูปทรงลูกบาศก์ โดย 2 ขั้นตอนนี้จ้างแรงงาน 10 คน โดยคิดก้อนละ 0.30 บาท แรงงานหนึ่งคนสามารถห่อได้ 1,500 ก้อน/วัน คิดเป็น 450 บาท/

คน ซึ่งมะขาม 1 ก้อน จะขึ้นรูปก้อนเนื้อมะขามจำนวน 2 ครั้ง ทุกก้อน (พรรณนิภา, การสื่อสารส่วนบุคคล, 22 สิงหาคม 2561) เพื่อให้สามารถเรียงบรรจุลงกล่องได้อย่างพอดี ด้วยอุปกรณ์ทำจากสแตนเลสแท่งและใช้มือกดลงบนพิมพ์กรอบสี่เหลี่ยมด้วยแรงงานคน เนื่องจากต้องใช้ออกแรงค่อนข้างมากเมื่อทำงานเป็นเวลานานๆ จึงเกิดความเมื่อยล้า จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า (นันท์ภัทร์ และคณะ, 2562) ได้พัฒนานวัตกรรมการผลิตปลาร้ามอดกึ่งสำเร็จรูปโดยเครื่องอัดเป็นก้อนประสานด้วยกลีเซอรินข้อเสียทำให้ค่าความแข็ง การเกาะรวมตัวกัน ค่าความเหนียว ค่าพลังงานที่ใช้ในการบดเคี้ยวเพิ่มสูงขึ้น (ประพันธ์พงษ์ และคณะ, 2565) ได้ศึกษาสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อั้งโล่ประกอบด้วยแม่พิมพ์ตัวผู้ ตัวเมีย ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าและระบบนิวแมติกส์ในการอัดขึ้นรูปข้อจำกัดคือการเพิ่มความดันลมส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นเฉลี่ย 13.35% (ฤทธิรงค์, 2562) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง โดยนำระบบนิวแมติกส์เข้ามาช่วยในการกดแผ่นข้าวโป่งและใช้ระบบพีแอลซีในการควบคุมการทำงาน (Daramna & Almasri, 2019) เครื่องทำน้ำตาลก้อนโดยการอัดน้ำตาลลงในแม่พิมพ์ลูกบาศก์ จากนั้นเป่าลมร้อนให้ก้อนน้ำตาลเพื่อให้น้ำระเหย การทำงานควบคุมโดยอุปกรณ์ PLC และระบบนิวแมติกไฟฟ้า (Anil *et al.*, 2019) พัฒนาและประเมินเครื่องอัดชีวมวลแรงดันต่ำแบบมือซึ่งทำงานโดยใช้กลไกการกดสกรู (เอกรัฐ และยุทธพงษ์, 2559) ศึกษาและคิดค้นการทำอุปกรณ์ทำลูกปุดตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นประเด็นปัญหาการไม่เข้ารูปทรงของก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรสหลังการห่อ สองปัญหาการลดรอบการขึ้นรูปก้อนเพื่อบรรจุ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการแก้ปัญหาโดยการออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส โดยใช้กลไกง่ายๆ ต้นทุนการผลิตไม่สูง สะดวกต่อการใช้งานและการซ่อมบำรุง สำหรับเพิ่มปริมาณการผลิต

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส สำหรับกลุ่มผู้ผลิตมะขามจังหวัดเพชรบูรณ์
- 2.2 เพื่อทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส สำหรับกลุ่มผู้ผลิตมะขามจังหวัดเพชรบูรณ์
- 2.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส สำหรับกลุ่มผู้ผลิตมะขามจังหวัดเพชรบูรณ์

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

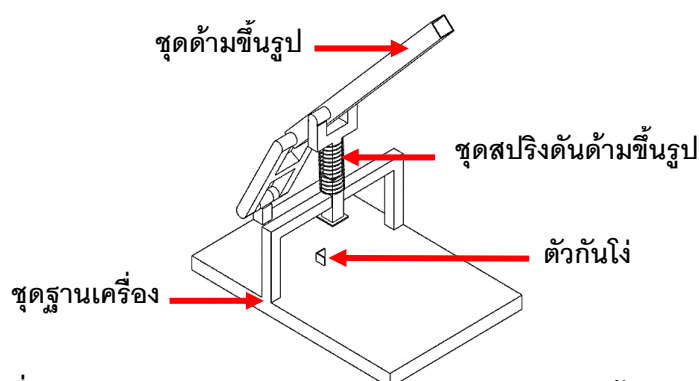
- 3.1 การออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส สำหรับกลุ่มผู้ผลิตมะขามจังหวัดเพชรบูรณ์ มีขั้นตอนดังนี้

3.1.1 ลงพื้นที่จริงเพื่อเก็บข้อมูลปัญหาจริงกับกลุ่มผู้ผลิตมะขามจังหวัดเพชรบูรณ์ และใช้การสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (In-depth interview) โดยผู้ให้ข้อมูลสำคัญ ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญที่มีส่วนเกี่ยวข้อง จำนวน 3 คน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านนวัตกรรมและเทคโนโลยี ด้านการขึ้นรูปก้อนมะขาม และด้านบรรจุภัณฑ์ เก็บข้อมูลด้วยแบบสัมภาษณ์ในการให้ข้อมูลประกอบการออกแบบและพัฒนา



ภาพที่ 1 เครื่องมืออัดขึ้นรูปก้อนมะขามของวิสาหกิจชุมชนดวงทอง

3.1.2 ออกแบบร่างเครื่องต้นแบบ โดยยึดหลักการใช้กลไกง่ายๆ ต้นทุนการผลิตไม่สูง สะดวกต่อการใช้งานและการซ่อมบำรุง ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แบบงานร่างเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามแบบปรับปรุงต้นแบบ

3.1.3 ดำเนินการวิเคราะห์แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคาน รวมถึงความเค้นสูงสุดในคาน ของเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรสต้นแบบ ได้ตามสมการที่ (1)

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ \sum F_x &= 0 \\ \sum M &= 0\end{aligned}\quad (1)$$

3.1.4 ดำเนินการสร้างเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรสต้นแบบ ทำจากสแตนเลส เบอร์ 304 มีมิติ กว้าง ยาว สูง = 200 X 305 X 386 มม. ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรสต้นแบบ

3.1.5 ทดลองใช้ต้นแบบเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส สำหรับกลุ่มผู้ผลิตมะขาม จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่พัฒนาขึ้น โดยการทดลองกับผู้เชี่ยวชาญที่มีส่วนเกี่ยวข้อง



ภาพที่ 4 การทดลองใช้งาน

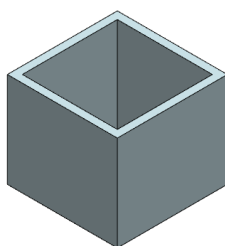
3.1.6 วิเคราะห์ข้อมูลด้านการออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส โดยใช้สถิติ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติที่ใช้ในการบรรยาย

3.2 การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส สำหรับกลุ่มผู้ผลิตมะขามจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ คือ ก้อนมะขามเปรี้ยวห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ห่อกระดาษเคลือบขนาดน้ำหนักก้อนอยู่ระหว่าง 10-12 กรัม/ก้อน (ภาพที่ 5) อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ เครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรสต้นแบบ บล็อกสแตนเลสสำหรับขึ้นรูปก้อนมะขามปรุงรสขนาดช่องด้านใน 25.4 x 25.4 x 25.4 มม. (ภาพที่ 6) เวอร์เนียคาลิเปอร์ค่าความละเอียด 0.05 มม. เครื่องวัดแรงดึงแรงกด (Force gauge data logger) รุ่น 475044-SD (ภาพที่ 7)

เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลค่าความละเอียด 0.2 กรัม กล้องถ่ายภาพ และนาฬิกาจับเวลา ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ ขนาดกว้าง ยาว สูง ของก้อนมะขามก่อนและหลังการขึ้นรูป แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปก้อน ลักษณะก้อนมะขามก่อนและหลังการขึ้นรูปก้อน และปริมาณการผลิต จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 5 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 6 บล็อกสแตนเลสสำหรับขึ้นรูปก้อนมะขาม

ขนาดช่องด้านใน $25.4 \times 25.4 \times 25.4$ มม.



ภาพที่ 7 เครื่องวัดแรงดึงแรงกด (Force gauge data logger)

3.3 การประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส สำหรับกลุ่มผู้ผลิตมะขามจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเลือกแบบเฉพาะเจาะจง คือ ผู้ใช้งานของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มดงทอง ตำบลห้วยโป่ง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวน 10 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถามโดยดัชนีความสอดคล้องของข้อคำถาม (IOC) เท่ากับ 1 เก็บรวบรวมข้อมูลด้านการออกแบบและพัฒนา ด้านสมรรถนะการทำงาน และด้านความพึงพอใจ ผู้ใช้งาน การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติเชิงบรรยาย โดยมีเกณฑ์คะแนน ดังนี้

4.21-5.00 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ มากที่สุด

3.41-4.20 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ มาก

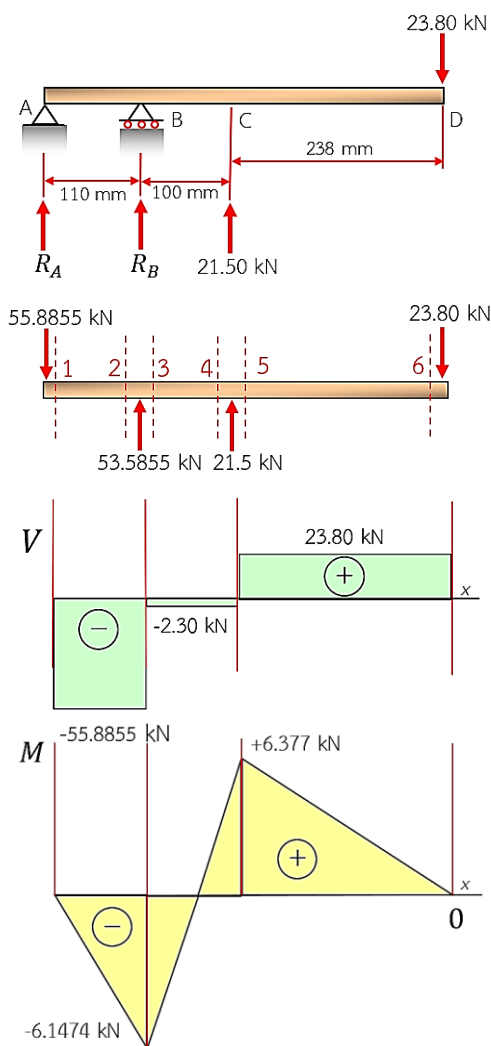
2.61-3.40 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ ปานกลาง

1.81-2.60 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ น้อย

1.00-1.80 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ น้อยที่สุด

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส โดยหาแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคาน รวมถึงความเค้นสูงสุดในคาน



วิธีทำ

หาแรงปฏิกิริยาที่ A เรียกว่า R_A

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum F_y = +R_A + R_B + 21.5 \text{ kN} - 23.8 \text{ kN} \quad (1)$$

ให้ B เป็นจุดหมุน (จุดหมุนเป็น 0)

$$0 = -(R_A \times 0.110) + (21.5 \times 0.100) - (23.8 \times 0.338)$$

$$0 = -(R_A \times 0.110) + (2.15) - (8.0444)$$

$$0 = -(R_A \times 0.110) - (5.8944)$$

$$R_A = -53.5855 \text{ kN} \uparrow$$

แทนค่าใน (1)

$$\sum F_y = -53.5855 + R_B + 21.5 \text{ kN} - 23.8 \text{ kN}$$

$$R_A = 55.8855 \text{ kN} \uparrow$$

หาแรงเฉือนในคาน $\sum F_y = 0$

$$-55.8855 - V_1 = 0 \quad V_1 = -55.8855 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 -55.8855 - V_2 &= 0 & V_2 &= -55.8855 \text{ kN} \\
 -55.8855 + 53.5855 - V_3 &= 0 & V_3 &= -2.30 \text{ kN} \\
 -55.8855 + 53.5855 - V_4 &= 0 & V_4 &= -2.30 \text{ kN} \\
 -55.8855 + 53.5855 + 21.5 - V_5 &= 0 & V_5 &= +23.80 \text{ kN} \\
 -55.8855 + 53.5855 + 21.5 - V_6 &= 0 & V_6 &= +23.80 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

หาโมเมนต์ดัดในคาน B เป็นจุดหมุน

$$\sum M = 0$$

$$\begin{aligned}
 -(55.8855)(0) + M_1 &= 0 & M_1 &= 0 \text{ kN.m} \\
 -(55.8855)(0.11) + M_2 &= 0 & M_2 &= -6.1474 \text{ kN.m} \\
 -(55.8855)(0.11) + M_3 &= 0 & M_3 &= -6.1474 \text{ kN.m} \\
 -(55.8855)(0.21) + (53.5855)(0.1) + M_4 &= 0 & M_4 &= +6.377 \text{ kN.m} \\
 -(55.8855)(0.21) + (53.5855)(0.1) + M_5 &= 0 & M_5 &= +6.377 \text{ kN.m} \\
 -(55.8855)(0.448) + (53.5855)(0.338) + (21.5)(0.238) + M_6 &= 0
 \end{aligned}$$

แรงเฉือนเกิดมากที่สุดบริเวณ BC $V_m = 55.8855 \text{ kN} \#$

โมเมนต์ดัดในคานเกิดมากที่สุดที่จุด B $M_m = |M_B| = +6.377 \text{ kN.m} \#$

4.2 ผลการวิจัยผู้เชี่ยวชาญส่วนเกี่ยวข้องมีความพึงพอใจภาพรวมค่าเฉลี่ย 3.56 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.27 อยู่ในระดับมาก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลการออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส

ประเด็นการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	สรุปผล
1. ความเหมาะสมในด้านการออกแบบและพัฒนาชุดด้ามขึ้นรูปก้อนมะขาม	3.67	1.16	มาก
2. ความเหมาะสมในด้านการออกแบบและพัฒนาชุดสปริงดันด้ามขึ้นรูปก้อนมะขาม	3.67	0.58	มาก
3. ความเหมาะสมในด้านการออกแบบและพัฒนาชุดฐานเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขาม	3.33	2.08	ปานกลาง
รวมเฉลี่ย	3.56	1.27	มาก

4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส ดังนี้

4.2.1 ขนาดกว้าง ยาว สูง ของก้อนมะขามก่อนและหลังการขึ้นรูปได้มาจากผลิตภัณฑ์ของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มดวงทอง ตำบลห้วยโป่ง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งจากตารางที่ 2 ผลการทดสอบพบว่า ก่อนการขึ้นรูปก้อนมีขนาดกว้าง ยาว สูง เฉลี่ย 25, 26.7 และ 25 มม. ตามลำดับ ส่วนขนาดก้อนมะขามหลังขึ้นรูปมีค่าเฉลี่ย 25.7, 25.4 และ 25.7 มม. ตามลำดับ โดยสมรรถนะทำงานขึ้นรูปก้อนมะขามมีขนาดคิดเป็นกว้างเพิ่มขึ้น 102.8 % ยาวลดลง 95.1 % และสูงเพิ่มขึ้น 102.8 %

ตารางที่ 2 ผลการหาขนาดกว้าง ยาว สูง ของก้อนมะขามก่อนและหลังการขึ้นรูป

ลำดับที่	ขนาดก้อนมะขามก่อนขึ้นรูป (มม.)			ขนาดก้อนมะขามหลังขึ้นรูป (มม.)		
	กว้าง	ยาว	สูง	กว้าง	ยาว	สูง
1	25	27	25	25.8	25.4	25.8
2	25	26	25	25.3	25.4	25.3
3	25	26	25	25.3	25.4	25.3
4	25	28	25	26.3	25.4	26.3
5	25	26	25	25.3	25.4	25.3
6	25	26	25	25.3	25.4	25.3
7	25	27	25	25.8	25.4	25.8
8	25	27	25	25.8	25.4	25.8
9	25	26	25	25.3	25.4	25.3
10	25	28	25	26.3	25.4	26.3
ค่าเฉลี่ย	25	26.7	25	25.7	25.4	25.7

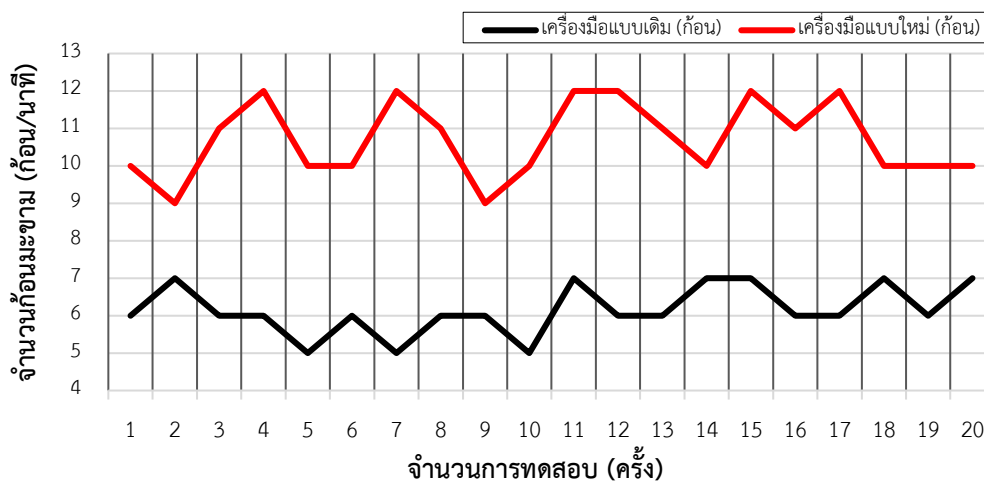
4.2.2 ผลการหาแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปก้อน ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดแรงดึงแรงกด (force gauge data logger) ของลักษณะก้อนมะขามหลังการขึ้นรูปก้อน จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบพบว่า แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปก้อน เฉลี่ย 3.6 นิวตัน ส่วนลักษณะก้อนมะขามก่อนและหลังการขึ้นรูปก้อน ปรากฏว่า ก้อนมะขามก่อนการขึ้นรูปเมื่อทำการห่อแล้วกระดาษจะคายตัวออกและลักษณะก้อนมะขามจะไม่เป็นรูปทรงทำให้เวลาบรรจุเข้ากล่องจะทำได้ยากลำบาก แต่มะขามหลังการขึ้นรูปแล้วจะเกิดการเข้ารูปมีเหลี่ยมมากกว่าเวลาบรรจุกล่องจะสะดวกและสวยงามกว่า

ตารางที่ 3 สรุปผลแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปก้อน และลักษณะก้อนมะขามก่อนและหลังการขึ้นรูปก้อน

ลักษณะก้อนมะขามก่อนขึ้นรูป	แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปก้อน (นิวตัน)	ลักษณะก้อนมะขามหลังขึ้นรูป
	3.6	

4.2.3 ผลการหาปริมาณการผลิต พบว่า ทำการทดสอบเวลาในการทำงาน 1 นาที เครื่องมือแบบใหม่สามารถขึ้นรูปก้อนมะขามเฉลี่ย 11 ก้อน/นาที ขณะที่เครื่องมือแบบเดิมสามารถขึ้นรูปก้อน

มะขามเฉลี่ย 6 ก้อน/นาที ซึ่งเครื่องที่ผู้วิจัยออกแบบและพัฒนาขึ้นมีสมรรถนะการทำงานเร็วกว่าคิดเป็น 1.8 เท่า คิดเป็น 83.3% ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การทดสอบหาปริมาณการผลิต

4.3 ผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส ในภาพรวมมีค่าเฉลี่ย 3.98 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.46 ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก เมื่อวิเคราะห์เป็นรายด้าน พบว่า ด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ด้านความพึงพอใจผู้ใช้งานค่าเฉลี่ย 4.36 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.51 ความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด รองลงมา คือ ด้านสมรรถนะการทำงานค่าเฉลี่ย 4.28 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.39 ความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด และด้านที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ ด้านการออกแบบและพัฒนาค่าเฉลี่ย 3.30 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.48 ความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อวิเคราะห์เป็นรายข้อพบว่าข้อที่ค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ได้แก่ ขนาดกว้างยาวสูงของก้อนมะขามก่อนและหลังการขึ้นรูป ลักษณะก้อนมะขามก่อนและหลังการขึ้นรูปก้อน และปริมาณการผลิต ส่วนข้อที่มีค่าเฉลี่ยรองลงมา ได้แก่ ความสะดวกในการนำก้อนมะขามเข้า – ออก จากเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขาม ความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขาม และความสะดวกในการทำความสะดวกเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขาม ส่วนข้อที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด ได้แก่ ความเหมาะสมในด้านการออกแบบและพัฒนาชุดฐานเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขาม

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรส สำหรับกลุ่มผู้ผลิตมะขามจังหวัดเพชรบูรณ์ ตัวเครื่องมีขนาด 200 x 305 x 386 มม. ประกอบด้วย ชุดด้ามขึ้นรูป ชุดสปริงดัน ด้ามขึ้นรูป และชุดฐานเครื่อง ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนา มีความพึงพอใจมาก

ด้านสมรรถนะการทำงาน ขนาดก้อนมะขามหลังการขึ้นรูปค่าเฉลี่ย 25.7, 25.4 และ 25.7 มม. แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปก้อนเฉลี่ย 3.6 นิวตัน ลักษณะก้อนมะขามก่อนและหลังการขึ้นรูปก้อนปรากฏว่าหลังการขึ้นรูปก้อนขามเกิดการเข้ารูปมีเหลี่ยมวัสดุที่ใช้ห่อไม่คลายตัวส่งผลให้เวลาบรรจุใส่กล่องทำได้สะดวกและสวยงาม ปริมาณการผลิตเครื่องที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานเร็วกว่าเดิม 1.8 เท่า คิดเป็น 83.3% โดยเครื่องที่พัฒนาขึ้นสามารถแก้ไขปัญหาการอัดขึ้นรูปก้อนเนื้อมะขามจากเดิม 2 ครั้ง เหลือเพียง 1 ครั้ง ส่วนผู้ใช้งานเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขามเปรี้ยวปรุงรสมีความคิดเห็นสอดคล้องกับผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนา ประเด็นข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อ คือ ความเหมาะสมในด้านการออกแบบและพัฒนาชุดฐานเครื่องขึ้นรูปก้อนมะขาม เนื่องจากฐานเครื่องมีขนาดเล็กทำงานจะเกิดการกระดก และควรศึกษาการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน) งบประมาณผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกว.) ภายใต้แผนงานยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2563 และขอขอบพระคุณวิสาหกิจชุมชนกลุ่มดวงทอง ตำบลห้วยโป่ง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ให้ข้อมูลประกอบการวิจัยและเป็นสถานที่วิจัยจนงานวิจัยครั้งนี้เสร็จด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2566). ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้าน

การเกษตร. สืบค้นจาก <https://production.doae.go.th/site/login>.

นันท์ปัทม ทอคำ, วัฒนีย์ บุญวิทยา, ภาสกร ฤทธิเลิศ, วรรณษา เวียงวะลัย, อธิภา สุขลิ้ม, และณัฐฉัตร หัตถดล. (2562). การพัฒนานวัตกรรมการผลิตปลาร้ามอดกึ่งสำเร็จรูป ขวามอบบ้านศาลาแดงเหนือ อำเภอสามโคก จังหวัดปทุมธานี. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์, 14(3), 12-23.

ประพันธ์พงษ์ สมศิลา, ธนกร หอมจำปา, เอกภูมิ บุญธรรม, กฤษฎา อันอ้าย, และอำไพศักดิ์ ทีบุญมา. (2565). การศึกษาสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อั้งโล่. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, 4(2), 223-241.

ฤทธิ์รงค์ แจ่มอิม. (2562). การออกแบบและสร้างเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง กรณีศึกษากลุ่มอาชีพบ้านห้วยยาง. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 12(2), 49-61.

เอกรัฐ ธีรวนบดี และยุทธพงษ์ บุญยัง. (2559, สิงหาคม). ศึกษาและคิดค้นการทำอุปกรณ์ทำลูกปัดตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1 เรื่อง นวัตกรรมอาคาร (Building Innovation 2016: B-inno2016). โรงแรมไมด้าทวารวดีแกรนด์, นครปฐม.

Kumar, A.A., Jhansi, R., Vardhan, U.H., Gousia, S.M., Kumar, A.K., & Ramana, C. (2019). Development and Evaluation of Low Pressure Multi Briquetting Machine for Rural Areas. **Current Journal of Applied Science and Technology**, 34(1), 1-15. Doi: 10.9734/CJAST/2019/V34I130113

Daramna, I., & Almasri, M. (2019). **Sugar Cubes Making Machine**. (Report). Palestine Polytechnic University, Palestine.