



การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

Development and Efficiency Evaluation of Cassava Cubes Cutting Machine

ธันวาคม ไม้ซุง^{1*}, ธีรพงศ์ พลโพธิ์¹, วสุ อุดมเพทายกุล¹

Thanawan Maichoon^{1*}, Teerapong Pholpho¹, Vasu Udompetaikul¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ 10520

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

*Corresponding author: Tel.: +66-6-3221-5900, E-mail: thanawan.180240@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า เพื่อเพิ่มผลผลิต ลดระยะเวลาในการทำงาน และลดจำนวนแรงงาน ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย เครื่องหั่นหัวมันสำปะหลังแบบแผ่น เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ชุดสายพานลำเลียง และระบบควบคุมการทำงานของชุดสายพานลำเลียง เพื่อตอบสนองการทำงานของระบบให้มีความต่อเนื่องตลอดเวลา จากผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่นของสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 พบว่า ความเร็วรอบสำหรับการหั่นเท่ากับ 1,162.38 และ 1,199.15 rpm และอัตราการป้อนเท่ากับ 22.07 และ 20.5 kg min⁻¹ ซึ่งให้เปอร์เซ็นต์มันสำปะหลังแผ่นสมบูรณ์เท่ากับ 77.45% และ 72.65% ตามลำดับ และสำหรับสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าของสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 คือ ความเร็วรอบของชุดหั่นลูกเต๋าเท่ากับ 1,231.69 และ 1,224.74 rpm และอัตราการป้อนเท่ากับ 20.92 และ 22.07 kg min⁻¹ ตามลำดับ จากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า พบว่าในกรณีมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 ความสามารถในการผลิตเท่ากับ 767.59±49.31 kg hr⁻¹ และมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าทะกัก 38.01±2.35% ส่วนมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ความสามารถในการผลิตเท่ากับ 784.31±35.76 kg hr⁻¹ และมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าทะกัก 40.23±2.46%

คำสำคัญ: มันสำปะหลังแบบลูกเต๋า, เครื่องหั่นมันสำปะหลัง, การออกแบบส่วนประกอบกลาง

Abstract

This research aimed to develop and evaluate the efficiency of a cassava cubes cutting machine, which was designed to increase productivity, shorten working time and reduce the number of required workers. In order to continuously respond to the system operation at all times, the developed system consists of a cassava cutting machine, cassava cubes cutting machine, conveyor belt and conveyor belt control system. Based on the experiments to find the most suitable conditions for the cassava cutting machine when testing with Rayong 9 and Kasetsart 50 cassava cultivars, the cutting speeds were noted to be 1,162.38 and 1,199.15 rpm, feed rates were noted to be 22.07 and 20.5 kg hr⁻¹, and percentage of perfectly sliced cassava were 77.45% and 72.65%, respectively. Based on the experiments to find the most suitable conditions for the cassava cubes cutting when tested against the Rayong 9 and Kasetsart 50 cultivars, the cutting speeds were 1,231.69 and 1,224.74 rpm, while the feed rates were 20.92 and 22.07 kg hr⁻¹, respectively. System performance testing revealed that when working with Rayong 9 cultivar, the production capability was 767.59±49.31 kg hr⁻¹ and percentage of cassava cubes was 38.01±2.35%. When working with Kasetsart 50 cultivar, the production capability was 784.31±35.76 kg hr⁻¹ and percentage of cassava cubes was 40.23±2.4%.

Keywords: Cassava cubes, Cassava cutting machine, Central composite design.

Received: September 5, 2023

Revised: November 11, 2023

Accepted: December 8, 2023

Available online: March 16, 2024

1 บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนทานต่อสภาพอากาศที่แปรปรวนได้ดี สามารถเจริญเติบโตได้ในหลายพื้นที่ของประเทศไทย มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีปริมาณแป้งสูง (Carbohydrate-rich crops) สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น อาหารสำหรับมนุษย์ อาหารเลี้ยงสัตว์ วัตถุดิบในการผลิตเอทานอลเพื่อใช้แทนพลังงานเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม เป็นต้น เนื่องจากมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในหลาย ๆ ด้าน ทำให้ความต้องการมันสำปะหลังในตลาดโลกเติบโตต่อเนื่อง ส่งผลให้มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญเป็นอันดับ 5 ของโลกรองจากข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวเจ้า และมันฝรั่ง

ประเทศไทยได้ขยายพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับการเติบโตของอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังตามความต้องการในตลาดส่งออก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร อธิบายสถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังของไทยพบว่า ฤดูการผลิตปี 2564 และ ปี 2565 มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว รวมทั้งประเทศ 10.18 ล้านไร่ ผลผลิต 34.69 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) เนื่องจากความพร้อมด้านแหล่งผลิตวัตถุดิบมันสำปะหลังของไทย ทำให้ไทยเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยมีประเทศ เวียดนาม กัมพูชา ไนจีเรีย บราซิล และ อินโดนีเซีย เป็นประเทศส่งออกรองลงมา

ประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง โดยมีส่วนแบ่งการตลาด อยู่ที่ประมาณร้อยละ 70-80 ของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรวมทั้งหมดในตลาดโลก เนื่องจากประเทศอื่นๆ ที่มีการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังส่วนมากจะบริโภคมันสำปะหลังเป็นอาหารหลักของประเทศ ประมาณร้อยละ 80-90 ของผลผลิต (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2558) ทำให้ประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศที่มันสำปะหลังไม่ใช่อาหารหลัก ทำให้ผลผลิตที่ได้ภายในประเทศ ถูกส่งออกเป็นจำนวนมากที่สุดในโลก ปริมาณการส่งออกอยู่ที่ประมาณร้อยละ 70 ของผลผลิตที่ได้ในประเทศไทย มันสำปะหลังจะส่งออกในรูปแบบผลิตภัณฑ์แปรรูป จากงานวิจัยพบว่า การส่งออกมันสำปะหลังในประเทศไทย มีส่วนแบ่งในตลาดส่งออกแป้งมันสำปะหลังดิบ (Cassava native starch) มันสำปะหลังเส้น (Cassava chip) และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Cassava modified starch) อยู่ที่ 66% 59% และ 31% ตามลำดับ (สำนักงานวิจัยกรุงศรี, 2566)

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังในประเทศไทยเป็นการแปรรูปในลักษณะของมันสำปะหลังเส้น ซึ่งมีลักษณะที่ใหญ่ ส่งผลทำให้กระบวนการลดความชื้นใช้เวลานาน ซึ่งส่งผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงาน และมีโอกาสเกิดการเน่าเสีย หรือเกิดเชื้อราในระหว่างกระบวนการลดความชื้น ในปัจจุบัน จึงได้มีการพัฒนาเครื่องแปรรูปมันสำปะหลังแบบเตาขึ้นมา สามารถลด

อัตราการเกิดของเชื้อราในผลิตภัณฑ์แปรรูป และส่งผลทำให้กระบวนการลดความชื้น ใช้เวลาน้อยลง ความสามารถของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบเตาที่ทำการพัฒนาขึ้น มีความสามารถในการเป็นลูกเต่าสมบูรณ์ 33% ลูกเต่าไม่สมบูรณ์ 54.7% และกำลังการผลิต 532.8 kg hr^{-1} (ไชยวัฒน์ และคณะ, 2561) เนื่องจากในส่วนของชุดหั่นมันสำปะหลังแบบเดิมที่ใช้อยู่มีลักษณะเป็นชุดใบมีด 2 ซม. ทำการหั่นมันสำปะหลังในแนวนอนมีความสามารถในการผลิตมันสำปะหลังแบบลูกเต่า ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการในอุตสาหกรรม ดังนั้น ผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเต่า ทำให้กระบวนการแปรรูปมีความต่อเนื่อง ส่งผลต่อกำลังในการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูปของมันสำปะหลังให้มากยิ่งขึ้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการในอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังในประเทศไทย

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 หัวมันสำปะหลัง

งานวิจัยนี้เลือกใช้มันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 แสดงใน Figure 1 โดยทำการสุ่มเลือกหัวมันสำปะหลัง 50 หัว ของแต่ละสายพันธุ์ โดยการใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ในการวัดขนาดของหัวมันสำปะหลังทั้งสามแนวแกน ได้แก่ ความยาวของหัวมันสำปะหลัง (L) ความกว้างของหัวมันสำปะหลัง (D1) และความหนาของหัวมันสำปะหลัง (D2) จากนั้นนำค่าที่ได้จากการบันทึกผล นำมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลัง



Figure 1 Characteristics of cassava.

2.2 ระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต่า

ปัจจัยสำคัญของระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต่า และสายพานลำเลียงที่ใช้ในระบบ สามารถอธิบายขั้นตอนการออกแบบในส่วนสำคัญต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1 เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น

เครื่องหั่นมันสำปะหลังมีหน้าที่ลดขนาดของหัวมันสำปะหลังเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการหั่นมันสำปะหลังในลักษณะลูกเต่า

เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่นมีขนาด ยาว x กว้าง x สูง เท่ากับ 75 x 54 x 79 cm งานวิจัยนี้มีการปรับปรุงและพัฒนาตัวเครื่องให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น และการทำงานที่สอดคล้องกับตัวระบบ สำหรับใบมีด งานวิจัยนี้ทำการเลือกใช้ใบมีดวงเดือนชนิดฟันแหลม โดยมีขนาด 10 inch และมีจำนวนฟัน 30 ฟัน แสดงใน Figure 2 ใบมีดติดตั้งบนเพลลาที่มีขนาด 1 inch ลักษณะสลับฟันปลา ซึ่งถูกขับโดยเครื่องต้นกำลังเป็นมอเตอร์ 3 เฟส ที่ความถี่ 50 Hz ความเร็วรอบที่ 1430 rpm เครื่องต้นกำลังถูกควบคุมโดย Inverter ยี่ห้อ Sumitomo รุ่น AF-500 สำหรับควบคุมความเร็วของมอเตอร์ต้นกำลัง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการตัดกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของมันสำปะหลัง เมื่อมันสำปะหลังผ่านการบดการแปรรูป มีลักษณะแสดงดัง Figure 3 โดยที่ a คือมันสำปะหลังแผ่นสมบูรณ์ b คือ มันสำปะหลังแผ่นไม่สมบูรณ์ และ c คือ เศษมันสำปะหลัง โดยที่มันสำปะหลังแผ่นจะถูกลำเลียงผ่านสายพานลำเลียงเพื่อเคลื่อนที่ไปยังเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า



Figure 2 Blade arrangement of cassava cutting machine.

2.2.2 สายพานลำเลียง

ชุดสายพานลำเลียงมีลักษณะการลำเลียงแบบลาดเอียง (Inclined conveyor belt) เลือกใช้สายพานชนิด PVC หนา 5 mm ขนาด ความกว้างเท่ากับ 30 cm และความยาวรอบวงเท่ากับ 400 cm และโครงสร้างเป็น Aluminum profile ขนาด 20x20 mm หลังจากทำการติดตั้งสายพานลำเลียงมีความยาว

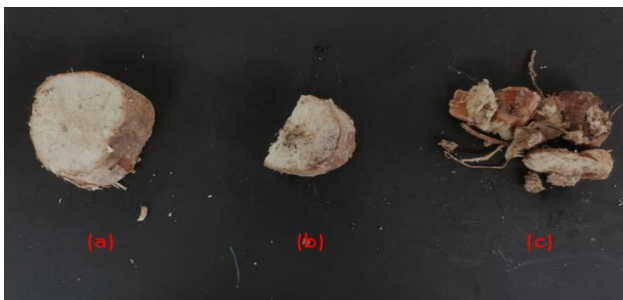


Figure 3 Characteristics of various types of cassava.

เท่ากับ 2 m มีความลาดเอียง 16° การขับเคลื่อนสายพานลำเลียง เลือกใช้เครื่องต้นกำลังเป็นมอเตอร์ 12 VDC ที่ความเร็วรอบ 110 rpm โดยนำไปใช้ในการขับเคลื่อนสายพานชนิด 5M ที่ขนาด 48 ฟัน และมีเฟืองตามขนาด 12 ฟัน โดยมีความเร็วรอบบนสายพานเท่ากับ 1.17 m s⁻¹ การทำงานของสายพานลำเลียง

ถูกควบคุมโดยวงจรควบคุมการทำงานของระบบให้มีความสอดคล้องกับอัตราการป้อนของเครื่องหั่นมันสำปะหลัง และเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า เพื่อให้ระบบทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยลักษณะการเชื่อมต่อของวงจรควบคุมมีลักษณะแสดงดัง Figure 4 ระบบควบคุมการลำเลียง เลือกใช้บอร์ดคอลโทรลเลอร์ Arduino mega 2560 ซึ่งมีขา analog inputs แต่ละ pins ให้ความละเอียด 10 bits ส่งผลทำให้การส่งสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) ให้ Motor driver ได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น สำหรับระบบควบคุมการลำเลียง เลือกใช้ตัวตรวจจับ Infrared Sensor รุ่น GP2Y0A02 สามารถวัดระยะตั้งแต่ 20 ถึง 150 cm ระยะทางที่ได้จากเซ็นเซอร์ถูกนำไปใช้สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของชุดสายพานลำเลียง เพื่อสอดคล้องกับปริมาณของมันสำปะหลังที่อยู่ในระบบ

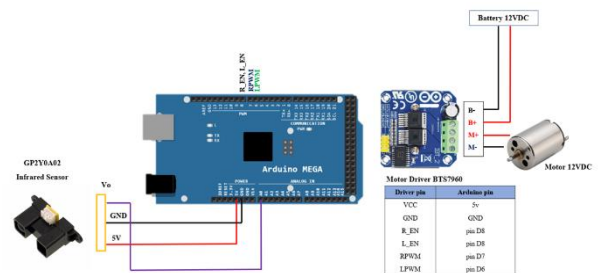


Figure 4 Conveyor Control Circuit.

2.2.3 เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

มันสำปะหลังแบบลูกเต๋ามีขนาด ยาว x กว้าง x สูง เท่ากับ 60 x 80 x 130 cm เลือกใช้ชุดต้นกำลังมอเตอร์ 3 เฟส ความเร็วรอบ 1400 rpm ที่ความถี่ 50 Hz ใช้สำหรับการขับเคลื่อนชุดต้นกำลังและถ่วงสมดุลรวมถึงชุดกดมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ซึ่งถูกควบคุมโดย Inverter เช่นเดียวกับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแผ่นเพื่อหาความสัมพันธ์ของความเร็วในการหั่นกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของมันสำปะหลังแผ่น ชุดหั่นมันสำปะหลังลูกเต๋าลูกเลือกใบมีดทำจาก Stainless blade นำใบมีดทั้ง 14 ใบสานกัน มีลักษณะเป็นช่องสี่เหลี่ยมขนาด 2.54 x 2.54 cm เพื่อให้ได้มันสำปะหลังลูกเต๋ามีขนาดเท่ากับช่องว่างที่กำหนด แสดงดัง Figure 5 และ Figure 6 แสดงลักษณะของมันสำปะหลังที่ผ่านการหั่นของเครื่อง โดยที่ a คือ มันสำปะหลังลูกเต๋าสสมบูรณ์ b คือมันสำปะหลังลูกเต๋าสไม่สมบูรณ์ และ c เศษมันสำปะหลัง งานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงแก้ไขในส่วนของการตัดมันสำปะหลังออก โดยชุดตัดถูกแทนที่โดยเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น จากนั้นทำการยกตัวเครื่องให้มีความลาดเอียงเท่ากับ 18 องศา ซึ่งเป็นมุมไหลของมันสำปะหลังแผ่นเมื่อทำการทดสอบกับแผ่นสแตนเลสหนา 2 mm ซึ่งมีส่วนช่วยให้มันสำปะหลังไหลไปยังชุดหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าสได้ดียิ่งขึ้น

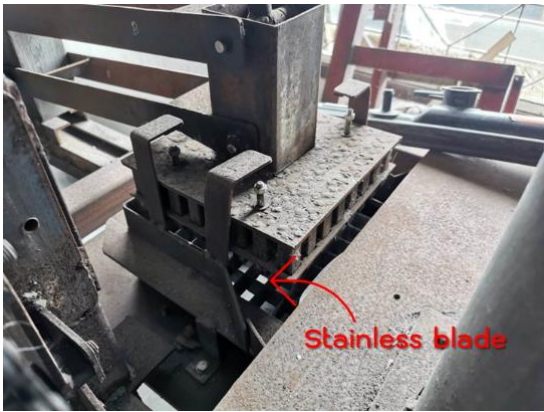


Figure 5 Blade for cassava cubes cutting.

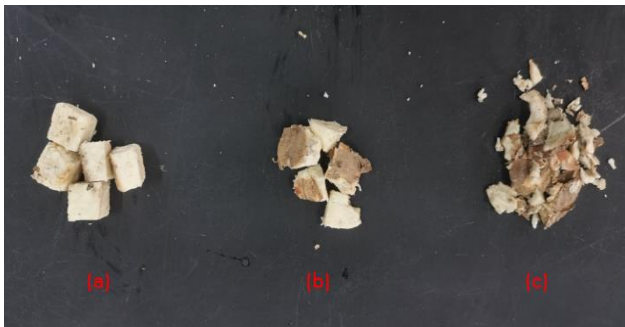


Figure 6 Characteristics of various types of cassava cubes.

2.2.4 การทำงานของระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

จากการออกแบบและพัฒนาแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าระบบที่ทำการออกแบบแสดงดัง Figure 7 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อในระบบที่ออกแบบ โดยหัวมันสำปะหลังจะถูกป้อนเข้าที่เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น (หมายเลข 1) โดยกำหนดความเร็วรอบในการหั่นที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลอง จากนั้นมันสำปะหลังแผ่นถูกลำเลียงผ่านสายพานลำเลียงที่มีความลาดเอียง 16° (หมายเลข 2) เพื่อขนย้ายไปยังเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า (หมายเลข 5) กำหนดความเร็วรอบในการหั่นเต๋าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลอง โดยที่มันสำปะหลังแผ่นจะไหลลงไปยังชุดรองรับมันสำปะหลังแผ่น (หมายเลข 3) ซึ่งเป็นจุดสำหรับการตรวจวัดปริมาณมันสำปะหลังแผ่นที่รอการหั่นในระบบ โดย Infrared sensor (หมายเลข 4) เพื่อควบคุมการทำงานของสายพานลำเลียงให้มีความสอดคล้องกับปริมาณมันสำปะหลังแผ่นในระบบ เมื่อมันสำปะหลังถูกหั่นให้อยู่ในรูปแบบลูกเต๋ได้แล้ว ในงานวิจัยนี้จะทำการประเมินประสิทธิภาพในระบบ และคำนวณความสามารถในการผลิตเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์งานวิจัย

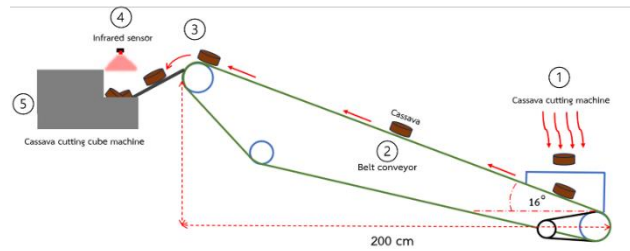


Figure 7 Principal cassava cubes cutting Machine.



Figure 8 Cassava cubes cutting system.

2.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลัง

การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลัง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) โดยที่งานวิจัยนี้การวิเคราะห์ข้อมูลสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่

2.3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น

มันสำปะหลังแต่ละสายพันธุ์ถูกใช้ในการศึกษาโดยการทดลองแบบ Central Composite Design แบบ 2 factor 5 levels ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาคือ ความเร็วรอบของชุดใบมีด (X1) ที่ระดับ 798.77, 858.00, 1001.00, 1144.00 และ 1203.23 rpm และอัตราการป้อน (X2) ที่ระดับ 7.93, 10.00, 15.00, 20.00 และ $22.07 \text{ kg min}^{-1}$ โดยมีตัวแปรตาม (Y) คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นแผ่นสมบูรณ์ จากการออกแบบการทดลองมีจำนวนการทดลอง คือ 13 การทดลอง

2.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

มันสำปะหลังแต่ละสายพันธุ์ถูกใช้ในการศึกษา โดยการทดลองแบบ Central Composite Design แบบ 2 factor 5 levels ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาคือ ความเร็วรอบของชุดหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า (X1) ที่ระดับ 922.01 980.00 1120.00 1260.00 และ 1317.99 rpm และอัตราการป้อน (X2) ที่ระดับ 7.93 10.00 15.00 20.00 และ $22.07 \text{ kg min}^{-1}$ โดยมีตัวแปรตาม (Y)

คือ เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าสมบูรณ์ จากการออกแบบการทดลองมีจำนวนการทดลอง คือ 13 การทดลอง เช่นเดียวกับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น จากการทดสอบเบื้องต้น สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแผ่น มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์เฉลี่ยทั้ง 2 สายพันธุ์ เท่ากับ $74.54 \pm 2.18\%$ ในการทดลองครั้งนี้ จึงกำหนดเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ที่ป้อนเข้าระบบเท่ากับ 70% ของน้ำหนักที่ทำการทดลอง

2.4 ประสิทธิภาพของระบบแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเต๋

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ ประเมินโดยความสามารถในการผลิต และเปอร์เซ็นต์ลูกเต๋าสมบูรณ์ ลูกเต๋ที่ไม่สมบูรณ์ เศษมันสำปะหลัง และมันสำปะหลังที่สูญหายในระบบ ในการทดลองกำหนดอัตราการป้อน 20 kg min^{-1} ทำการจับเวลาในการทำงานของระบบ จำนวน 10 ชั่วโมง ทำการประเมินเปอร์เซ็นต์มันสำปะหลังรูปแบบต่าง ๆ ที่ได้จากการทำงานทั้งระบบ

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลัง

จากการทดลอง พบว่าขนาดของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 มีความกว้างเฉลี่ย เท่ากับ $5.80 \pm 0.71 \text{ cm}$ ความยาวเฉลี่ย เท่ากับ $24.68 \pm 4.96 \text{ cm}$ และความหนาของหัวมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีความยาวเฉลี่ย เท่ากับ $5.34 \pm 0.64 \text{ cm}$ จากการทดลองหาขนาดของหัวมันสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความกว้างเฉลี่ย เท่ากับ $5.94 \pm 0.74 \text{ cm}$ ความยาวเฉลี่ย เท่ากับ $43.96 \pm 8.04 \text{ cm}$ และความยาวเฉลี่ย เท่ากับ $5.07 \pm 0.65 \text{ cm}$ จากการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ย (t-test) เพื่อหาความแตกต่างของขนาดหัวมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์ จาก Table 1 แสดงความแตกต่างของขนาดหัวมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ที่ทำการทดสอบ พบว่าความกว้าง และความหนาของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และจากการทดสอบสมมติฐานพบว่า ความยาวของหัวมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

Table 1 Physical characteristics of cassava roots.

Cultivar	Dimension		
	Width	Length	Thickness
Rayong 9	5.80 ± 0.71	24.68 ± 4.96	5.34 ± 0.64
	ns	b	ns
Kasetsart 50	5.94 ± 0.74	43.96 ± 8.04	5.07 ± 0.65
	ns	a	ns

* a, b = means in the same column are significantly different ($\alpha=0.05$).

** ns = means in the same column are not significantly different ($\alpha=0.05$).

3.2 ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลัง

จากการทดลองการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น และการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋ สามารถอธิบายได้ดังนี้

3.2.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น

จากการทดลองหั่นหัวมันสำปะหลังตามรูปแบบการทดลองพบว่า เมื่อทำการทดลองที่มีความเร็วรอบของชุดใบมีด คือ 798.77 rpm มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นเท่ากับ 21.27% เมื่อทำการทดลองกับสายพันธุ์ระยอง 9 และสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีค่าเท่ากับ 29.27% ซึ่งเป็นความเร็วรอบในการหั่นที่ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นน้อยที่สุดในการทดลอง จากการทดลองที่ความเร็วรอบของชุดใบมีด 1,144 rpm พบว่าส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์มากที่สุด โดยมีค่าความเป็นแผ่นสมบูรณ์ของสายพันธุ์ระยอง 9 เท่ากับ 77.45 % และสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีค่าเท่ากับ 72.65% ที่การทดสอบอัตราการป้อนเท่ากับ 20 kg min^{-1} ทั้งนี้ในการทดลองพบว่า หากเพิ่มความเร็วรอบในการหั่นมันสำปะหลัง คือ 1,203.23 rpm ส่งผลทำให้ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อทำการทดสอบกับมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) พบว่าปัจจัยทั้ง 2 ได้แก่ ความเร็วรอบของชุดใบมีด และอัตราการป้อนไม่มีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$) และจากการทดลองพบว่าปัจจัยความเร็วรอบของชุดใบมีด มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และอัตราการป้อนไม่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จาก Figure 9 แสดงอิทธิพลของความเร็วรอบชุดใบมีดกับอัตราการป้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ของมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และ Figure 10 แสดงอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 จากภาพเมื่อเพิ่มความเร็วรอบส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์เพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่เหมาะสม เมื่อทำการเพิ่มอย่างต่อเนื่อง ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ลดลง แต่การเพิ่มอัตราการป้อนพบว่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังที่ทำการทดสอบกับมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 ได้ดังนี้ ความเร็วรอบของชุดใบมีดเท่ากับ 1,162.38 rpm และอัตราการป้อนเท่ากับ $22.07 \text{ kg min}^{-1}$ ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ความเป็น

แผ่นสมบูรณ์เท่ากับ 75.35% และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความเร็วรอบของชุดใบมีด เท่ากับ 1,199.15 rpm และอัตราการป้อนเท่ากับ 20.50 kg min⁻¹ ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์เท่ากับ 74.64%

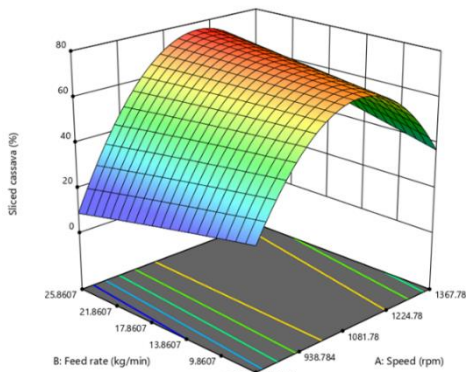


Figure 9 Effects of linear velocity and feed rate on Rayong 9 cassava slices percentage.

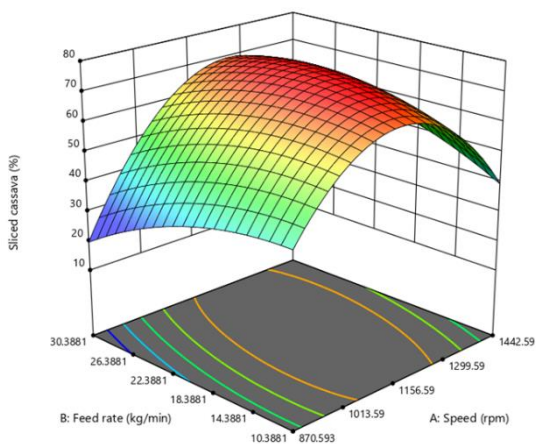


Figure 10 Effects of linear velocity and feed rate on Kasetsart 50 cassava slices percentage.

3.2.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

จากการทดลองหั่นหัวมันสำปะหลังตามรูปแบบการทดลองแบบ Central Composite Design พบว่าเมื่อใช้ความเร็วของชุดหัวมันสำปะหลังลูกเต๋า 1,260 rpm ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋ามีค่ามากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 39.45% เมื่อทดลองกับสายพันธุ์ระยะยง 9 และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 41.15% เมื่อทำการทดลองกับสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 โดยมีอัตราการป้อนเท่ากับ 20 kg min⁻¹ หากเพิ่มความเร็วยรอบของชุดหัวเป็น 1,317.99 kg min⁻¹ ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าลดลงเหลืออย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มที่เกิดขึ้นจากค่าความเร็วรอบในการหั่นที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์ในการทดลองมีค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าดำสุดของสายพันธุ์ระยะยง 9 เท่ากับ 10.27% และสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เท่ากับ 12.40% เมื่อทำ

การทดลองที่ความเร็วเชิง 922.01 rpm ซึ่งเป็นความเร็วที่น้อยสุดในการทดลอง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) พบว่าปัจจัยทั้ง 2 ได้แก่ ความเร็วของชุดหัวมันสำปะหลังลูกเต๋า และอัตราการป้อนไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$) และจากการทดลองพบว่าปัจจัยความเร็วของชุดหัวมันสำปะหลังลูกเต๋ามีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$) และอัตราการป้อนไม่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$) ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น

จาก Figure 11 แสดงอิทธิพลของความเร็วของชุดหัวมันสำปะหลังลูกเต๋ากับอัตราการป้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์ของมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยะยง 9 และ Figure 12 แสดงอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 หากทำการเพิ่มความเร็วยรอบในการหั่นส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์เพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่เหมาะสม หากทำการเพิ่มความเร็วยรอบต่อเนื่อง ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์ลดลง ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 2 สายพันธุ์ แต่การเพิ่มหรือลดอัตราการป้อนพบว่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ดังนั้น สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ที่ทำการทดสอบกับมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยะยง 9 ได้ดังนี้ ความเร็วของชุดหัวมันสำปะหลังลูกเต๋าทะเท่ากับ 1,231.69 rpm และอัตราการป้อนเท่ากับ 20.92 kg min⁻¹ ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์เท่ากับ 38.58% และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความเร็วของชุดหัวมันสำปะหลังลูกเต๋าทะเท่ากับ 1,224.74 rpm และอัตราการป้อนเท่ากับ 22.07 kg min⁻¹ ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์เท่ากับ 40.96%

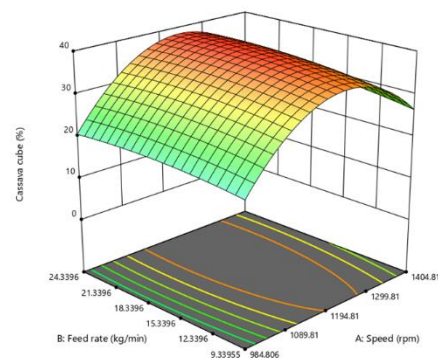


Figure 11 Effects of linear velocity and feed rate on Rayong 9 cassava cubes percentage.

3.3 การประเมินประสิทธิภาพของระบบเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

จากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังทั้ง 2 รูปแบบ โดยวิธี Central Composite Design ทำให้ทราบค่าที่สภาวะเหมาะสมในการทำงานของตัวระบบของ มันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 จากนั้น กำหนดการทำงานของเครื่องให้เหมาะสมที่สุดของแต่ละสายพันธุ์ และทำการทดลองหาความสามารถในการผลิตโดยที่กำหนดอัตรา

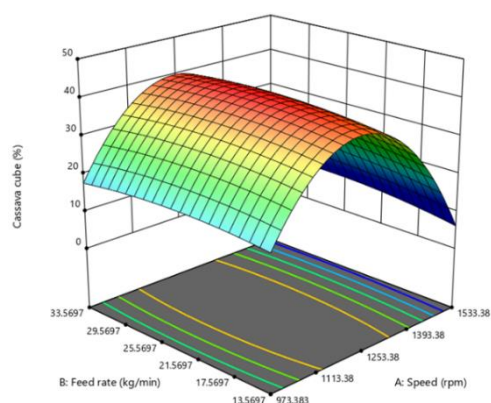


Figure 12 Effects of linear velocity and feed rate on Kasetart 50 cassava cubes percentage.

การป้อนมันสำปะหลังที่ 20 kg min^{-1} จากนั้นทำการทดสอบเป็นจำนวน 10 ซ้ำ จาก Figure 13 แสดงความสามารถในการผลิตที่ได้จากการทดลองแต่ละครั้ง พบว่ามันสำปะหลังสายพันธุ์

ระยอง 9 มีความสามารถในการผลิตสูงสุดเท่ากับ $857.14 \text{ kg hr}^{-1}$ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ $699.03 \text{ kg hr}^{-1}$ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $767.59 \pm 49.31 \text{ kg hr}^{-1}$ และมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ $38.01 \pm 2.35\%$ ความเป็นเต๋ที่ไม่สมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ $58.23 \pm 2.40\%$ เศษมันสำปะหลังเฉลี่ยเท่ากับ $1.40 \pm 0.32\%$ และค่าการสูญเสียในระบบเฉลี่ยเท่ากับ $2.36 \pm 0.39\%$ จากการทดลองสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความสามารถในการผลิตสูงสุดเท่ากับ $827.59 \text{ kg hr}^{-1}$ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ $720.00 \text{ kg hr}^{-1}$ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $784.31 \pm 35.76 \text{ kg hr}^{-1}$ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ $40.26 \pm 2.46\%$ ความเป็นเต๋ที่ไม่สมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ $55.20 \pm 2.30\%$ เศษมันสำปะหลังเฉลี่ยเท่ากับ $1.69 \pm 0.39\%$ และค่าการสูญเสียในระบบเฉลี่ยเท่ากับ $2.88 \pm 0.41\%$ จากนั้นทำการทดสอบ t-test เพื่อหาความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากการทดลองแสดง Table 2

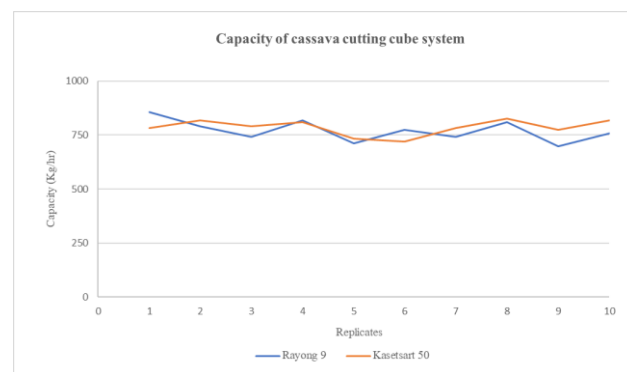


Figure 13 Capacity of cassava cubes cutting system.

Table 2 Efficiency system of cassava cubes cutting machine.

Cultivars	Capacity (kg hr^{-1})	Cube (%)	Non-Cube (%)	Scrap (%)	Loss (%)
Rayong 9	$767.59 \pm 49.31 \text{ ns}$	$38.01 \pm 2.35 \text{ ns}$	$58.23 \pm 2.40 \text{ ns}$	$1.40 \pm 0.32 \text{ ns}$	$2.36 \pm 0.39 \text{ ns}$
Kasetart 50	$784.31 \pm 35.76 \text{ ns}$	$40.26 \pm 2.46 \text{ ns}$	$55.20 \pm 2.30 \text{ ns}$	$1.69 \pm 0.39 \text{ ns}$	$2.88 \pm 0.41 \text{ ns}$

*** ns – means in the same column there is not significant difference ($\alpha=0.05$).

จาก Table 2 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ย (t-test) พบว่าความสามารถในการผลิตของ 2 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และจากการประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้นพบว่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสมบูรณ์ ความไม่เป็นที่ เศษมันสำปะหลัง และค่าความสูญเสียในระบบของ 2 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$) ซึ่งแสดงถึงความสามารถของระบบในการแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่สามารถแปรรูปหัวมันสำปะหลังได้หลายสายพันธุ์ อีกทั้งระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มกำลังการผลิตโดยประมาณ 40% เมื่อเทียบกับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าก่อนมีการปรับปรุง

4 สรุป

ระบบเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่พัฒนาขึ้น มีส่วนช่วยให้กระบวนการแปรรูปมีความต่อเนื่องมากขึ้น จากผลการทดลองหาขนาดหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 ทั้งสามแนวแกน พบว่าความกว้างเฉลี่ยเท่ากับ $5.80 \pm 0.71 \text{ cm}$ ความยาวเฉลี่ยเท่ากับ $24.68 \pm 4.96 \text{ cm}$ และความหนาเฉลี่ยเท่ากับ $5.34 \pm 0.64 \text{ cm}$ สำหรับสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความกว้างเฉลี่ยเท่ากับ $5.94 \pm 0.74 \text{ cm}$ ความยาวเฉลี่ยเท่ากับ $43.96 \pm 8.04 \text{ cm}$ และความหนาเฉลี่ยเท่ากับ $5.07 \pm 0.65 \text{ cm}$

สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่นของสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 ความเร็วรอบชุดหั่นเท่ากับ 1,162.38 และ 1,199.15 rpm อัตราการป้อนเท่ากับ 22.07 และ 20.5 kg hr^{-1} และมีเปอร์เซ็นต์มันสำปะหลังแผ่น

สมบูรณ์เท่ากับ 77.45% และ 72.65% ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าของสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 ความเร็วรอบของชุดหั่นเท่ากับ 1,231.69 และ 1,224.74 rpm อัตราการป้อนเท่ากับ 20.92 และ 22.07 kg hr⁻¹ และเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต้าสมบูรณ์เท่ากับ 38.58% และ 40.96% ตามลำดับ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนของความสามารถในการผลิต ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ประมาณ 40% เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องหั่นมันสำปะหลังที่พัฒนาขึ้นก่อนหน้า (ไชยวัฒน์และคณะ, 2561) ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพของระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า มันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 มีความสามารถในการผลิตเท่ากับ 767.59±49.31 kg hr⁻¹ และมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าทะกั 38.01±2.35% และมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความสามารถในการผลิตเท่ากับ 784.31±35.76 kg hr⁻¹ และมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าทะกั 40.23±2.46%

5 กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้มีส่วนช่วยในการสนับสนุนด้านการศึกษา ขอขอบคุณคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้มีส่วนช่วยด้านคำปรึกษา โครงการวิจัย เสนอแนวทางแก้ไขปัญหา และวิเคราะห์ผลข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ ที่ให้ใช้สถานที่ และอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆในการทำวิจัยในครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

ไชยวัฒน์ มณีอินทร์, อาทิงค์ รัชฎานนท์, อาลีฟ กัลยามิตร. 2561. การออกแบบและพัฒนาชุดกดและชุดมิดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า. ปรินญาณพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วิรัตน์ หวังเชื่อนกลาง. 2556. เครื่องหั่นมันเส้น. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ระดับชาติ ครั้งที่ 14 ประจำปี 2556, 256-261. ประจวบคีรีขันธ์: โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์พลาซ่า. 1-4 เมษายน 2556, หัวหิน, ประจวบคีรีขันธ์.

ธัชพล อรรถประวิทย์, ชีรเดช ธัญญเจริญ, พชรพล ประภารัตน์. 2562. การสร้างและออกแบบชุดใบมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า. ปรินญาณพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธนพล ศิริแพทย์, สุรียัน โมคศิริ, อติวิชญ์ วงศ์สุวานิช. 2560. การออกแบบและพัฒนาใบมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า. ปรินญาณพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

งานวิจัยกรุงศรี. 2566. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม 2566-2568 มันสำปะหลัง. แหล่งข้อมูล: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/agriculture/cassava/io/cassava-2023-2025>. เข้าถึงเมื่อ 16 พฤษภาคม 2566.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565. มันสำปะหลังโรงงาน. แหล่งข้อมูล: <https://www.oae.go.th>. เข้าถึงเมื่อ 18 พฤษภาคม 2566.

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2558. ความเป็นมาของมันสำปะหลังในประเทศไทย. แหล่งข้อมูล: <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=17891>. เข้าถึงเมื่อ 2 มิถุนายน 2566.