

การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION
OF A CASSAVA DICING MACHINE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและเกษตรอัจฉริยะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2567

KMITL-2024-EN-M-117-230

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION
OF A CASSAVA DICING MACHINE



THANAWAN MAICHOON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN FOOD AND AGRICULTURAL INTELLIGENCE
ENGINEERING

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2024

KMITL-2024-EN-M-117-230

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า
นักศึกษา	นาย ธนวัฒน์ ไม้ซุน
รหัสประจำตัว	63601161
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหารและเกษตรอัจฉริยะ
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. วสุ อุดมเพททายกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร. ชีรพงศ์ ผลโพธิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า เพื่อเพิ่มผลผลิต และลดจำนวนแรงงาน ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย เครื่องหันหัวมันสำปะหลังแบบแผ่น เครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ชุดสายพานลำเลียง จากผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่นของสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 ความเร็วรอบสำหรับการหันเท่ากับ 1,162.38 และ 1,199.14 rpm และมีอัตราการป้อนเท่ากับ 22.07 และ 20.5 kg min⁻¹ และมีเปอร์เซ็นต์มันสำปะหลังแผ่นสมบูรณ์เท่ากับ 75.35% และ 74.64% ตามลำดับ และสำหรับสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าของสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 ความเร็วรอบของชุดหันลูกเต๋าเท่ากับ 143.78 และ 143.04 rpm และมีอัตราการป้อนเท่ากับ 20.92 และ 22.07 kg min⁻¹ ตามลำดับ การทดสอบประสิทธิภาพของระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ผลการทดสอบพบว่า 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% จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของระบบที่พัฒนาขึ้นมีจุดคุ้มทุนเท่ากับ (BEP) คือ 3,599.28 kg year⁻¹ และมีระยะเวลาในการคืนทุน (PEP) เท่ากับ 21.9 วัน

Thesis	Development and performance evaluation of a cassava dicing machine.
Student	Mr. Thanawan Maichoon
Student ID.	63601161
Degree	Master of Engineering
Program	Food and agricultural intelligence Engineering.
Year	2023
Thesis Advisor	Asst. Prof. Vasu Udompetaikul
Co-Thesis Advisor	Asst. Prof. Teerapong Pholpho

ABSTRACT

This research aims to develop and evaluate for a cassava cutting cube machine. Increase productivity and reduce the number of workers due to the current shortage. The developed system consists of cassava cutting machine, cassava cutting cube machine, conveyor belt and control system of conveyor belt. In order to respond to the operation of the system continuously at all times. From the results of the experiment to find the most suitable conditions for the cassava cutting machine of the Rayong 9 and Kasetsart 50 cultivars, the cutting speed were 1,162.38 and 1,199.15 rpm, feed rates were 22.07 and 20.5 kg min⁻¹, and percentage of perfect sliced cassava were 75.35% and 74.64% respectively. The experiment to find the most suitable conditions for the cassava cutting cube machine of the Rayong 9 and Kasetsart 50 cultivars, were 143.78 and 143.04 rpm, feed rates were 20.92 and 22.07 kg min⁻¹ respectively. System performance testing found, Rayong 9 cultivar had production capability was 767.59±49.31 kg hr⁻¹ and percentage of cassava cube was 38.01±2.35%. Kasetsart 50 cultivar had a production capability was 784.31±35.76 kg hr⁻¹ and percentage of cassava cube was 40.23±2.4%. From the economic engineering analysis, break- even point (BEP) is 3,599.28 Kg year⁻¹ and payback period (PEP) is 21.9 days.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสุ อุดมเพทายกุล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงศ์ ผลโพธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตรที่ให้ความอนุเคราะห์และคำแนะนำแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนทุนการศึกษาในปี การศึกษาที่ 1/2563 และ 2/2563 ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ และให้คำปรึกษาแก่ข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

ธนวันต์ ไม้ซุน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูปภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 วิธีการดำเนินการ.....	3
1.6 งบประมาณ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ที่มาและข้อมูลเบื้องต้นของมันสำปะหลัง.....	5
2.1.1 ข้อมูลมันสำปะหลังเบื้องต้น.....	5
2.1.2 แหล่งกำเนิดและการแพร่กระจายของมันสำปะหลัง.....	5
2.1.3 ความเป็นมาของมันสำปะหลังในประเทศไทย.....	6
2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง.....	7
2.2.1 ลำต้น.....	7
2.2.2 ใบมันสำปะหลัง.....	8
2.2.3 ดอก.....	8
2.2.4 ผลและเมล็ด.....	8
2.2.5 ราก หรือหัวมันสำปะหลัง.....	10
2.3 การปลูกและการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง.....	11
2.3.1 การปลูกมันสำปะหลัง.....	11
2.3.2 การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง.....	12

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4 องค์ประกอบทางเคมีของมันเป็นสำปะหลัง.....	13
2.5 สายพันธุ์มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทย.....	16
2.6 สัญญาณควบคุม (PWM).....	17
2.7 Arduino board control.....	19
2.8 Analog distance sensor.....	19
2.9 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.....	21
2.10 การศึกษาระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องจักร.....	22
2.10.1. วิธีการวิเคราะห์ Break-even point (BEP).....	22
2.10.2 วิธีการวิเคราะห์แบบ Payback period (PEP).....	22
2.11 การออกแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response surface design).....	23
2.11.1 การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central composite design: CCD).....	24
2.11.2 การออกแบบ Box-Behnken designs (BBD).....	24
2.12 ชนิดของอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ.....	25
2.12.1 อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุปริมาณมวล.....	25
2.12.2 ราง.....	26
2.12.3 สายพานลำเลียง.....	26
2.12.4 กะพ้อลำเลียง.....	27
2.12.5 เกลียวลำเลียง.....	29
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
2.13.1 เครื่องหันมันเส้น.....	29
2.13.2 การออกแบบและพัฒนาใบมีดสำหรับเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	30
2.13.3 การออกแบบและพัฒนาชุดกดและชุดมีดสำหรับ.....	31
เครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า	
2.13.4 การสร้างและออกแบบชุดใบมีดสำหรับเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	31
2.13.5 การออกแบบและสร้างเครื่องตัดหัวมันสำปะหลังออกจากเหง้า.....	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	33
3.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	33

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 ศึกษาข้อมูลจำเพาะของมันเป็นสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50.....	34
3.2.1 การศึกษาขนาดของหัวมันสำปะหลัง.....	34
3.3 การออกแบบและพัฒนาระบบหัวมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	35
3.3.1 การออกแบบ และพัฒนาเครื่องหัวมันสำปะหลังแบบแผ่น.....	35
3.3.2 การพัฒนาเครื่องหัวมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	39
3.3.3 การออกแบบสายพานลำเลียง.....	43
3.4 การออกแบบชุดควบคุมสายพานลำเลียง.....	46
3.5 การออกแบบแผนการทดลอง.....	51
3.6 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง.....	53
3.6.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองสำหรับ.....	53
เครื่องหัวมันสำปะหลังแบบแผ่น	
3.6.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองสำหรับ.....	54
เครื่องหัวมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า	
3.7 การประเมินประสิทธิภาพของระบบหัวมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	56
3.8 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.....	56
3.8.1 การศึกษาค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบหัวมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	56
3.8.2 การศึกษาระยะเวลาในการคืนทุนของระบบหัวมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	57
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล.....	59
4.1 การศึกษาการกระจายตัวของหัวมันสำปะหลัง.....	59
4.1.1 การกระจายตัวของหัวสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9.....	59
4.1.2 การกระจายตัวของหัวสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50.....	61
4.2 การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหัวมันสำปะหลังแบบแผ่น.....	63
4.3 การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหัวมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	68
4.4 การประเมินประสิทธิภาพของระบบเครื่องหัวมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	73
4.5 การตรวจสอบความถูกต้องของเปอร์เซ็นต์มันสำปะหลังเต๋าสสมบูรณ์.....	75
ที่ได้จากการทำนายและค่าที่ได้จากการทดลอง	
4.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.....	76

4.6.1 การศึกษาค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบหมั่นสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	76
4.6.2 จุดคุ้มทุนของระบบหมั่นสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	78
4.6.3 ระยะเวลาในการคืนทุนของระบบหมั่นสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	79
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	80
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	80
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	81
เอกสารอ้างอิง.....	82
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมการทำงานของสายพานลำเลียง.....	85
ภาคผนวก ข ลักษณะทางกายภาพของหัวหมั่นสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9.....	88
และเกษตรศาสตร์ 50	
ภาคผนวก ค ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหมั่นสำปะหลัง.....	95
และเครื่องหมั่นสำปะหลังแบบลูกเต๋า	
ภาคผนวก ง ผลการทดลองหาความสามารถในการผลิตของระบบ.....	100
หมั่นสำปะหลังแบบลูกเต๋า	
ภาคผนวก จ ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	103
ประวัติผู้เขียน.....	112

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องจักร.....	4
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบหลักของหัวมันสำปะหลัง.....	14
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของเนื้อมันสำปะหลัง.....	14
ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของหัวมันสำปะหลังสดและหัวมันสำปะหลังแห้ง.....	15
ตารางที่ 3.1 ความเร็วรอบของมูเลย์แต่ละตัวที่ความถี่ต่าง ๆ.....	39
ตารางที่ 3.2 ความเร็วรอบของมูเลย์แต่ละตัวที่ความถี่ต่าง ๆ.....	42
ตารางที่ 3.3 ปัจจัย ระดับและขอบเขตของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่น.....	53
ตารางที่ 3.4 สิ่งทดลองจากการออกแบบการทดลอง CCD ของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่น.....	54
ตารางที่ 3.5 ปัจจัย ระดับและขอบเขตของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	54
ตารางที่ 3.6 สิ่งทดลองจากการออกแบบการทดลอง CCD ของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	55
ตารางที่ 4.1 ขนาดของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50.....	63
ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50.....	63
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองของสายพันธุ์ระยอง 9.....	64
ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองของสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50.....	65
ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองของสายพันธุ์ระยอง 9.....	70
ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองของสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50.....	70
ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพของระบบหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	75
ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับสายพันธุ์ระยอง 9.....	76
ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50.....	76
ตารางที่ ข.1 ลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9.....	87
ตารางที่ ข.2 ลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50.....	90
ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลัง สายพันธุ์ระยอง 9.....	94
ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลัง สายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50.....	95

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหัน.....	96
มันสำปะหลังลูกเต๋าสายพันธุ์ระยอง 9	
ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหัน.....	97
มันสำปะหลังลูกเต๋าสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50	
ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองหาความสามารถในการผลิตของระบบสำหรับ.....	99
มันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9	
ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองหาความสามารถในการผลิตของระบบสำหรับ.....	100
มันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50	



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะลำต้นของมันสำปะหลัง.....	7
รูปที่ 2.2 ลักษณะใบมันสำปะหลัง.....	8
รูปที่ 2.3 ช่อดอกของมันสำปะหลัง.....	9
รูปที่ 2.4 ผลและเมล็ดมันสำปะหลัง.....	9
รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของหัวมันสำปะหลัง.....	10
รูปที่ 2.6 ราก หรือหัวมันสำปะหลัง.....	11
รูปที่ 2.7 การปลูกมันสำปะหลังแบบยกร่อง (ก) และแบบไม่ยกร่อง (ข).....	12
รูปที่ 2.8 ลักษณะการเก็บเกี่ยว (ก) แรงงานคน (ข) เครื่องทุ่นแรง.....	13
รูปที่ 2.9 (ก) มันสำปะหลังเส้น (ข) มันสำปะหลังอัดแท่ง.....	15
รูปที่ 2.10 แสดงสัญญาณเปิด(HIGH) และปิด(LOW).....	18
รูปที่ 2.11 ลักษณะสัญญาณ PWM.....	18
รูปที่ 2.12 บอร์ด Arduino uno R3.....	19
รูปที่ 2.13 HC-SR04 Ultrasonic Module.....	20
รูปที่ 2.14 Sharp GP2Y0A21 Infrared distance sensor.....	21
รูปที่ 2.15 พื้นผิวตอบสนองแบบ 3 มิติ.....	23
รูปที่ 2.16 รูปแบบทางเลขาคณิตสำหรับการออกแบบ.....	25
รูปที่ 2.17 สายพานลำเลียงแบบปิด (Close or zipper belt).....	26
รูปที่ 2.18 ลักษณะของสายพานลำเลียงแบบแผ่นบานพับ (Hinged plate conveyor).....	27
รูปที่ 2.19 ลักษณะการทำงานของกะพ้อแบบ V bucker and V-pivoted bucker.....	28
conveyer elevator	
รูปที่ 2.20 ลักษณะการทำงานของกะพ้อแบบ Centrifugal elevator.....	28
รูปที่ 2.21 ลักษณะเกลียวลำเลียงรูปแบบต่าง ๆ.....	29
รูปที่ 2.22 เครื่องหันมันสำปะหลังแบบเส้น.....	30
รูปที่ 2.23 เครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	31
รูปที่ 3.1 เครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	34
รูปที่ 3.2 หัวมันสำปะหลัง ก) พันธุ์ระยอง 9 ข) เกษตรศาสตร์ 50.....	35
รูปที่ 3.3 เครื่องหันมันสำปะหลังแผ่นตันแบบ.....	36

สารบัญญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.4 ลักษณะใบมีดวงเดือน (ก) ชนิดคาไบต์ (ข) ชนิดฟันแหลม.....	36
รูปที่ 3.5 ลักษณะการจัดวางใบมีดของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่น.....	37
รูปที่ 3.6 การติดตั้งชุดส่งกำลัง.....	37
รูปที่ 3.7 ชุดหันหัวมันสำปะหลังของเครื่องต้นแบบ.....	39
รูปที่ 3.8 (ก) ชุดรองรับมันสำปะหลังแผ่น (ข) พื้นผิวแสดงเลขของชุดรองรับมันสำปะหลังแผ่น.....	40
รูปที่ 3.9 การติดตั้งชุดรองรับมันสำปะหลังแผ่น.....	40
รูปที่ 3.10 ชุดปรับระดับความสูงของเครื่อง.....	41
รูปที่ 3.11 การติดตั้งชุดปรับระดับความสูงของเครื่อง.....	41
รูปที่ 3.12 การติดตั้งชุดส่งกำลังของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	42
รูปที่ 3.13 สายพานชนิด PVC.....	43
รูปที่ 3.14 การออกแบบสายพานลำเลียงเบื้องต้น.....	44
รูปที่ 3.15 การติดตั้งสายพานลำเลียง อุปกรณ์รองรับน้ำหนัก และอุปกรณ์ดึงสายพาน.....	44
รูปที่ 3.16 แสดงการส่งกำลังของสายพานลำเลียง.....	45
รูปที่ 3.17 ลักษณะการเชื่อมต่อของระบบหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	45
รูปที่ 3.18 วงจรระบบควบคุมการลำเลียง.....	46
รูปที่ 3.19 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุมสายพานลำเลียงด้วยโปรแกรม Arduino IDE.....	47
รูปที่ 3.20 การทดสอบความแม่นยำของ IR sensor.....	48
รูปที่ 3.21 ลักษณะการลำเลียงของสายพานลำเลียงมันสำปะหลังแบบแผ่น.....	49
รูปที่ 3.22 ลักษณะการลำเลียงมันสำปะหลังแผ่นบนสายพานลำเลียง.....	49
รูปที่ 3.23 ปริมาณแผ่นมันสำปะหลังที่อยู่บริเวณชุดรองรับแผ่นมันสำปะหลัง.....	50
รูปที่ 3.24 ลักษณะเชื่อมต่อของเครื่องจักรที่อยู่ในระบบหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า.....	50
รูปที่ 3.25 ลักษณะลำเลียงมันสำปะหลังของระบบหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่พัฒนา.....	51
รูปที่ 3.26 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	52
รูปที่ 3.27 แสดงลักษณะ (ก) มันสำปะหลังแผ่นสมบูรณ์ (ข) มันสำปะหลังแผ่นไม่สมบูรณ์.....	53
(ค) เศษมันสำปะหลัง	
รูปที่ 3.28 แสดงลักษณะ (ก) มันสำปะหลังลูกเต๋าสมบูรณ์ (ข) มันสำปะหลังลูกเต๋าไม่สมบูรณ์.....	55
(ค) เศษมันสำปะหลัง	

สารบัญญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของชุดข้อมูลความกว้างหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง	59
รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของชุดข้อมูลความยาวหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง	60
รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของชุดข้อมูลความหนาหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9.....	60
รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของชุดข้อมูลความกว้างหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50.....	61
รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของชุดข้อมูลความยาวหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50.....	62
รูปที่ 4.6 การกระจายตัวของชุดข้อมูลความหนาหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50.....	62
รูปที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ที่ได้จากการทดลอง และสมการทำนาย.....	66
รูปที่ 4.8 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่น.....	67
รูปที่ 4.9 อิทธิพลของความเร็วกับอัตราการป้อนที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์.....	67
ของสายพันธุ์ระยอง 9	
รูปที่ 4.10 อิทธิพลของความเร็วกับอัตราการป้อนที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์.....	68
ของสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50	
รูปที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต้าสมบูรณ์ที่ได้จากการทดลองและสมการทำนาย.....	71
รูปที่ 4.12 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต้า.....	72
รูปที่ 4.13 อิทธิพลของความเร็วกับอัตราการป้อนที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์.....	72
ความเป็นลูกเต้าสมบูรณ์ของสายพันธุ์ระยอง 9	
รูปที่ 4.14 อิทธิพลของความเร็วกับอัตราการป้อนที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์.....	73
ความเป็นลูกเต้าสมบูรณ์ของสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50	
รูปที่ 4.15 ความสามารถในการผลิตของระบบหันมันสำปะหลังแบบลูกเต้า.....	74
รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต้าของระบบหันมันสำปะหลังแบบลูกเต้า.....	74

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

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

ประเทศไทยได้ขยายพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับการเติบโตของอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังตามความต้องการในตลาดส่งออก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร อธิบายสถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังของไทย พบว่า ฤดูการผลิตปี 2565 และ ปี 2566 มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว รวมทั้งประเทศ 10.18 ล้านไร่ ผลผลิต 34.69 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567) เนื่องจากความพร้อมด้านแหล่งผลิตวัตถุดิบมันสำปะหลังของไทย ทำให้ไทยเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยมีประเทศ เวียดนาม กัมพูชา ไนจีเรีย บราซิล และอินโดนีเซีย เป็นประเทศส่งออกรองลงมา

ประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง โดยมีส่วนแบ่งการตลาด อยู่ที่ประมาณร้อยละ 70-80 ของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังทั้งหมดในตลาดโลก เนื่องจากประเทศอื่นๆ ที่มีการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังส่วนมากจะบริโภคมันสำปะหลังเป็นอาหารหลักของประเทศ ประมาณร้อยละ 80-90 ของผลผลิต (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2558) ทำให้ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่มันสำปะหลังไม่ใช่อาหารหลัก 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 อุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังในประเทศไทย เป็นการแปรรูปในลักษณะของมันสำปะหลังเส้น ซึ่งมีลักษณะที่ใหญ่ ส่งผลทำให้กระบวนการลดความชื้นใช้เวลานาน เนื่องจากมันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับหลังแบบเส้นส่งผลทำให้กระบวนการลดความชื้นจำเป็นต้องใช้เวลานาน ก่อให้เกิดเชื้อราหรือการเน่าเสียในขณะกระบวนการลดความชื้น ในปัจจุบัน จึงได้มีการพัฒนาเครื่องแปรรูปมันสำปะหลังแบบเตาขึ้น เพื่อลดอัตราการเกิดของเชื้อราในผลิตภัณฑ์แปรรูป และส่งผลทำให้กระบวนการลดความชื้นใช้เวลาอันน้อยลง ความสามารถของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบเตาที่ทำการพัฒนาขึ้น มีความสามารถในความเป็นลูกเตาสมบูรณ์ 33% ลูกเตาไม่สมบูรณ์ 54.7% และกำลังการผลิต 532.8 kg hr^{-1} (ไชยวัฒน์ และคณะ 2561) เนื่องจากในส่วนของชุดหั่นมันสำปะหลังแบบเดิมที่ใช้ยังมีลักษณะเป็นชุดใบมีด 2 ซม. ทำการหั่นมันสำปะหลังในแนวนอน มีความสามารถในการผลิตมันสำปะหลังแบบลูกเตาซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการในอุตสาหกรรม ดังนั้น ผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเตา ทำให้กระบวนการแปรรูปมีความต่อเนื่อง ส่งผลต่อกำลังในการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูปของมันสำปะหลังให้มากยิ่งขึ้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการในอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังในประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อออกแบบ และพัฒนาระบบแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเตา
- 1.2.2 ศึกษาอิทธิพลที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปมันสำปะหลังให้อยู่ในรูปแบบลูกเตา และประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของระบบเพื่อเพิ่มผลผลิต
- 1.2.3 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเตา โดยวิธีการออกแบบการทดลองพหุคูณตอบสนอง
- 1.2.4 เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 ออกแบบ และพัฒนาระบบแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเตา โดยทำการทดลองกับมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 9
- 1.3.2 พัฒนา และปรับปรุงเครื่องหั่นมันสำปะหลัง และเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเตา
- 1.3.3 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ระบบแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเตา ซึ่งสามารถเพิ่มกำลังการผลิตจากการแปรรูปลดภาระทางด้านแรงงาน และปัญหาการขาดแคลนแรงงานในปัจจุบัน
- 1.4.2 การทำงานของระบบการแปรรูปมันสำปะหลังที่มีความต่อเนื่อง
- 1.4.3 ตอบสนองความต้องการมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลัง และประเมินประสิทธิภาพในการทำงาน เพื่อให้ระบบการแปรรูปมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.4 ทราบสถานะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า เพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋ามากที่สุด

1.4.5 ความคุ้มค่า และความคุ้มค่า เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ของระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

1.5 วิธีการดำเนินการ

1.5.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องหั่นมันสำปะหลัง และเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนา และออกแบบระบบแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.5.2 ศึกษาระบบลำเลียง เพื่อออกแบบสายพานลำเลียงที่มีความเหมาะสมในระบบที่จะทำการพัฒนาขึ้น

1.5.3 ศึกษาคุณสมบัติของมันสำปะหลังพันธุ์ ในด้านของขนาด ความยาว และเส้นผ่าศูนย์กลาง

1.5.4 นำผลที่ได้จากข้อ 1.5.1 1.5.2 และ 1.5.3 มาวิเคราะห์ และออกแบบระบบ

1.5.5 สร้างชุดลำเลียง และระบบลำเลียง เพื่อให้มีความต่อเนื่องในการทำงานระหว่างเครื่องหั่นมันสำปะหลัง และเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

1.5.6 พัฒนาเครื่องหั่นมันสำปะหลัง และเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ให้เป็นไปตามแบบแผนที่ทำการออกแบบไว้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของแต่ละเครื่อง

1.5.7 ทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า และปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

1.5.8 ทดสอบหาสถานะที่เหมาะสมในการหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า โดยวิธีการออกแบบการทดลองพื้นผิวตอบสนอง

1.5.9 วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล หาความสามารถในการทำงาน ประสิทธิภาพในการทำงาน การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

1.6 งบประมาณ

ตารางที่ 1.1 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องจักร

รายการ	ราคา
เครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่น	12,000
ใบมีดวงเดือน ชนิดฟันแหลม ขนาด 10 นิ้ว 30 ฟัน (15 ใบ)	6,000
เครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า	15,000
ชุดขาตั้งปรับระดับ (4 ชุด)	1,000
ชุดรองรับมันสำปะหลัง	1,000
สายพานลำเลียง	
สายพานลำเลียงชนิด PVC หนา 5 mm ขนาด 300 x 2000 mm	3,200
โรลเลอร์ ขนาด 35 mm ความยาว 32 cm (2 ชุด)	300
ล้อประกอบสายพาน ชนิด PVC ขนาด 35 mm ความยาว 32 cm (5 ชุด)	500
โครงสร้างสายพานลำเลียง	2,000
มอเตอร์ขับ 12VDC 80W ความเร็วรอบ 110 rpm (1 ตัว)	2,400
ชุดควบคุมสายพานลำเลียง	1,200
รวม	44,600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ที่มาและข้อมูลเบื้องต้นของมันสำปะหลัง

2.1.1 ข้อมูลมันสำปะหลังเบื้องต้น

มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารที่สำคัญในหลายๆประเทศ เช่น แอฟริกา อเมริกาใต้ อินโดนีเซีย อินเดีย ฟิลิปปินส์ และประเทศไทย เนื่องจากเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่หาได้ง่าย และที่สำคัญของคนและอาหารสัตว์ ซึ่งมันสำปะหลังเป็นพืชอาหารในอันดับที่ 5 ของโลก รองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ, 2547) ประเทศไทยได้ขยายพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับการเติบโตของอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังตามความต้องการในตลาดส่งออก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร อธิบายสถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังของไทย พบว่า ฤดูการผลิตปี 2565 และ ปี 2566 มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว รวมทั้งประเทศ 10.18 ล้านไร่ ผลผลิต 34.69 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) เนื่องจากความพร้อมด้านแหล่งผลิตวัตถุดิบมันสำปะหลังของไทย ทำให้ไทยเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยมีประเทศ เวียดนาม กัมพูชา ไนจีเรีย บราซิล และ อินโดนีเซีย เป็นประเทศส่งออกรองลงมา สำหรับประเทศไทยมันสำปะหลังถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เกษตรกรนิยมปลูกกันมาก เพราะทนแล้ง ปลูกง่าย ศัตรูพืชน้อย แหล่งปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา กำแพงเพชร ชัยภูมิ กาญจนบุรี อุบลราชธานี สระแก้ว นครสวรรค์ เลย อุดรธานี และลพบุรี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ มันสำปะหลังชนิดหวาน (Sweet type) และมันสำปะหลังชนิดขม (Bitter type) สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน ทั้งบริโภคเป็นอาหารโดยตรง และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง ได้แก่ มันเส้น (Tapioca chips) มันอัดเม็ด (Tapioca pellets) และแป้งมันสำปะหลัง (Tapioca starch) สำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมต่างๆ

2.1.2 แหล่งกำเนิดและการแพร่กระจายของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชพื้นถิ่นของชาวพื้นเมืองในของทวีปอเมริกาตอนกลาง และทางเหนือของทวีปอเมริกาใต้ จากหลักฐานทางโบราณคดีมีการค้นพบเครื่องปั้นดินเผารูปหัวมันสำปะหลังใน

ประเทศเปรู ซึ่งมีอายุประมาณ 2,500 ปี แสดงให้เห็นว่า มนุษย์รู้จักการเพาะปลูกมันสำปะหลังมาเป็นเวลานาน โดยแหล่งกำเนิดมันสำปะหลังมี 4 แห่ง คือ

- (1) แถบประเทศกัวเตมาลา และเม็กซิโก
- (2) ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของทวีปอเมริกาใต้
- (3) ทางทิศตะวันออกของประเทศโบลิเวีย และทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศอาร์เจนตินา
- (4) ทางทิศตะวันออกของประเทศบราซิล

ในคริสต์ศตวรรษที่ 15 เริ่มมีการแพร่กระจายของมันสำปะหลังเนื่องจากเกิดการล่าอาณานิคม โดยนักค้าทาสได้นำมันสำปะหลังจากประเทศบราซิลไปปลูกในทวีปแอฟริกา ต่อมา ในปี พ.ศ.2282 มีชาวโปรตุเกสนำมันสำปะหลังไปปลูกที่เกาะริยูเนียน (Reunion) และแพร่กระจายไปยังมาดากัสกา ในคริสต์ศตวรรษที่ 17 มีการนำมันสำปะหลังมาปลูกครั้งแรกในทวีปเอเชียที่ประเทศฟิลิปปินส์ โดยชาวสเปนได้นำมาจากประเทศเม็กซิโก และในเวลาต่อมาก็มีการปลูกที่ประเทศอินโดนีเซีย นอกจากนี้ยังมีหลักฐานว่า ในปี พ.ศ.2337 ได้มีการนำมันสำปะหลังจากทวีปแอฟริกามาปลูกที่ประเทศอินเดียเพื่อใช้ในการทดลอง (อนุชิต, 2560) ทำให้มันสำปะหลังแพร่กระจายไปทั่วในเขตเอเชีย มันสำปะหลังจึงมีชื่อเรียกตามภาษาท้องถิ่นหลายชื่อ เช่น ภาษาโปรตุเกส เรียกว่า Mandioca ภาษาฝรั่งเศสเรียกว่า Manioc ภาษาสเปนเรียกว่า Yuca และภาษาอังกฤษ เรียกว่า Cassava หรือ Tapioca

2.1.3 ความเป็นมาของมันสำปะหลังในประเทศไทย

ประเทศไทยยังไม่มีหลักฐานที่แน่นอนว่ามีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกเมื่อใดแต่สันนิษฐานว่าน่าจะเข้ามาในระยะเดียวกันกับการเข้าสู่ประเทศศรีลังกา และฟิลิปปินส์ คือ ประมาณปี พ.ศ. 2329-2383 และคาดว่ามีการนำมันสำปะหลังจากมาลาญมาปลูกในภาคใต้ ประมาณปี พ.ศ. 2329 มันสำปะหลังเดิมเรียกกันว่า มันสำโรง มันไม้ ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียกว่า มันต้นเตี้ย ทางภาคใต้เรียกว่า มันเทศ หรือ มันหลา คำว่า สำปะหลัง คล้ายกับคำในภาษาชาวตะวันตกที่เรียกมันสำปะหลังว่า สัมเปอ (Sampou) ซึ่งมีความหมายเหมือนคำในภาษามาลายูที่แปลว่า พืชที่มีรากขยายใหญ่ (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560) มันสำปะหลังเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งมีลักษณะเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก มีอายุอยู่ได้หลายปี ปลูกง่าย ซึ่งทนทานต่อความแห้งแล้ง และเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ โดยมันสำปะหลังมีชื่อสามัญตามภาษาท้องถิ่นหลายชื่อดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น และมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz ในส่วนของอนุกรมวิธานของมันสำปะหลัง สามารถจัดหมวดหมู่ของมันสำปะหลัง มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชั้น (Class) : Angiospermae
- ชั้นย่อย (Subclass) : Dicotyledoneae
- อันดับ (Order) : Geraniales
- วงศ์ (Family) : Euphorbiaceae
- สกุล (Genus) : Manihot

2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2558)

มันสำปะหลังมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่สำคัญ ดังนี้

2.2.1 ลำต้น

มันสำปะหลังมีลำต้นลักษณะตั้งตรง สูงประมาณ 2-4 เมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-6 เซนติเมตร สีของลำต้นแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ส่วนที่อยู่ใกล้ยอดมักมีสีเขียว และส่วนที่ต่ำลงมามีสีแตกต่างกันออกไป เช่น สีน้ำเงินเขียว สีเทาเงิน สีเหลือง จนถึงสีน้ำตาล แสดงในภาพที่ 2.1 ส่วนของลำต้นจะมียางสีขาวติดอยู่ ในการแตกกิ่งของมันสำปะหลังแตกต่างกันตามพันธุ์ ซึ่งมีตั้งแต่ไม่แตกกิ่ง (Unbranched) แตกกิ่ง 2 กิ่ง (Dichotomus branching) แตกกิ่ง 3 กิ่ง (Trichotomus branching) แต่ไม่เกิน 4 กิ่ง ซึ่งกิ่งที่แตกออกจากลำต้นหลักเรียกว่า Primary branch ส่วนกิ่งที่แตกออกจาก Primary branch เรียกว่า Secondary branch บนลำต้นหรือกิ่งของมันสำปะหลังจะเห็น รอยหลุมร่องของก้านใบ เรียกว่า รอยแผลใบ (Leaf scar) โดยเป็นรอยต่อระหว่างก้านใบกับลำต้นหรือกิ่ง ระยะระหว่างรอยแผลใบ 2 รอยต่อกันเรียกว่า ความยาวชั้น (Storey length) ด้านบนเหนือ รอยแผลใบจะมีตา (Bud) ซึ่งจะงอกเป็นต้นใหม่เมื่อนำท่อนพันธุ์ไปปลูก



รูปที่ 2.1 ลักษณะลำต้นของมันสำปะหลัง

(ที่มา : <http://at.doa.go.th/cassvar/character4.htm>, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ใบมันสำปะหลัง

ใบมันสำปะหลังเป็นแบบใบเดี่ยว (Simple leaf) การเกิดของใบจะหมุนเวียนรอบลำต้น (Spiral) แสดงดังรูปที่ 2.2 โดยที่มีการจัดเรียงตัว (Phyllotaxy) ค่อนข้างคงที่แน่นอน คือ 2/5 ก้านใบ (Petiole) ต่อระหว่างลำต้นหรือกิ่งกับตัวแผ่นใบ ก้านใบอาจมีสีเขียว หรือสีแดง ตัวใบหรือแผ่นใบ (Lamina) จะเว้าเป็นหยักลึกเป็นแฉก (Palmately lobe) จำนวนหยักมีตั้งแต่ 3-9 หยัก และบริเวณโคน ก้านใบติดกับลำต้นมีหูใบ (Stipule)



รูปที่ 2.2 ลักษณะใบมันสำปะหลัง

(ที่มา : [http://esan.life/?p=689, 2561](http://esan.life/?p=689,2561))

2.2.3 ดอก

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีช่อดอกแบบ Panicle คือ มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน (Monoecious plant) ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกดอกกัน แต่อยู่ในช่อดอก (Inflorescence) เดียวกัน แสดงในรูปที่ 2.3 โดยที่ช่อดอกจะเกิดตรงปลายยอดของลำต้นหรือกิ่ง ดอกตัวผู้มักเกิดบริเวณส่วนปลาย หรือยอดของช่อดอก มีก้านดอก กลีบรองดอกหรือกลีบเลี้ยง 5 กลีบ แต่ไม่มีกลีบดอก ดอกตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ มักเกิดอยู่บริเวณส่วนโคนของช่อดอก ไม่มีกลีบดอก แต่มีกลีบรองดอก หรือกลีบเลี้ยง 5 กลีบ เช่นเดียวกับดอกตัวผู้ ตรงกลางจะเป็นเกสรตัวเมีย รังไข่ (Ovary) มี 3 Carpel ภายในแต่ละ Carpel มีไข่ (Ovule) อยู่ 1 ใบ ในช่อดอกเดียวกันดอกตัวเมียจะบานก่อนดอกตัวผู้ 7-10 วัน

2.2.4 ผลและเมล็ด

หลังจากการผสมของเกสรมันสำปะหลัง รังไข่จะเจริญเติบโตขยายใหญ่กลายเป็นผล ลักษณะเป็น Capsule ผลขนาดโตเต็มที่จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณครึ่งนิ้ว ยาว 1-1.5 cm ภายในมี 3 ช่อง แต่ละช่องมีเมล็ด 1 เมล็ด รูปร่างยาวรี มีสีน้ำตาลและมีลายดำ แสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 ช่อดอกของมันสำปะหลัง
(ที่มา : <https://medthai.com/มันสำปะหลัง/>, 2563)



รูปที่ 2.4 ผลและเมล็ดมันสำปะหลัง
(ที่มา : <https://medthai.com/มันสำปะหลัง/>, 2563)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 ราก หรือหัวมันสำปะหลัง

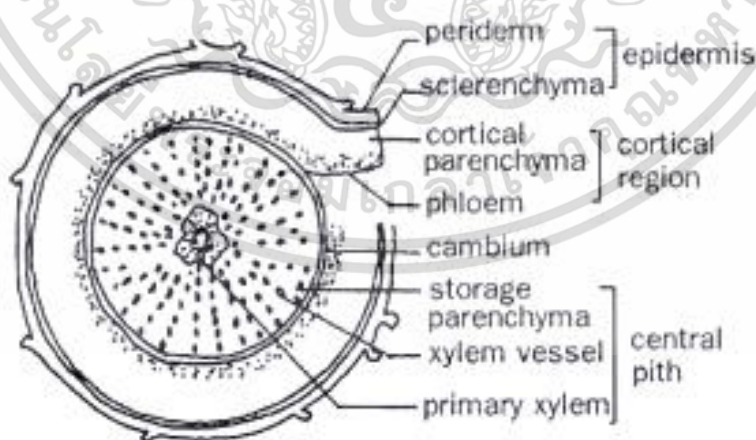
รากหรือหัวมันสำปะหลัง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ รากจริง (True or wiry roots) และรากสะสม (Modified or storages roots) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า หัวมันสำปะหลัง โดยรากจริงเป็นรากที่งอกจากท่อนพันธุ์ สามารถงอกได้จาก 3 ส่วน คือ รากจากส่วนเนื้อเยื่อ (Root from cambium) รากจากส่วนตา (Root from bud) และรากจากส่วนรอยหลุดร่วงของใบ (Root from leaf scar)

ส่วนหัวของมันสำปะหลัง (Tuber) คือ ส่วนรากที่ขยายใหญ่เพื่อสะสมอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรตในส่วน Parenchyma cell รากสะสมอาหารมีปริมาณแป้งประมาณ 15-40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีกรดไฮโดรไซยานิก (HCN) หรือกรดพรีสซิก (Prussic acid) ซึ่งมีพิษ จะมียู่มากในส่วนของเปลือกมากกว่าเนื้อของหัวมันสำปะหลัง หัวมันสำปะหลังเมื่อตัดตามขวางมีส่วนประกอบ ดังนี้

(1) เปลือกชั้นนอก (periderm) เป็นชั้นของเซลล์ผิวชั้นนอก (epidermal cell) และชั้นของคอร์ก (cork layer) รวมกัน มีสีขาว หรือสีน้ำตาลอ่อนถึงแก่ หรือสีชมพู

(2) เปลือกชั้นใน (cortical region) เป็นส่วนของคอร์เทกซ์ (cortex) และกลุ่มโฟลเอ็ม (phloem bundle) มีสีขาวยาว ความหนา 0.1-0.3 ซม. เปลือกชั้นนอกและเปลือกชั้นใน เรียกรวมกันว่า เปลือก (peel)

(3) ส่วนแกนกลางหรือส่วนสะสมแป้ง (central pith หรือ starchy flesh) มีสีขาวยาว เหลือง หรือสีชมพู ประกอบด้วยเซลล์พาเรนไคมา (parenchyma cell) กลุ่มท่อน้ำ (xylem bundle) และท่อน้ำยาง (latex tube)



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของหัวมันสำปะหลัง

(ที่มา : <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=17856/>, 2566)



รูปที่ 2.6 ราก หรือหัวมันสำปะหลัง

(ที่มา : <https://medthai.com/มันสำปะหลัง/>, 2563)

2.3 การปลูกและการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง

2.3.1 การปลูกมันสำปะหลัง (ศูนย์สารสนเทศ กรมวิชาการเกษตร, 2551)

(1) ฤดูปลูก มันสำปะหลังเป็นพืชที่สามารถปลูกได้เกือบตลอดทั้งปี แบ่งออกเป็น 2 ฤดู คือ ต้นฤดูฝน (เดือนมีนาคม-พฤษภาคม) และปลายฤดูฝน (เดือนกันยายน-พฤศจิกายน) ช่วงปลูกที่เหมาะสมควรเลือกวันปลูกเพื่อให้มันสำปะหลังอายุ 1-5 เดือน ซึ่งอยู่ในสภาวะที่ขาดน้ำน้อยที่สุด การปลูกเพื่อการผลิตท่อนพันธุ์ควรปลูกต้นฤดูฝน เนื่องจากมันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตได้ดี และได้ปริมาณท่อนพันธุ์มาก อีกทั้งยังส่งผลทำให้ผลผลิตสูงกว่าหากปลูกในช่วงเวลาอื่น

(2) การเตรียมดิน ควรไถพรวนให้ลึก 20-30 เซนติเมตร โดยไถกลบเศษเหลือของพืช ไม่ควรเผาหรือเคลื่อนย้ายเศษเหลือของพืชออกจากพื้นที่เพาะปลูก เนื่องจากการเผาทิ้งหรือขนย้ายส่งผลต่อธาตุอาหารที่ก่อให้เกิดการสูญหายเป็นจำนวนมาก การไถควรทำ 1-2 ครั้ง เพื่อพลิกดินชั้นล่างกลับขึ้นมา เพื่อปรับโครงสร้างดินให้เหมาะสมแก่การเพาะปลูกมันสำปะหลัง อีกทั้งยังช่วยนำเอาธาตุอาหารที่ถูกชะล้างลงไปดินชั้นล่างกลับขึ้นมาอยู่ในดินชั้นบนให้มันสำปะหลังนำไปใช้ได้

(3) การคัดเลือกท่อนพันธุ์ปลูก ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ปลูกควรได้จากต้นที่มีอายุตั้งแต่ 8 เดือนขึ้นไป และไม่ควรมีเกิน 18 เดือน ขนาดของท่อนพันธุ์ใหม่สด ไม่บอบช้ำ ปราศจากโรคแมลง ควรตัดต้นพันธุ์ยาวประมาณ 20 เซนติเมตร เมื่อปลูกในฤดูฝน และตัดต้นพันธุ์ยาวประมาณ 25 เซนติเมตร เมื่อปลูกในช่วงปลายฤดูฝน โดยที่ท่อนพันธุ์จะต้องมีตาอย่างน้อย 5-7 ตาต่อท่อนพันธุ์

(4) วิธีการปลูก การปลูกมันสำปะหลังมีด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ การปลูกแบบวางนอน การปลูกแบบปัก โดยที่การปลูกแบบปักเป็นวิธีที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน ซึ่งสามารถปลูกแบบยกร่องหรือไม่ยกร่องก็ได้ แสดงในรูปที่ 2.7 โดยปักท่อนพันธุ์ให้ตั้งตรง ลึกประมาณ 5-10 เซนติเมตร หากปลูกในฤดูแล้งให้ปักลึก 15 เซนติเมตร



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.7 การปลูกมันสำปะหลังแบบยกร่อง (ก) และแบบไม่ยกร่อง (ข)

(ที่มา : <http://at.doa.go.th/cassfer/ดินน้ำและการจัดการปลูกมันสำปะหลัง.pdf>, 2554)

(5) ระยะปลูก การปลูกมันสำปะหลังใช้ระยะแตกต่างกัน โดยระยะแถวประมาณ 70 -100 เซนติเมตร ระยะหลุมประมาณ 50-100 เซนติเมตร ส่วนใหญ่ระยะปลูกประมาณ 80 x 100 เซนติเมตร หรือ 100 x 100 เซนติเมตร สามารถปลูกได้ตั้งแต่ 1,600-2,500 ต้นต่อไร่ ทั้งนี้ การปลูกมันสำปะหลังให้แถวถี่ขึ้นจะสิ้นเปลืองท่อนพันธุ์ แต่จะช่วยลดการกัดกร่อนผิวดิน และช่วยเก็บน้ำไว้ในดินเพิ่มขึ้น

2.3.2 การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง

การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังควรเก็บเกี่ยวในช่วงอายุตั้งแต่ 12-18 เดือน ซึ่งผลผลิตจะสูงขึ้นเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุมากขึ้น การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังที่อายุข้ามปีจะได้ผลผลิตสูงขึ้นเกือบเป็น 2 เท่า เมื่อเทียบกับเก็บเกี่ยวในปีเดียว ทั้งนี้ หากหัวมันสำปะหลังที่มีอายุเกิน 18 เดือน ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์แป้งใน

หัวสดต่ำ คุณภาพของแป้งไม่ได้มาตรฐาน และมีปริมาณเส้นใยสูง (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2543) โดยที่ การเก็บเกี่ยวสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

(1) ใช้แรงงานคน โดยตัดต้นมันสำปะหลังให้เหลือส่วนล่างของลำต้นไว้ประมาณ 30-70 เซนติเมตร จากนั้นขุดหัวมันสำปะหลังขึ้นมาด้วยจอบ ในกรณีที่ดินมีความชื้นสูง สามารถใช้วิธีการถอนหัวมันสำปะหลัง จากนั้น นำมาสับแห้งออก และขนส่งไปยังโรงงานเพื่อแปรรูป

(2) ใช้เครื่องทุ่นแรง ในพื้นที่ที่มีปัญหาขาดแคลนแรงงานจะมีการใช้เครื่องทุ่นแรงตัดท้ายรถแทรกเตอร์ สำหรับการพลิกหน้าดินเพื่อให้หัวมันสำปะหลังหลุดจากดิน จากนั้นใช้แรงงานคนเดินตามไปตัดหัวมันออกจากเหง้า และขนส่งไปโรงงานเพื่อแปรรูป



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.8 ลักษณะการเก็บเกี่ยว (ก) แรงงานคน (ข) เครื่องทุ่นแรง

(ที่มา : http://www.tapiocathai.org/pdf/Tapioca%20Plan/n_havests%20&%20crop%20care)

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง

เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่เก็บสะสมอาหารไว้ในราก เมื่อพืชมีการสร้างอาหารจากใบและส่วนที่เป็นสีเขียว ซึ่งจะสะสมในรูปของคาร์โบไฮเดรต หรือแป้งไว้ในราก เนื่องจากพันธุ์มันสำปะหลังแต่ละสายพันธุ์ มีความสามารถในการสร้าง และสะสมแป้งไว้ในรากมีความแตกต่างกัน รวมถึงความแตกต่างของอายุในเก็บเกี่ยว ปริมาณน้ำฝนในช่วงแรกก่อนการเก็บเกี่ยว และปัจจัยอื่นๆ จึงทำให้ส่วนประกอบของหัวมันอาจแตกต่างกันไป (ศูนย์รวมข้อมูลอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2553) โดยทั่วไปมันสำปะหลังที่มีอายุ 12 เดือน ที่ได้รับปริมาณน้ำฝนเพียงพอ และไม่มีฝนตกชุกขณะเก็บเกี่ยวจะมีองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 1 และ 2 (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2543)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบหลักของหัวมันสำปะหลัง

องค์ประกอบในหัวมันสำปะหลัง	ปริมาณ (ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักหัวมัน)
น้ำ	60.21-75.32
เปลือก	4.08-14.08
เนื้อ (แป้ง)	25.87-41.88
ไซยาไนด์ (ppm)	2.85-39.27

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของเนื้อมันสำปะหลัง

องค์ประกอบในเนื้อมันสำปะหลัง	ปริมาณ (ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของเนื้อมัน)
แป้ง	71.9-85.0
โปรตีน	1.57-5.78
เยื่อใย	1.77-3.98
เถ้า	1.20-2.80
ไขมัน	0.06-0.43
คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง	3.59-8.66

จากตารางที่ 2.1 พบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ในรากนอกจากน้ำแล้ว ยังมีแป้งอยู่ในปริมาณสูงถึงร้อยละ 70-80 เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย ซึ่งมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งสูง ปริมาณน้ำจะน้อย และความหนาแน่นของหัวจะสูง ดังนั้นในการวัดปริมาณแป้งอย่างรวดเร็วที่นิยมตรวจสอบ คือ การตรวจสอบความหนาแน่น โดยการชั่งน้ำหนักหัวมันในน้ำ ถ้าน้ำหนักหัวมันในน้ำน้อย แสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำมาก และมีแป้งน้อย แต่ถ้าน้ำหนักหัวมันในน้ำมาก แสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำน้อย และมีแป้งมาก (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2543)

นอกจากนี้ การนำหัวมันสำปะหลังไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมมักจะต้องทำให้แห้งเพื่อลดความชื้นก่อน เช่น อุตสาหกรรมมันเส้น อุตสาหกรรมมันอัดเม็ด หรือการสกัดเฉพาะส่วนของแป้งออกจากหัวมันสำปะหลัง แสดงดังรูปที่ 2.9 โดยส่วนประกอบทางเคมีของหัวมันสำปะหลังสด และหัวมันสำปะหลังแห้ง แสดงในตารางที่ 2.3 (สำนักวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน, 2552)

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของหัวมันสำปะหลังสดและหัวมันสำปะหลังแห้ง

ส่วนประกอบ	หัวมันสด	หัวมันแห้ง
ความชื้น (%)	63.25	10.63
คาร์โบไฮเดรต (%)	29.73	70.63
โปรตีน (%)	1.18	2.63
ไขมัน (%)	0.08	0.51
เถ้า (%)	0.85	2.2
เยื่อใย (%)	0.99	1.73
โพแทสเซียม (mg/kg)	0.26	0.43
ฟอสฟอรัส (mg/kg)	0.04	0.08

จากตารางที่ 2.3 เมื่อทำให้หัวมันสำปะหลังแห้งจนความชื้นลดลงเหลือเพียง 10% จะมีคาร์โบไฮเดรต 70% โปรตีน 2.63% และไขมัน 0.51% ทั้งนี้ พบว่าหัวมันสำปะหลังเมื่อเปรียบเทียบกับธัญพืชต่างๆ มันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำกว่า หากใช้ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเพื่อทดแทนธัญพืช จะต้องเพิ่มปริมาณโปรตีนในสูตรอาหารโดยการผสมกากถั่วเหลือง หรือปลาป่น เป็นต้น



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.9 (ก) มันสำปะหลังเส้น (ข) มันสำปะหลังอัดแท่ง

(ที่มา : <http://otop.dss.go.th/index.php/en/knowledge/informationrepack/339-tapioca-and-products>, 2560)

2.5 สายพันธุ์มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทย

พันธุ์มันสำปะหลังที่สำคัญในประเทศไทย มันสำปะหลังเพื่ออุตสาหกรรมที่นิยมปลูกในประเทศไทย มีหลากหลายพันธุ์ โดยแต่ละพันธุ์ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตร และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (กรมวิชาการเกษตร, 2556 ; กรมวิชาการเกษตร, 2561) ดังนี้

(1) พันธุ์มันสำปะหลังของกรมวิชาการเกษตร ได้แก่

- ระยอง 1 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมต่างๆ ของประเทศไทยได้ดี ทรงต้นสูงตรง ต้นพันธุ์มีความแข็งแรง อัตราการงอกดี และเก็บรักษาได้นาน
- ระยอง 3 เป็นพันธุ์ที่ต้องการสภาพแวดล้อมที่ดีเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง เช่น ปริมาณน้ำที่มาก แดดที่ไม่แรงจนเกินไป สายพันธุ์นี้มีลักษณะยอดอ่อนเป็นสีเขียวอ่อน ใบที่เจริญเต็มที่มีเขียวอ่อน ก้านใบสีเขียวอ่อนปนแดง ลำต้นมีสีน้ำตาลอ่อน มีปริมาณแป้งสูงประมาณ 23-28 เปอร์เซ็นต์
- ระยอง 60 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง น้ำหนักต่อไร่สูง แต่มีปริมาณแป้งที่น้อยกว่าสายพันธุ์อื่นๆ เมื่อปลูกในฤดูฝน เหมาะสำหรับเกษตรกรที่ต้องการเก็บเกี่ยวอายุต่ำกว่า 12 เดือน ต้นพันธุ์คุณภาพดี ทรงต้นสูงตรง แตกกิ่งน้อย สะดวกในการปฏิบัติดูแลรักษา ยอดอ่อนมีเขียวอมม่วง ใบที่เจริญเต็มที่มีสีเขียว ก้านใบสีเขียวปนแดง ลำต้นสีน้ำตาลอ่อน
- ระยอง 90 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง มีปริมาณแป้งสูงประมาณ 24-29 เปอร์เซ็นต์ ยอดอ่อนสีเขียวอ่อน ใบที่เจริญเต็มที่มีสีเขียวแก่ ก้านใบสีเขียวอ่อน ลำต้นสีน้ำตาลอมส้ม แต่มันสำปะหลังสายพันธุ์นี้จะเสื่อมคุณภาพเร็ว ไม่ทนแล้ง จึงไม่เหมาะกับการปลูกปลายฤดูฝน
- ระยอง 5 เป็นพันธุ์ที่ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ให้ผลผลิตสูง ยอดอ่อนสีม่วงอมน้ำตาล ใบที่เจริญเต็มที่มีสีเขียวแก่ ก้านใบสีแดงเข้ม ลำต้นสีเขียวอมน้ำตาล มีปริมาณแป้งประมาณ 22-27 เปอร์เซ็นต์ แต่สายพันธุ์นี้ที่ค่อนข้างอ่อนแอต่อโรคใบไหม้ ทรงต้นแตกกิ่ง และได้ต้นพันธุ์น้อย
- ระยอง 72 เหมาะกับการเพาะปลูกที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ให้ผลผลิตหัวมันสดที่สูง ต้นพันธุ์คุณภาพดี ทนแล้งได้ดี แต่มีปริมาณแป้งต่ำเมื่อปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยลักษณะยอดอ่อนเป็นสีม่วง ก้านใบสีแดงเข้ม ลำต้นสีเขียวเงิน
- ระยอง 7 เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตเร็วในช่วง 1-2 เดือนแรก มีความงอกสูง ไม่ค่อยแตกกิ่ง ให้ผลผลิตสูง ทนแล้ง ยอดอ่อนสีเขียวอ่อน ก้านใบสีเขียวอ่อนอมชมพู ลำต้นสีน้ำตาลอ่อน สายพันธุ์นี้มีข้อควรระวัง คือ ไม่ต้านทานโรคใบไหม้ และไรแดง

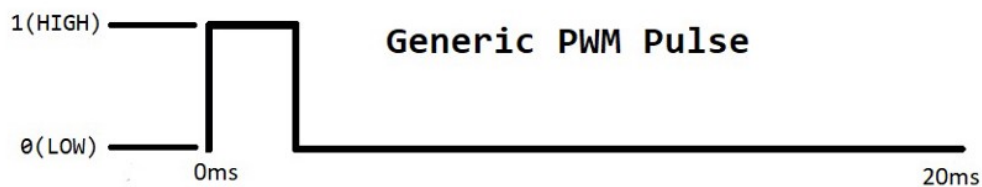
- ระยะเวลา 9 เป็นพันธุ์ที่มีลำต้นสูงตรง แข็งแรง ให้ผลผลิตสูง มีปริมาณแป้งสูง ต้านทานโรคได้ดี เหมาะกับการเพาะปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีลักษณะยอดอ่อนสีเขียวอ่อน ก้านใบสีเขียวอ่อนอมชมพู ลำต้นสีน้ำตาลอมเหลือง ควรเก็บเกี่ยวช่วงอายุมากกว่า 12 เดือน
- ระยะเวลา 11 เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณแป้งสูงในฤดูแล้ง ประมาณ 42.8 เปอร์เซ็นต์ ยอดอ่อนสีน้ำตาลอมเขียว ก้านใบสีเขียวอมแดง ลำต้นสีเขียวเงิน ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 12 เดือน เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง แต่สะสมน้ำหนักช้า

(2) พันธุ์มันสำปะหลังของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้แก่

- เกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์ที่ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ลำต้นสูงใหญ่ ต้นพันธุ์แข็งแรง มีความงอกดี และเก็บรักษาได้นาน มีปริมาณแป้งสูงประมาณ 23-28 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตสูง ยอดอ่อนสีม่วง ไม่มีขน ก้านใบสีเขียวอมม่วง ลำต้นสีเขียวเงิน เพาะปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นจำนวนมาก
- ห้วยบง 60 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง มีปริมาณสูงประมาณ 25.4 เปอร์เซ็นต์ ต้านทานโรคใบจุดปานกลาง ยอดอ่อนสีม่วงอ่อน ก้านใบสีเขียวอมม่วง ลำต้นสีเขียวเงิน ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุไม่น้อยกว่า 10 เดือน
- ห้วยบง 80 เป็นพันธุ์ที่มีลำต้นสูง มีปริมาณแป้งสูงประมาณ 27.3 เปอร์เซ็นต์ ยอดอ่อนสีเขียวอ่อน ก้านใบสีเขียวอมแดง ลำต้นสีเขียวเงิน ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุไม่น้อยกว่า 10 เดือน

2.6 สัญญาณควบคุม (PWM)

สัญญาณควบคุม (Pulse Width Modulation, PWM) เป็นเทคนิคสำหรับการ อ่าน/เขียนข้อมูลแบบ analog ด้วยสัญญาณ digital โดยตัวควบคุมการสร้างสัญญาณดิจิทัล (Digital control) นิยมใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ตัวควบคุมจะทำการสร้างสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมออกมาดังรูปที่ 2.10 โดยสัญญาณที่สร้างออกมาจะสลับกันระหว่าง เปิด (HIGH) กับ ปิด (LOW) รูปแบบสัญญาณเปิด-ปิดนี้สามารถจำลองเป็นแรงดันไฟฟ้าระหว่าง เปิด (5 Volts) กับ ปิด (0 Volts) ซึ่งจะเรียกช่วงที่เป็นปิดหรือเปิดตามการทำงาน เพราะช่วงที่เป็นปิดแรงดันไฟฟ้าจะเป็น 0 ทำให้ไม่มีการทำงาน ส่วนช่วงที่เป็นเปิดคือช่วงที่มีแรงดันไฟฟ้า ทำให้อุปกรณ์ทำงานได้

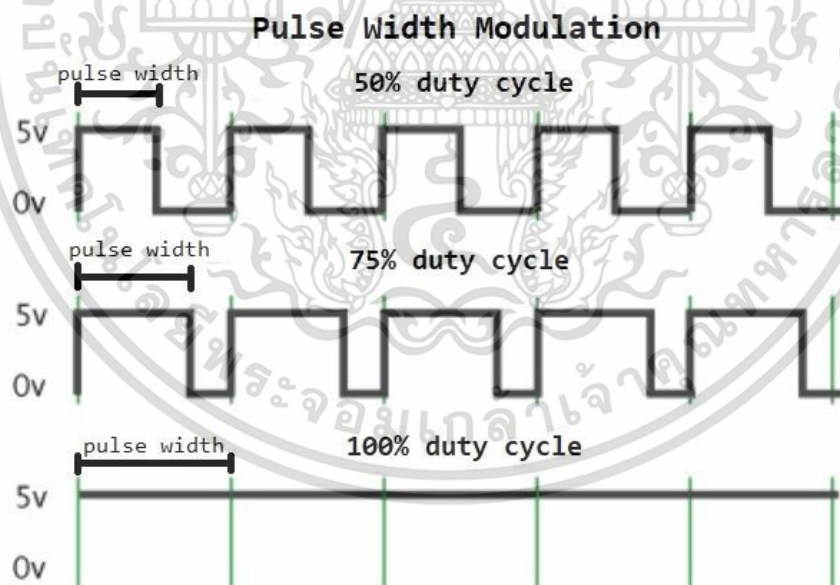


รูปที่ 2.10 แสดงสัญญาณเปิด(HIGH) และปิด(LOW)

(ที่มา: <https://medium.com/icreativesystems/to-know-pwm-373efa1322ce>)

ช่วงของเวลาที่สัญญาณเป็นเปิด เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่สัญญาณออกมาทั้งหมด จะเรียกช่วงเวลาดังกล่าวว่า ความกว้างของสัญญาณ (Pulse width) แสดงดังภาพที่ 2.11 ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลแบบ analog ที่ต่างกัน จึงใช้ความกว้างของสัญญาณที่แตกต่างกันในการบ่งบอกค่าของข้อมูล analog ทำให้สามารถเขียนค่าเป็นแบบ analog ได้ โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่าออกมาตั้งได้ 0-255 หรือ 0-1023 ตามความสามารถของอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน

สำหรับในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ Arduino ในการใช้เทคนิค PWM เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ผ่านชุด Motor Driver เพื่อให้การทำงานของระบบมีความต่อเนื่องสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.11 ลักษณะสัญญาณ PWM

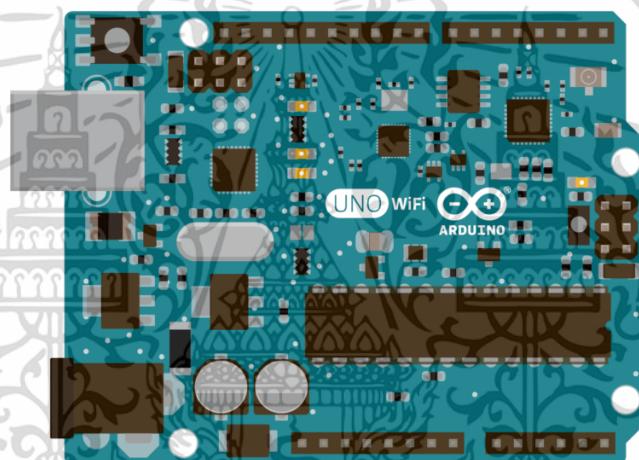
(ที่มา: <https://medium.com/icreativesystems/to-know-pwm-373efa1322ce>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Arduino board control

Arduino คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่สามารถอ่านอินพุตจากอุปกรณ์ หรือเซ็นเซอร์ต่างๆ ได้ง่าย และสะดวก สามารถควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ โดยส่งชุดคำสั่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่ง Arduino เป็น Open-Source Platform โดยเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR สำหรับการสร้างต้นแบบทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ง่ายต่อการใช้งาน โดยประกอบด้วย

1) ส่วนที่เป็น Hardware ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU: Microcontroller Unit) เป็นการร่วมกับ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ประกอบเป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน บอร์ด Arduino ในปัจจุบันมีหลายรุ่นให้เลือกใช้ โดยในแต่ละรุ่นมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดหรือสเปค เช่น จำนวนของขารับส่งสัญญาณ แรงดันไฟที่ใช้ ซึ่งบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ บอร์ด Arduino uno R3 แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 บอร์ด Arduino uno R3

2) ส่วนที่เป็น Software คือ ภาษา C / C++ เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุม Arduino IDE เป็นเครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Arduino คอมไพล์โปรแกรม (Compile) และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด (Upload) ในงานวิจัยนี้ใช้ Arduino รุ่น MEGA 2560 ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR : ATmega2560 เป็นบอร์ดที่ต่อยอดมาจาก Arduino Uno R3 มี digital input/output 54 ขา สามารถใช้เป็น output แบบ PWM ได้ 15 ขา มี analog inputs 16 ขา

2.8 Analog distance sensor

ในปัจจุบันเซนเซอร์วัดระยะทางด้วยแบบ analog ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย มีดังนี้

1) การตรวจวัดโดยคลื่น Ultrasonic ใช้หลักการส่งคลื่นเสียงความถี่ต่ำ Ultrasonic ไปเมื่อคลื่นเสียงกระทบกับวัตถุจะมีการสะท้อนกลับมา เซนเซอร์จับเวลาที่ส่งคลื่นเสียงออกไปจนถึงคลื่นเสียงสะท้อนกลับมา เมื่อนำมาคำนวณกับเวลาที่เสียงเดินทางในอากาศ ก็จะได้ระยะทางออกมาโมดูล Ultrasonic ตรวจจับวัตถุ คำนวณระยะทางโดยใช้คลื่น มีลักษณะเป็นกรวยและไม่ใช่เส้นตรง จึงเหมาะสำหรับใช้ตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วย () โมดูลที่นิยมใช้สำหรับการตรวจวัดระยะทาง คือ HC-SR04 Ultrasonic Module แสดงดังรูปที่ 2.13 เป็นโมดูลสำหรับใช้หาระยะห่างของวัตถุกับตัวเซ็นเซอร์ อาศัยการทำงานของคลื่นเสียงที่ความถี่ 40kHz แรงดันที่ใช้ในการทำงาน 5V กระแสไฟฟ้าที่ใช้ 15mA คลื่นความถี่ในการทำงาน 40kHz ระยะสูงสุดที่สามารถวัดได้ 400 เซนติเมตร ระยะต่ำสุดที่สามารถวัดได้ 2 เซนติเมตร และความแม่นยำอยู่ที่ ± 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.13 HC-SR04 Ultrasonic Module

(ที่มา : <https://www.robotkit.com/product/40485-44157/ultrasonic-sensor-module>)

2) การตรวจวัดโดย Infrared เป็นเซนเซอร์ที่สามารถวัดระยะห่างจากวัตถุที่ระยะห่างต่างๆ ขึ้นอยู่กับรุ่นของโมดูล เซนเซอร์วัดแบบ Infrared ทำหน้าที่ส่งแสงอินฟราเรดออกไป และรอรับกลับมาที่ปลายตัวรับสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 2.14 หากได้รับแสงอินฟราเรดกลับมา แสดงว่าคลื่นแสงได้สะท้อนออกจากวัตถุและกลับไปยังเซ็นเซอร์ ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ Infrared distance sensor ยี่ห้อ Sharp รุ่น GP2Y0A21 โดยให้สัญญาณวัดเป็นแบบ Analog และสามารถตรวจวัดระยะห่างระหว่างวัตถุได้ตลอดเวลา โดยมีช่วงการวัดเริ่มตั้งแต่ 10 ถึง 80 cm



รูปที่ 2.14 Sharp GP2Y0A21 Infrared distance sensor

(ที่มา : https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf)

2.9 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การศึกษาและวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของมีความสำคัญเพื่ออธิบายความคุ้มค่าในการลงทุนของเครื่องจักร ถ้าไรที่ได้ในการใช้งานของเครื่องจักร และค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เช่น ค่าใช้จ่ายคงที่ และค่าใช้จ่ายผันแปร (วันชัย วิจิรวนิช และ ช่อม พลอยมีค่า, 2538) ซึ่งจำเป็นต้องศึกษา ค่าใช้จ่ายทั้งในระบบของเครื่องจักรกลเกษตร และศึกษาระยะการคืนทุนของระบบที่ทำการออกแบบ ในการศึกษาข้อมูลต่างๆ ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่สำคัญในการการศึกษาและวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) การคำนวณค่าใช้จ่ายคงที่ ประกอบด้วย

- 1.1) ราคาของเครื่องจักรกลเกษตร (P)
- 1.2) มูลค่าซากของเครื่อง คิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของราคาเครื่องจักร (S)
- 1.3) ค่าเสื่อมราคา (DP) หน่วย บาท/ปี

สามารถหาได้จากสมการ $(P - S) / \text{ระยะเวลาในการใช้เครื่องจักร}$ (2.1)

1.4) ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest on investment)

เมื่อกำหนดอัตราดอกเบี้ยต่อปี (i) เท่ากับ 10% ดังนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการ

ค่าเสียโอกาส (i) $((P + S)/2) \times (10/100)$ หน่วย บาท/ปี (2.2)

2) ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) สามารถอธิบายการคำนวณในส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1) ค่าไฟฟ้า สามารถคำนวณจากขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ทั้งหมด หรืออุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าในเครื่องจักร คิดตามหน่วยกำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อชั่วโมง

2.2) ค่าซ่อมแซมและค่าบำรุงรักษา (Repair and Maintenance)

2.3) ค่าจ้างแรงงานต่อวัน

3) ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (Total cost) สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด} = \text{ค่าใช้จ่ายคงที่} + \text{ค่าใช้จ่ายผันแปร} \quad \text{บาท/ปี} \quad (2.3)$$

2.10 การศึกษาระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องจักร

การศึกษาระยะเวลาในการคืนทุนจำเป็นต้องทราบค่าใช้จ่ายต่างๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายคงที่ ค่าใช้จ่ายผันแปร อีกทั้งจำเป็นต้องทราบผลประโยชน์ หรือกำไรที่รับจากการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งวิธีนี้จะไม่พิจารณาระยะเวลาที่เกิดขึ้นของค่าใช้จ่าย และกำไร อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของเงินเมื่อเทียบกับระยะเวลา (จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์, 2544) ในการศึกษาครั้งนี้ สามารถแบ่งออกไป 2 ส่วน ดังนี้

2.10.1. วิธีการวิเคราะห์ Break-even point (BEP)

เป็นการวิเคราะห์ระดับการลงทุนที่ไม่ก่อให้เกิดการขาดทุน หรือจุดที่ระบุชั่วโมงการทำงานเพื่อให้เกิดกำไรของระบบที่ทำการออกแบบ สามารถหาค่า BEP ของการลงทุนเมื่อทราบค่าใช้จ่ายต่างๆ ดังนี้

1) ค่าใช้จ่ายทั้งหมด ได้แก่ ค่าใช้จ่ายคงที่ และค่าใช้จ่ายผันแปร

2) ผลกำไร เช่น ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น หรือค่าใช้จ่ายที่ประหยัด และอัตราการรับจ้างแรงงานต่อวัน

$$\text{BEP} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายคงที่}}{\text{กำไรสุทธิ} - \text{ค่าใช้จ่ายผันแปร}} \quad \text{วัน/ปี} \quad (2.4)$$

2.10.2 วิธีการวิเคราะห์แบบ Payback period (PEP) คือ การวิเคราะห์เพื่อประเมินระยะเวลาที่ต้องการในการเกิดผลกำไรที่เกิดจากการลงทุน สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{PEP} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการเป็นเจ้าของเครื่อง}}{\text{กำไรสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad \text{วัน} \quad (2.5)$$

$$\text{รายรับทั้งหมด} = \text{ค่าใช้จ่ายคงที่} + \text{ค่าใช้จ่ายผันแปร}$$

$$\text{หรือ} \quad B \text{ (บาท/ชั่วโมง)} \times \text{(ชั่วโมงใช้งาน/ปี)} = FC + VC \quad (2.6)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad X = \frac{FC}{B-VC} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ B คือ รายได้จากการรับจ้าง หน่วย บาท/ชั่วโมง
 x คือ พื้นที่ใช้งานหรือชั่วโมงใช้งานต่อปี

2.11 การออกแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response surface design)

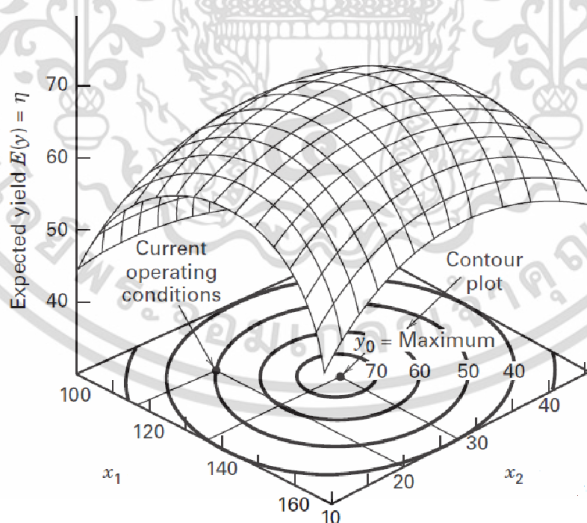
วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology, RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติเพื่อสร้างแบบจำลอง (G. E. and Draper, 2007) และการวิเคราะห์ปัญหาของตัวแปรต่าง ๆ ในรูปแบบ 3 มิติ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย และมีส่วนช่วยในการหาสถานะที่ดีที่สุดสำหรับการทดลอง จากสมการที่ 2.8

$$y = f(x_1 - x_2) + \varepsilon \quad (2.8)$$

เมื่อ x และ ε คือ ค่าความผิดพลาดของผลตอบสนอง y ที่เป็นผลมาจากการทดลอง เมื่อกำหนด $E(y) = f(x_1 - x_2) = \eta$ สามารถเขียนสมการของพื้นผิวได้ดังนี้

$$\eta = f(x_1 + x_2) \quad (2.9)$$

ซึ่ง η จะถูกอธิบายกับระดับของ X_1 และ X_2 เพื่ออธิบายรูปร่างของพื้นผิวตอบสนองรูปแบบ 3 มิติ แสดงดังรูปที่ 2.15 โดยที่ เส้นของการตอบสนองจะถูกวาดในระนาบ X_1 และ X_2 เพื่อแสดงความสูงของพื้นผิวตอบสนองในลักษณะ Contour plot



รูปที่ 2.15 พื้นผิวตอบสนองแบบ 3 มิติ

(Draper and Lin, 1996) ในการพล็อตกราฟพื้นผิวตอบสนองส่วนใหญ่มักจะไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองและตัวแปรอิสระ จึงจำเป็นต้องการหาตัวประมาณที่เหมาะสม เพื่อใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นตัวแทนสำหรับการแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างค่า y และตัวแปรอิสระ อาจเป็นแบบจำลองของผลตอบสนองที่มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของตัวแปรอิสระ โดยที่ฟังก์ชันที่ใช้เป็น “first-order model” ดังสมการต่อไปนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (2.10)$$

หากมีส่วนโค้งเกี่ยวข้องกับในระบบ จำเป็นต้องวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองกำลังสอง หรือ “second-order model” ดังสมการต่อไปนี้

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2.11)$$

การออกแบบพื้นผิวตอบสนอง สามารถแบ่งออกได้ 2 วิธี ดังนี้

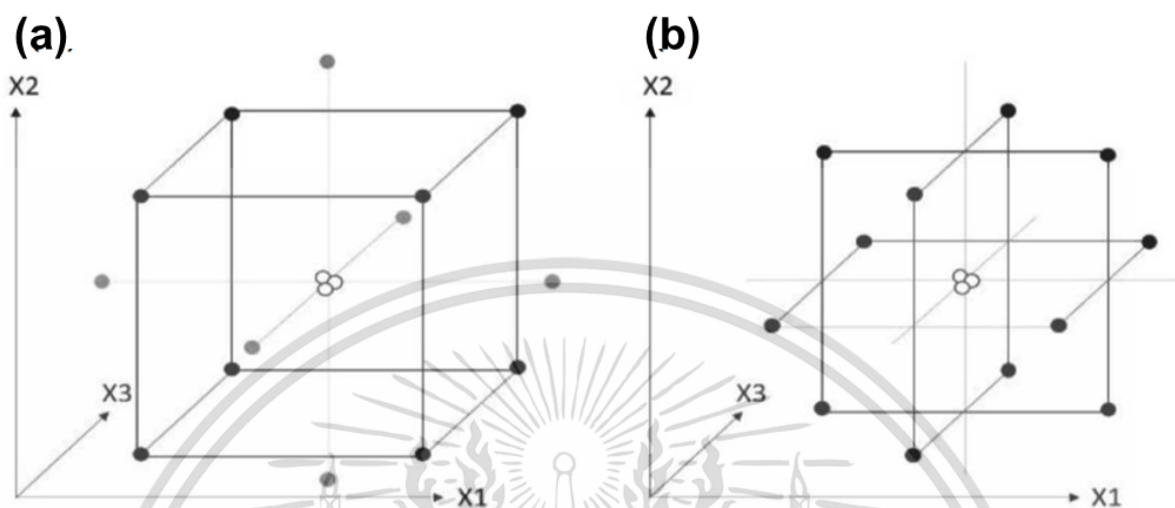
2.11.1 การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central composite design: CCD)

การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design of Experiment: CCD เป็นการออกแบบการทดลองแบบหนึ่ง สำหรับการเลือกการทดลองบางส่วนหรือบางสถานะการทดลองที่จำเป็นจาก Full factorial design เพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอต่อการสร้างแบบจำลองทางสถิติ โดยที่ model ยังคงมีทั้ง Main effect, Interaction และ Quadratic terms โดยใช้ทรัพยากรไม่มากเกินไป และนำสถานะที่เหมาะสมมาอธิบายผลที่ได้จากการทดลอง การทดลองแบบ CCD เหมาะสำหรับการศึกษาปัจจัยเชิงปริมาณ (Quantitative factors) การทดลองแบบ CCD สามารถแยกการทดลองออกเป็นส่วนตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 (a)

2.11.2 การออกแบบ Box-Behnken designs (BBD)

การออกแบบ Box-Behnken designs (BBD) เป็นการออกแบบการทดลองแบบหนึ่ง สำหรับการเลือกการทดลองบางส่วนหรือบางสถานะการทดลองที่จำเป็นจาก Full factorial design เช่นเดียวกับการออกแบบ CCD การทดลองแบบ BBD เหมาะสำหรับการทดลองที่ 3 ปัจจัย โดยกำหนดระดับของปัจจัยที่ 3 ระดับ นอกจากนี้การออกแบบประเภทนี้ยังสามารถในการหมุนของบ็อกซ์ จากการออกแบบเป็นรูปทรงกลมที่ทุกจุดของระดับปัจจัยนำเข้ามาวางอยู่บนรูปทรงกลม และไม่ได้รวมเอาจุดใด ๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละปัจจัยเอาไว้ ดังรูปที่ 2.16 (b)

ข้อดีของการออกแบบการทดลอง BBD คือ มีระดับของปัจจัยน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการทดลองแบบ CCD ใช้ระดับของปัจจัยนำเข้าถึง 5 ระดับ แต่ BBD ใช้ระดับปัจจัยแค่ 3 ระดับ



รูปที่ 2.16 รูปแบบทางเลขาคณิตสำหรับการออกแบบ (a) การออกแบบส่วนประสมกลาง (CCD), (b) การออกแบบ Box-Behnken

2.12 ชนิดของอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2547)

2.12.1 อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุปริมาณมวล

ชนิดของอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุปริมาณมวลสามารถจำแนกได้ตามคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ขนาด ลักษณะการไหลของวัสดุ เป็นต้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท โดยแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุ ได้แก่

1) การขนถ่ายวัสดุปริมาณมวลโดยมีการเคลื่อนที่แบบตัดตอนเป็นส่วน ๆ

ในการพิจารณาในการเลือกอุปกรณ์ขนถ่ายสิ่งที่สำคัญ คือ ความจุของภาชนะเพื่อการขนถ่ายโดยปริมาณและน้ำหนัก โดยที่จำเป็นต้องครอบคลุมเงื่อนไขต่าง ๆ ของวัสดุ ได้แก่ อุณหภูมิ ความสามารถในการขัดสี และความสามารถในการกัดกร่อน (Corrosiveness) และในการเทวัสดุ (Damping) ควรคำนึงถึงมุมเอียง (Angle of declination) ของผิวเท อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุปริมาณมวลชนิดนี้สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน เช่น รถเข็น จนถึงบรรทุกขนาดต่างๆ รวมถึงรถพ่วง ลักษณะการขนถ่ายในแนวตั้ง ได้แก่ เครน ปั่นจั่น และเครื่องยกกระดาน เป็นต้น

2) การขนถ่ายวัสดุปริมาณมวลโดยมีการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง

การขนถ่ายวัสดุรูปแบบนี้ควรคำนึงถึงสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของวัสดุขนถ่าย สภาพพื้นที่ และสิ่งแวดล้อมในการทำงาน กระบวนการผลิตต่าง ๆ เช่น การทำแห้ง การทำความสะอาดวัสดุ การให้ความเย็น การตัดแยก เป็นต้น ลักษณะการขนถ่ายมีรูปแบบทั้ง แนวราบ แนวตั้ง แนวเอียง หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเส้นโค้ง ขึ้นอยู่กับกับออกแบบกระบวนการผลิต สิ่งสำคัญที่สุดในการขนถ่ายวัสดุ คือ ควรพิจารณา ลักษณะการลำเลียงที่เหมาะสมแก่วัสดุ ให้มีสภาพสมบูรณ์มากที่สุด

2.12.2 ราง

ราง (Chutes) เป็นอุปกรณ์ขนถ่ายที่ประหยัดที่สุดในการลำเลียงวัสดุจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำในระยะสั้น ๆ โดยอาศัยน้ำหนักของวัสดุเองในการเคลื่อนที่

2.12.3 สายพานลำเลียง

สายพานลำเลียง (Continuous belt conveyors) แบ่งออกเป็น

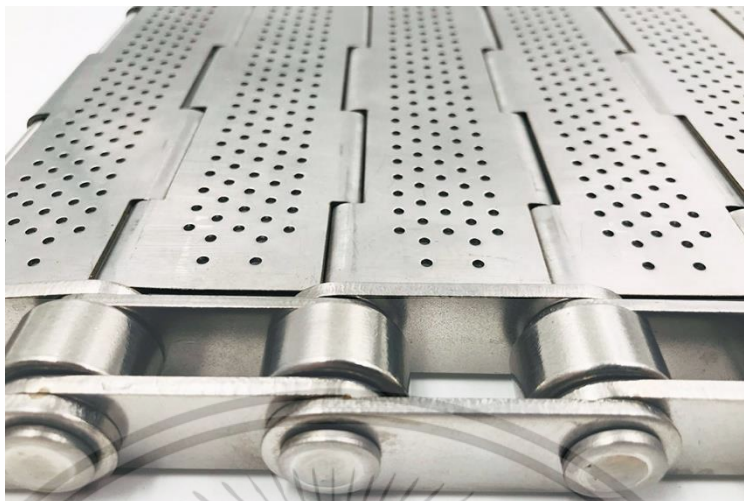
1) สายพานแกนผ้าอาบยางและสายพานพิเศษ (Fabric rubber-conveyors and special belts) เหมาะกับวัสดุที่มีความแข็ง หรือมีความร้อนสูง สายพานอาจเคลื่อนที่ไปโดยอิสระหรือเคลื่อนที่บนลูกกลิ้ง ส่วนมากวัสดุจะถูกป้อนทางด้านบน และความเร็วของวัสดุควรเท่ากับความเร็วของสายพาน ควรรักษาความสะอาดของสายพานสม่ำเสมอ เพื่อไม่ให้วัสดุตกค้างบนสายพาน

2) สายพานลำเลียงแบบปิด (Close or zipper belt) มีลักษณะเป็นหลอดปิดด้วยซิป สายพานทั้งหมดเคลื่อนที่ไปตามลูกกลิ้งที่รองรับอยู่ และมีอุปกรณ์สำหรับใช้ในการเปิดปิดส่วนปลายเพื่อป้อน และปล่อยวัสดุ แสดงในรูปที่ 2.17 ข้อดีของสายพานแบบปิด คือ สามารถป้องกันสิ่งแปลกปลอมเข้ามาผสมในวัสดุขนถ่าย หรือป้องกันการติดเชื้อโรคระหว่างการขนถ่าย



รูปที่ 2.17 สายพานลำเลียงแบบปิด (Close or zipper belt) (ปานมนัส, 2537)

3) สายพานลำเลียงแบบแผ่นบานพับ (Hinged plate conveyor) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดข้อต่อบานพับอยู่ด้านล่าง โดยที่จะถูกขับเคลื่อนโดยใช้ล้อเฟือง และมีผิวสายพานด้านบนเรียบ และอีกชนิด คือ ข้อต่อบานพับอยู่ด้านบน ซึ่งจะมีก้านรับน้ำหนักพื้นสายพาน และยังทำหน้าที่เป็นสลักสำหรับยึดข้อโซ่ มักใช้ในการขนถ่ายระยะสั้น ๆ และวัสดุที่มีขนาดเล็ก ๆ ที่มีอุณหภูมิสูง เช่น ผลไม้เล็ก ๆ ชิ้นส่วนของสัตว์ปีก เนื้อ ปลา เป็นต้น



รูปที่ 2.18 ลักษณะของสายพานลำเลียงแบบแผ่นบานพับ (Hinged plate conveyor)

(ที่มา : <https://www.meshconveyorbelts.com/product/perforated-metal-conveyor-belt/>)

4) สายพานลำเลียงแผ่นประสาน (Inter-locking steel plates) เป็นสายพานที่มีความแข็งแรงที่สุดเมื่อเทียบกับสายพานลำเลียงชนิดอื่นๆ ช่วยให้วัสดุในการขนถ่ายไม่ตกหล่นในระหว่างลำเลียง

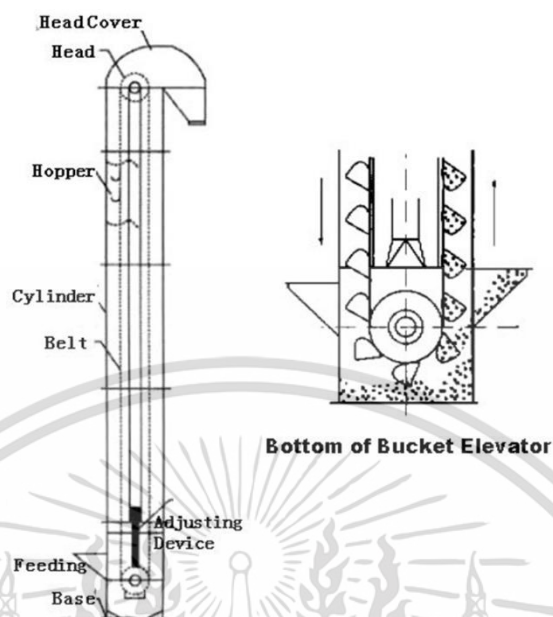
5) สายพานลำเลียงแบบถาด (Pan conveyors) ประกอบด้วยถาดมีลักษณะเรียงตัวกันและเกี่ยวต่อกันโดยใช้ข้อต่อบานพับ เหมาะแก่การขนถ่ายที่มีมุมเอียง โดยที่สามารถทำมุมเอียงได้ถึง 70 องศา หากใช้วัสดุป้องกันการตกหล่นของวัสดุขนถ่ายสามารถใช้งานได้ถึง 90 องศา

2.12.4 กะพ้อลำเลียง

กะพ้อลำเลียง (Bucket conveyers and elevators) สามารถแบ่งออกเป็น

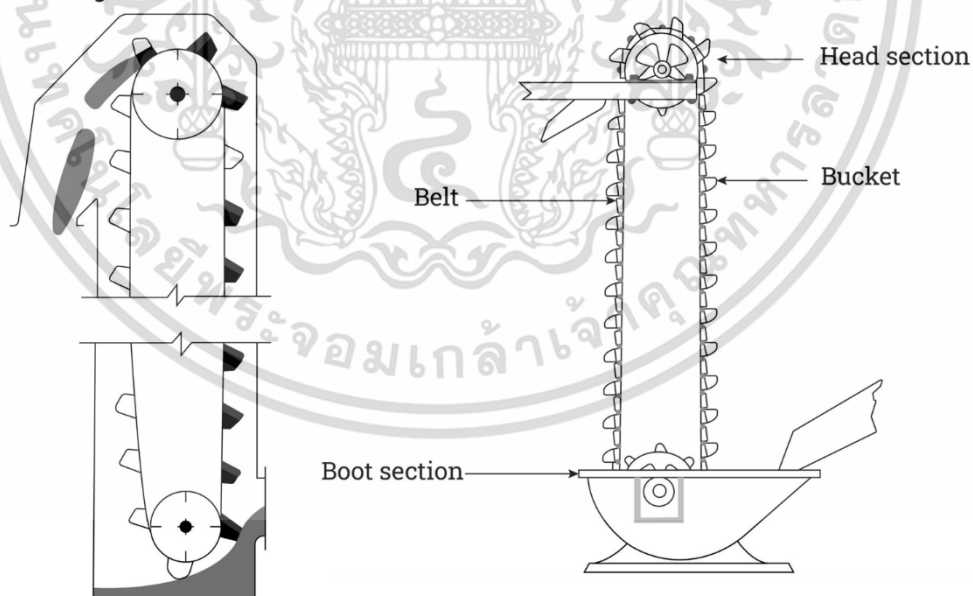
1) กระพ้อแบบรูปตัว V และแบบหมุน (V bucket and V-pivoted bucket conveyor elevator) โดยมีหน้าที่หลัก ๆ 2 อย่าง ได้แก่ เพื่อลำเลียงวัสดุในแนวตั้งขึ้นมา และทำการป้อนในลักษณะแนวราบ และปล่อยวัสดุบริเวณก้นกะพ้อเพื่อส่งไปยังอุปกรณ์ลำเลียงอื่นๆ แสดงดังรูปที่ 2.19 ส่วนแบบหมุนจะทำการขนวัสดุขึ้นในแนวตั้งจนกระทั่งถึงส่วนบนในลักษณะแนวราบ โดยที่กะพ้อจะพลิก และปล่อยวัสดุบริเวณที่ต้องการ

2) วัสดุกะพ้อแบบแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal elevator) ใช้สำหรับการลำเลียง และปล่อยวัสดุโดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลาง โดยมีส่วนประกอบ และลักษณะการทำงานแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.19 ลักษณะการทำงานของกะพ้อแบบ V bucket and V-pivoted bucket conveyer elevator
(ที่มา : <https://www.dahanmachine.com/news-center/Use-And-Characteristics-of-Chain-Bucket-Elevator.html>)

Centrifugal Bucket Elevator



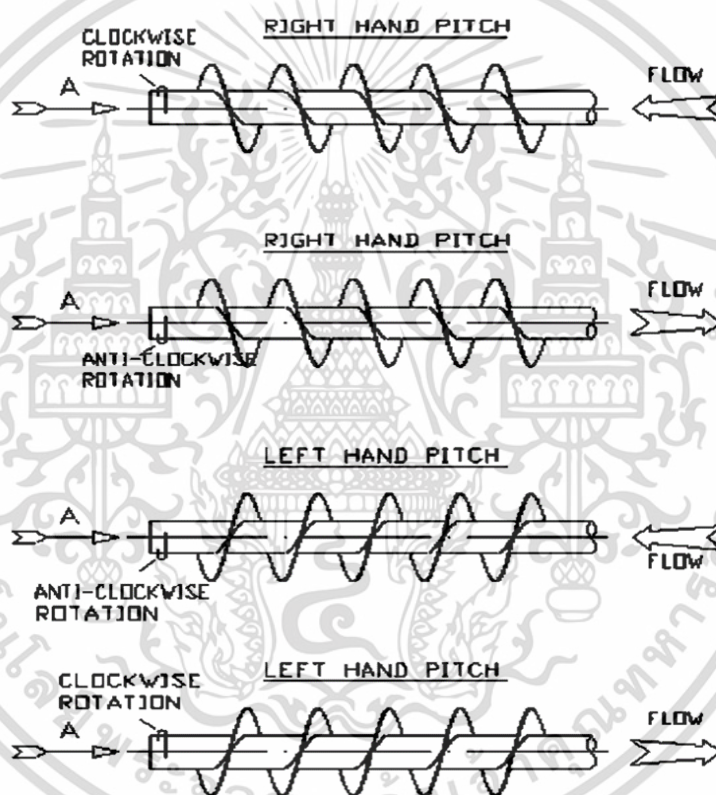
รูปที่ 2.20 ลักษณะการทำงานของกะพ้อแบบ Centrifugal elevator

(ที่มา : <https://www.iqsdirectory.com/articles/bucket-elevators-and-conveyors.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.5 เกลียวลำเลียง

เกลียวลำเลียง (Spiral or screw conveyors and elevator) มีลักษณะการขนถ่ายที่หลากหลาย ส่งผลทำให้สามารถขนถ่ายวัสดุได้หลายชนิด ได้แก่ Helicoid spiral มีลักษณะเป็นเกลียวแยกส่วนแต่ละส่วนเชื่อมกันด้วยหมุดย้ำ และทำการติดตั้งบนเพลลา หรือท่อ เช่น เกลียวแบบแผ่นริ้ว (Ribbon spiral) ใช้ในการขนถ่ายวัสดุที่มีความหนืดเหนียว เกลียวแบบตัด (Cut flight) ทำให้เกิดกระบวนการผสมขึ้นภายในเกลียวลำเลียง เกลียวววนแผ่น (Paddle spiral) ช่วยในการผสมกวนวัสดุขณะลำเลียง และสามารถปรับระยะพิชของแผ่นได้ตามต้องการขึ้นอยู่กับวัสดุ เกลียวเรียว (Tapered spiral) สามารถขนถ่ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อนร่วนออกจากถังบรรจุ



รูปที่ 2.21 ลักษณะเกลียวลำเลียงรูปแบบต่าง ๆ (ปานมนัส, 2537)

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.13.1 เครื่องหั่นมันเส้น (วิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง)

ได้พัฒนาเครื่องหั่นมันเส้นสำหรับเกษตรกรโคนม เนื่องจากในการนำมันสำปะหลังสำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ จำเป็นต้องใช้มันสำปะหลังลักษณะเส้น ในการทดสอบเครื่อง ผู้จัดทำได้กำหนดตัวแปรหลัก 2 ตัวแปร ได้แก่ 1) ความเร็วรอบเพลลาขับใบมีด 3 ระดับ คือ 40, 50 และ 60 rpm 2) ขนาดหัวมันสำปะหลัง 3 ระดับ คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 4 6 และ 8 cm จากผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า มีความสามารถในการหั่นชิ้นมันเส้น $1,457.4 \text{ kg hr}^{-1}$ มีประสิทธิภาพการหั่นชิ้นมันที่ 85.6 % และในการหั่นมันสำปะหลังเส้นเต็ม และชิ้นแตกหักที่ 85.2 และ 11.2 % ตามลำดับ



รูปที่ 2.22 เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบเส้น

2.13.2 การออกแบบและพัฒนาใบมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า (ธนพล ศิริแพทย์ และคณะ)

ทำการออกแบบและพัฒนาใบมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องหั่นมันสำปะหลังสำหรับเกษตรกรที่มีพัฒนาขึ้นมา มีความสามารถในการหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าได้ 852 kg hr^{-1} และในการหั่นมันชิ้น ความสามารถในการหั่นชิ้นมันสมบูรณ์เท่ากับ 33.01 % โดยใช้ใบมีด Steel และใบมีด Stainless ที่องศาคมมีด เท่ากับ 30 องศา เนื่องจากค่าแรงตัดเฉือนของใบมีดที่มุม 30 องศา จะเกิดแรงตัดเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานตัดจำเพาะน้อยกว่าใบมีดที่ทำมุมอื่น และใช้จำนวนรอบการตัดเฉือนเป็นหนึ่งรอบต่อสองครั้ง ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

2.13.3 การออกแบบและพัฒนาชุดกดและชุดมิดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า (ไชยวัฒน์ มณีอินทร์ และคณะ)

ทำการออกแบบและพัฒนาชุดกด และชุดมิดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบเต๋า โดยมีหลักการทำงานของเครื่องแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การใส่หัวมันเข้าไปยังชุดหั่นมัน มีลักษณะเป็นแผ่นหนาขนาด 2.54 cm หลังจากนั้น มันจะถูกปัดเข้าไปยังชุดกด และชุดมิดหั่นย่อยมันสำปะหลังแบบเต๋า มีลักษณะเป็นช่องสี่เหลี่ยมขนาด 2.54 cm² ทั้งหมด 64 ช่อง เพื่อให้มันสำปะหลังที่ถูกชุดกด มีลักษณะเป็นลูกเต๋ารูปร่างขนาด 2.54 cm³ ในการทดลอง ผู้วิจัยเลือกใช้มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 และมันสำปะหลังพันธุ์ห่านาที จากผลการทดลองพบว่า กำลังผลิตของเครื่องเท่ากับ 532.8 kg hr⁻¹ ประสิทธิภาพของการเป็นเต๋าสสมบูรณ์ เต๋าสไม่สมบูรณ์ และเศษมันสำปะหลัง เท่ากับ 33.1, 54.7 และ 4.2 % ตามลำดับ โดยใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 2.252 ± 0.28 min สำหรับมันสำปะหลังน้ำหนัก 20 kg

2.13.4 การสร้างและออกแบบชุดใบมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า (รัชพล อรรถประวิทย์ และคณะ)

ทำการสร้างและออกแบบชุดใบมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบเต๋า ในการออกแบบชุดใบมีด มีลักษณะในการหั่นตามแนวนอน ซึ่งใบมีดที่ใช้ตัดแปลงมาจากใบเลื่อยตัดไม้ มีการวางใบมีดในลักษณะวางสลับเป็นฟันปลา โดยมีใบมีดทั้งหมด 15 ใบ ในการทดลอง มันสำปะหลังจะถูกใช้สำหรับการทดลองครั้งละ 10 กิโลกรัมทดลองทั้งหมด 5 ชั่วโมง โดยที่เพลาชับชุดใบมีด มีความเร็วรอบที่แตกต่างกัน 5 ความเร็วรอบ คือ 429 (15Hz), 572 (20Hz), 715 (25Hz), 858 (30Hz) และ 1001 (35Hz) rpm จาก

การทดลองพบว่า ความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการหั่นมันสำปะหลังเท่ากับ 715 rpm มีความสามารถในการหั่นมันสำปะหลังดีที่สุด ซึ่งมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 939.7 kg hr⁻¹ และประสิทธิภาพในการหั่นมันสำปะหลังที่สมบูรณ์, มันสำปะหลังที่เป็นแผ่นไม่สมบูรณ์และเศษมันสำปะหลัง เท่ากับ 78.9, 12.6, และ 8.5 % ตามลำดับ

2.13.5 การออกแบบและสร้างเครื่องตัดหัวมันสำปะหลังออกจากเหง้า (สุกัญญา ทองโยธี, 2561)

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลัง และการตัดของเกษตรกร เพื่อนำมาออกแบบและสร้างเครื่องตัดหัวมันสำปะหลังออกจากเหง้า และทดสอบและประเมินผลเครื่องตัดหัวมันสำปะหลังออกจากเหง้า วิธีในการดำเนินงานได้มีการวางแผนและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาลักษณะทางกายภาพมันสำปะหลัง ขนาดลำต้น ขนาดเหง้ามันสำปะหลังและขนาดความโค้งงอของลำต้น ศึกษาวิธีการตัดหัวมันสำปะหลังออกจากเหง้าของเกษตรกร และออกแบบเครื่องตัดหัวมันสำปะหลังออกจากเหง้า ประกอบด้วยโครงสร้างของเครื่อง ชุดกระบอกใบมีด ชุดลูกกลิ้งและชุดสปริง ผลการทดสอบและประเมินผลเครื่องตัดหัวมันสำปะหลังออกจากเหง้าใช้เครื่องแก๊สโซลีน ขนาดกำลัง 5.5 hp เป็นเครื่องต้นกำลัง ความเร็วรอบของใบมีดทรงกระบอกที่เหมาะสม 800 rpm พบว่ามีความสามารถในการทำงาน 849 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพในการตัดหัวมันสำปะหลังออกจากเหง้า 88 % และการสูญเสีย 12 %

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และพัฒนาระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า สามารถแบ่งขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 3 ข้อหลัก ได้แก่ ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนา การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในการวางแผนดำเนินงานสามารถอธิบายการดำเนินงานดังนี้

3.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าดั้งเดิม ได้ทำการพัฒนาขึ้นในปี 2560 โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มีลักษณะรูปร่าง แสดงรูปที่ 3.1

เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า มีหลักการทำงานของเครื่องแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การใส่หัวมันเข้าไปยังชุดหั่นหัวมันสำปะหลัง มีลักษณะเป็นแผ่นหนาขนาด 2.54 cm หลังจากนั้น มันจะถูกปัดเข้าไปยังชุดกด โดยที่ชุดใบมีดทำจากวัสดุ stainless มีลักษณะเป็นช่องสี่เหลี่ยมขนาด 2.54 x 2.54 cm ทั้งหมด 64 ช่อง เพื่อให้มันสำปะหลังที่ถูกชุดกด มีลักษณะเป็นลูกเต๋าที่ขนาดเท่าช่องสี่เหลี่ยมที่ทำการออกแบบ ในการทดลองผู้วิจัยเลือกใช้มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 และมันสำปะหลังพันธุ์ห่านาที่ จากการทดลองพบว่า กำลังผลิตของเครื่องเท่ากับ 532.8 kg hr⁻¹ ประสิทธิภาพของการเป็นเต้าสมบูรณ์ เต้าไม่สมบูรณ์ และเศษมันสำปะหลัง เท่ากับ 33.1 %, 54.7 % และ 4.2% ตามลำดับ โดยใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 2.252 ± 0.28 min สำหรับมันสำปะหลังน้ำหนัก 20 kg (ไชยวัฒน์ และคณะ, 2560) จากการศึกษาการทำงานของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า พบว่าข้อบกพร่องของตัวเครื่องที่ควรแก้ไข และพัฒนามีดังนี้

1. ในการป้อนหัวมันสำปะหลัง สามารถทำการป้อนหัวมันสำปะหลังได้ครั้งละหนึ่งหัว
2. ความสามารถในการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากลักษณะการตัดหัวมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

3.2 ศึกษาข้อมูลจำเพาะของมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50

ศึกษาข้อมูลจำเพาะของมันสำปะหลัง โดยวิธีการวัดขนาดของหัวมันสำปะหลังทั้งสามแนวแกน ได้แก่ ความยาว ความกว้าง และความหนา มีรายละเอียดในการศึกษาต่อไปนี้

3.2.1 การศึกษาขนาดของหัวมันสำปะหลัง

หัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 นำมาจากจังหวัดปราจีนบุรี หัวมันสำปะหลังที่นำมาทดลองมีลักษณะดังรูปที่ 3.2 เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังทั้งสอง เมื่อมองจากภายนอกจะเห็นความแตกต่างทางกายภาพได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังมีความแตกต่างในด้านผลผลิต คือ สายพันธุ์ระยอง 9 มีปริมาณผลผลิตต่อไร่ที่น้อยกว่าสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 แต่มีเปอร์เซ็นต์แป้งที่มากกว่า อาจส่งผลทำให้กระบวนการแปรรูปมันสำปะหลังทั้งสองสายพันธุ์มีความแตกต่างกันเมื่อทำการทดสอบกับเครื่องหั่นมันสำปะหลังที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลัง ทำการสุ่มเลือกหัวมันสำปะหลัง 50 หัวของแต่ละสายพันธุ์ โดยการใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ในการวัดขนาดของหัวมันสำปะหลังทั้งสามแนวแกน ได้แก่ ความยาวของหัวมันสำปะหลัง (L) ความกว้างของหัวมันสำปะหลัง (D1) และความหนาของหัวมันสำปะหลัง (D2) จากนั้นนำค่าที่ได้จากการบันทึกผล นำมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) เมื่อทราบลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังแต่ละสายพันธุ์ นำพารามิเตอร์ต่างๆ มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่ออธิบายความแตกต่างของหัวมันสำปะหลังแต่ละสายพันธุ์โดยวิธีการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ย (t-test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 หัวมันสำปะหลัง (ก) พันธุ์ระยะของ 9 (ข) เกษตรศาสตร์ 50

3.3 การออกแบบและพัฒนาระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

จากการศึกษาเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าดั้งเดิมในข้อ 3.1 เพื่อพิจารณาในการออกแบบ และพัฒนาระบบแปรรูปของเครื่องหั่นมันสำปะหลังเพื่อตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ จึงได้มีการนำเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่นมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ และพัฒนาเครื่องหั่นมันสำปะหลังต้นแบบให้สอดคล้องต่อความต้องการในภาคอุตสาหกรรม ดังนั้น ปัจจัยสำคัญของระบบหั่นมันสำปะหลังลูกเต๋าแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า และสายพานลำเลียงที่ใช้ในระบบ สามารถอธิบายขั้นตอนการออกแบบในส่วนสำคัญต่าง ๆ ดังนี้

3.3.1 การออกแบบ และพัฒนาเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น

จากข้อ 3.1 เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าดั้งเดิม ความสามารถในการผลิตไม่เพียงพอต่อภาคอุตสาหกรรม ผู้วิจัยจึงนำเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น (อิซพล และคณะ, 2562) มาประยุกต์ใช้ และปรับปรุงแก้ไขในส่วนชุดตัดหัวมันสำปะหลังของเครื่องหั่นมันสำปะหลังลูกเต๋า เพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิตของกระบวนการแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า โดยเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่นมีลักษณะรูปร่าง แสดงรูปที่ 3.3 จากการศึกษาค้นคว้าและการปรับปรุงแก้ไข ข้อบกพร่องของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น มีการปรับปรุง และพัฒนาดังต่อไปนี้

1) ชุดใบมีดสำหรับการหั่นมันสำปะหลัง

จากการศึกษา พบว่าชนิดของใบตัดที่ใช้สำหรับการตัดหัวมันสำปะหลัง เป็นใบมีดวงเดือน ชนิดคาบิต ขนาด 10 inch 30 ฟัน แสดงดังรูป 3.4 (ก) เมื่อทำการตัดหัวมันสำปะหลังเมื่อส่วนปลายของใบมีดกระทบกับพื้นผิวมันสำปะหลัง ส่งผลทำให้ส่วนที่โดนใบมีดก่อนของแผ่นมันสำปะหลังที่ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัดบริเวณขอบรอบนอกเกิดการฉีก หรือแตกออก จึงทำการเปลี่ยนมาใช้ใบมีดวงเดือนชนิดฟันแหลม ขนาด 10 นิ้ว 30 ฟัน จำนวน 15 ใบ แสดงดังรูปที่ 3.4 (ข) ซึ่งเป็นใบมีดที่เหมาะสมสำหรับการตัดไม้เนื้ออ่อน ส่งผลทำให้มันสำปะหลังที่ถูกลูกมีพื้นผิวที่เรียบมากยิ่งขึ้น ลดโอกาสการแตกหัก การฉีกขาดของหัวมันสำปะหลัง และลดเศษของมันสำปะหลังที่ผ่านการหั่นโดยเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น เพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นมากที่สุด เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ยังส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต้าสมบูรณ์ที่ได้จากระบวนการหั่นทั้งระบบ โดยที่ชุดใบมีดมีลักษณะการจัดวางแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ลักษณะใบมีดวงเดือน (ก) ชนิดคาไบต์ (ข) ชนิดฟันแหลม

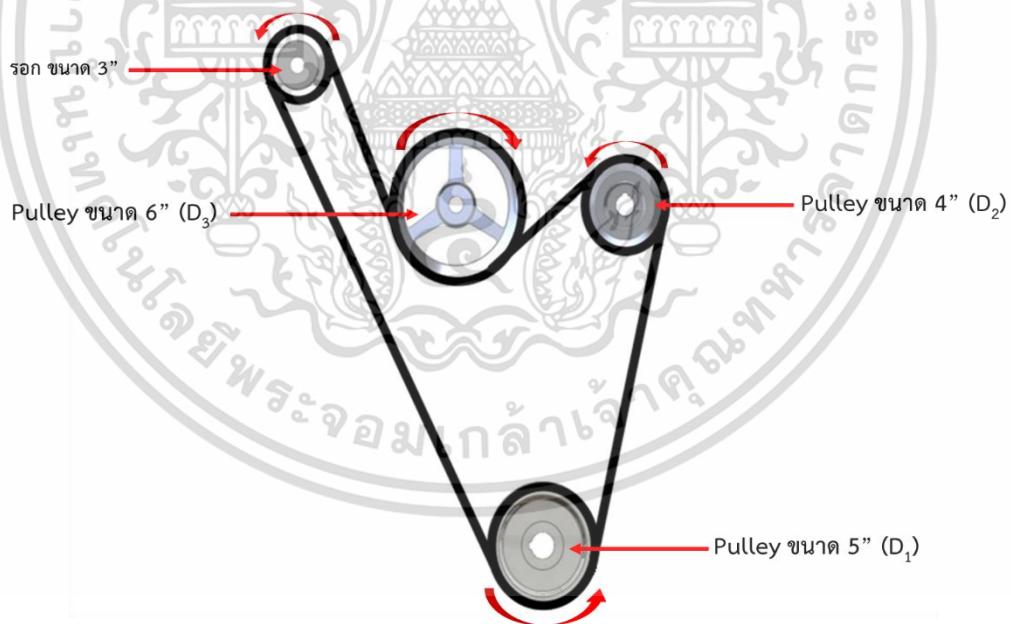
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ลักษณะการจัดวางใบมีดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น

2) การออกแบบชุดส่งกำลัง

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องต้นกำลังเป็นมอเตอร์ 3 เฟส ที่ความถี่ 50 Hz โดยมีความเร็วรอบเท่ากับ 1430 rpm ซึ่งใช้สำหรับขับมูเลย์ตัวขับ (D_1) ที่มีขนาด 5 inch โดยมีมูเลย์ตัวตาม (D_2) ขนาด 4 inch และมูเลย์ตัวตาม (D_3) ขนาด 6 inch จากรูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการติดตั้ง และทิศทางการหมุนของมูเลย์แต่ละตัว ทั้งนี้ สามารถคำนวณเพื่อหาความเร็วรอบของมูเลย์ ณ จุดต่าง ๆ ได้ ดังนี้



รูปที่ 3.6 การติดตั้งชุดส่งกำลัง

การคำนวณหาความเร็วรอบของมอเตอร์ 3 เฟส ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ (Hz)

$$\text{จาก} \quad i = \frac{n_1}{n_2} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i = \frac{d_1}{d_2} \quad (3.2)$$

$$d_1 n_1 = d_2 n_2 \quad (3.3)$$

การคำนวณหาความเร็วรอบของมูเล่ย์ d_2

กำหนดให้	ความเร็วรอบมูเล่ย์ตัวขับ (n_1)	=	1430	rpm
	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมูเล่ย์ d_1	=	5	inch
	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมูเล่ย์ d_2	=	4	inch

แทนค่าในสมการ (3.3) $n_2 = \frac{d_1 n_1}{d_2}$
 ดังนั้น ความเร็วรอบที่ $n_2 = 1,787.50$ rpm

การคำนวณหาความเร็วรอบของมูเล่ย์ d_3

กำหนดให้	ความเร็วรอบมูเล่ย์ตัวขับ (n_1)	=	1430	rpm
	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมูเล่ย์ d_1	=	5	inch
	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมูเล่ย์ d_3	=	6	inch

แทนค่าในสมการ (3.3) $n_3 = \frac{d_1 n_1}{d_3}$
 ดังนั้น ความเร็วรอบที่ $n_3 = 1,191.67$ rpm

เมื่อกำหนดให้	i	=	อัตราทด
	d_1	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของมูเล่ย์ตัวขับ
	d_2	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของมูเล่ย์ตัวตามตัวที่ 1
	d_3	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของมูเล่ย์ตัวตามตัวที่ 2
	n_1	=	ความเร็วรอบของมูเล่ย์ตัวขับ
	n_2	=	ความเร็วรอบของมูเล่ย์ตัวตามตัวที่ 1 (d_2)
	n_3	=	ความเร็วรอบของมูเล่ย์ตัวตามตัวที่ 2 (d_3)

ในงานวิจัยนี้ ทำการทดลองความเร็วรอบในการตัดหัวมันสำปะหลังที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน โดยใช้ Inverter ยี่ห้อ Sumitomo รุ่น AF-500 สำหรับควบคุมความถี่ของมอเตอร์ต้นกำลัง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการตัดกับเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นของมันสำปะหลัง จากตารางที่ 3.1 แสดงความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อความถี่ที่มอเตอร์ต้นกำลังได้รับมีค่าแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ความเร็วรอบของมูเลย์แต่ละตัวที่ความถี่ต่าง ๆ

ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบของ Pulley (RPM)		
	ความเร็วรอบตัวขับ	ความเร็วรอบ pulley ตัวตาม	ความเร็วรอบ pulley ตัวตาม
		ขนาด 4 inch	ขนาด 6 inch
25	715.00	893.75	595.84
30	858.00	1072.50	715.00
35	1001.00	1251.25	834.17
40	1144.00	1430.00	953.34
45	1287.00	1608.75	1072.50
50	1430.00	1787.50	1191.67

3.3.2 การพัฒนาเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า จะนำเอาข้อบกพร่องที่พบจากการศึกษามาประกอบการพิจารณาในการออกแบบ โดยมีรายละเอียดในการพัฒนาดังต่อไปนี้

1) ชุดรองรับมันสำปะหลังแผ่น

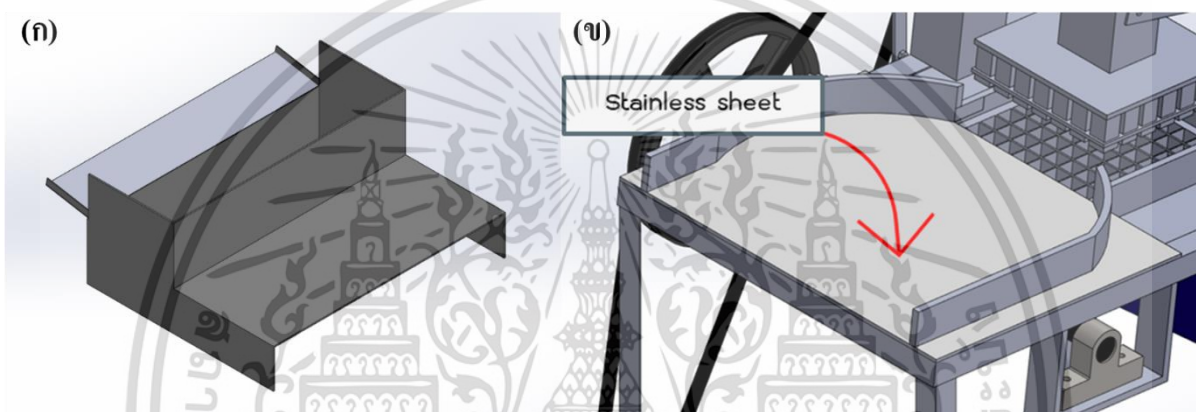
ชุดรองรับมันสำปะหลังแผ่นใช้สำหรับการรองรับแผ่นมันสำปะหลังที่ถูกลำเลียงจากสายพาน เพื่อรองรับแผ่นมันสำปะหลังก่อนไหลเข้าไปยังชุดหันมันสำปะหลังลูกเต๋า อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการตรวจสอบปริมาณมันสำปะหลังที่รอกการหันมันเต๋าในระบบ เพื่อควบคุมการทำงานของสายพานลำเลียงให้มีความสอดคล้องกับปริมาณแผ่นมันสำปะหลังที่รอกการหันในระบบ โดยทำการตัดแปลงจากชุดหันหัวมันสำปะหลังจากเครื่องต้นแบบแสดงในรูปที่ 3.7 เนื่องจากชุดตัดจากเครื่องต้นแบบสามารถตัดมันสำปะหลังและไหลเข้าสู่ชุดคดมันเต๋าได้ที่ละแผ่นเท่านั้น จึงทำการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้แผ่นมันสำปะหลังสามารถเข้าไปยังชุดคดมันเต๋าได้ที่ละหลายแผ่น



รูปที่ 3.7 ชุดหันหัวมันสำปะหลังของเครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดรองรับมันสำปะหลังแผ่นทำจากเหล็กแผ่นหนา 2 mm โดยที่ออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ด้วยโปรแกรม Solid work 2021 สำหรับการนำไป Laser cutting และนำชิ้นส่วนต่างๆ ที่ได้จากการทำ Laser cutting มาทำการประกอบ โดยที่ชุดรองรับมันสำปะหลังมีขนาดความกว้าง 53 cm ความยาว 43 cm และความสูง 26 cm และแผ่นรองรับมันสำปะหลังแผ่นที่ทำการยื่นออกมา มีความกว้าง 15 cm และความยาว 53 cm โดยทำการยึดติดกับชุดรองรับมันสำปะหลังให้สามารถปรับระดับความเหมาะสมตามความลาดเอียงของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าแสดงดังรูปที่ 3.8 (ก) โดยที่พื้นผิวของชุดรองรับมันสำปะหลังแผ่นเลือกใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 2 mm แสดงในรูปที่ 3.8 (ข) จากรูปที่ 3.9 แสดงการติดตั้งชุดรองรับบนเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า



รูปที่ 3.8 (ก) ชุดรองรับมันสำปะหลังแผ่น (ข) พื้นผิวสแตนเลสของชุดรองรับมันสำปะหลังแผ่น

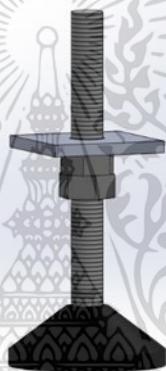


รูปที่ 3.9 การติดตั้งชุดรองรับมันสำปะหลังแผ่น

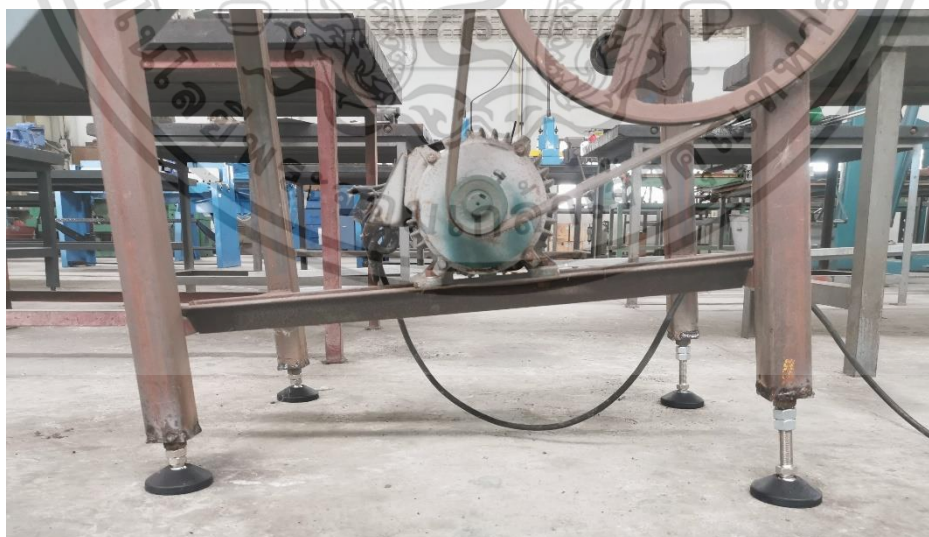
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ชุดปรับระดับความสูงเครื่อง

ชุดปรับระดับความสูงของตัวเครื่อง เลือกใช้ขาตั้งปรับระดับความสูงสำหรับป้องกันการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยมีขนาดฐานกว้าง 80 mm ความสูง 185 mm เสาปรับระดับมีขนาด 16 mm จากนั้นนำน็อตขนาด 16 mm เชื่อมติดกับแผ่นเหล็กความหนา 6 mm ขนาด 6x6 cm โดยที่บริเวณตรงกลางทำการเจาะรูขนาด 18 mm แสดงดังรูปที่ 3.10 มีส่วนช่วยทำให้เสาปรับระดับสามารถปรับความลาดเอียงตามที่ต้องการ ในการปรับระดับความสูงเพื่อให้ตัวเครื่องมีความลาดเอียงมีส่วนช่วยทำให้มันสำปะหลังแผ่นไหลเข้าสู่ชุดกดได้ดียิ่งขึ้น จากการทดสอบมุมไถลของมันสำปะหลังแผ่น พบว่ามุมไถลเท่ากับ 13 องศา เมื่อทดสอบกับพื้นผิวสแตนเลสที่ความหนา 2 mm ดังนั้น ในงานวิจัยนี้กำหนดความลาดเอียงของตัวเครื่องเลือกเท่ากับ 16 องศา เพื่อให้แผ่นมันสำปะหลังแผ่นไหลเข้าสู่ชุดกดมันเต่าได้ดียิ่งขึ้น โดยการติดตั้งชุดปรับระดับความสูงสามารถแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 ชุดปรับระดับความสูงของเครื่อง

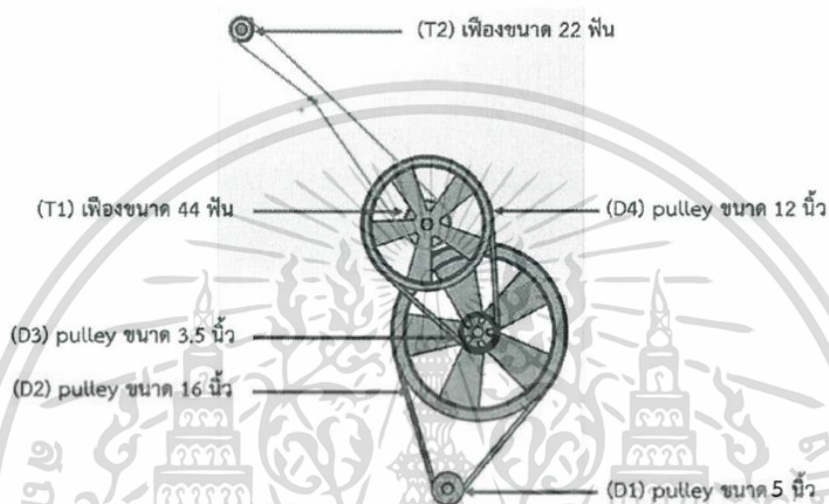


รูปที่ 3.11 การติดตั้งชุดปรับระดับความสูงของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ชุดส่งกำลังของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

จากการคำนวณความเร็วรอบที่จุดต่าง ๆ ของตัวส่งกำลัง แสดงดังรูปที่ 3.12 โดยมีเครื่องต้นกำลังเป็น มอเตอร์ 3 เฟส 1400 rpm ที่ความถี่ 50 Hz โดยใช้ Inverter ยี่ห้อ Sumitomo รุ่น AF-500 สำหรับควบคุมความถี่ของมอเตอร์ต้นกำลัง เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องหันมันสำปะหลัง จะทำการทดสอบที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้น สามารถอธิบายความเร็วรอบต่างๆ เมื่อความถี่ที่มอเตอร์ได้รับในย่านความถี่ต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.12 การติดตั้งชุดส่งกำลังของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า (ไชยวัฒน์ และคณะ, 2560)

ตารางที่ 3.2 ความเร็วรอบของมูเลย์แต่ละตัวที่ความถี่ต่าง ๆ

ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบของ Pulley (RPM)	
	ความเร็วรอบตัวขับ	ความเร็วรอบเฟืองชุดกดมันสำปะหลัง (T ₂)
25	700.00	72.92
30	840.00	87.50
35	980.00	102.09
40	1120.00	116.67
45	1260.00	131.26
50	1400.00	146.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

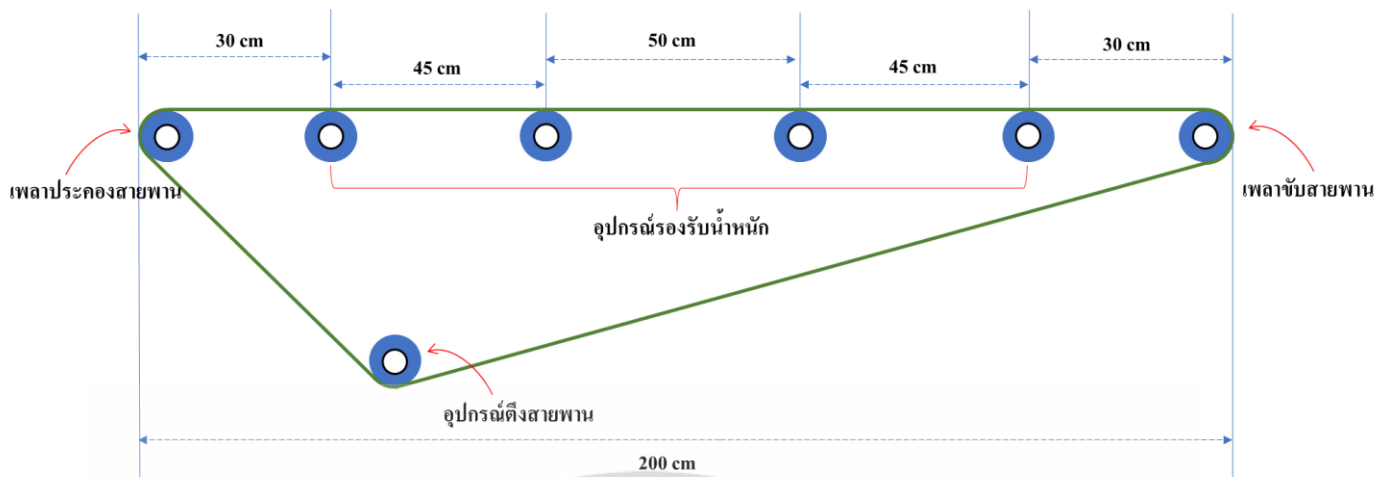
3.3.3 การออกแบบสายพานลำเลียง

1) การออกแบบสายพานลำเลียง

ชุดสายพานลำเลียงมีลักษณะการลำเลียงแบบลาดเอียง (Inclined conveyor belt) เลือกใช้สายพานชนิด PVC หนา 5 mm ขนาด ความกว้างเท่ากับ 30 cm และความยาวรอบวง เท่ากับ 400 cm แสดงในรูปที่ 3.13 และโครงสร้างเป็น Aluminum profile ขนาด 20x20 mm จากการทดสอบหามุมไถลของแผ่นมันสำปะหลังเพื่อกำหนดความลาดเอียงของสายพานลำเลียง เมื่อทดสอบกับพื้นผิวชนิดเดียวกับสายพานที่ใช้ในการออกแบบ โดยทำการทดสอบจำนวน 15 ซ้ำ พบว่าแผ่นมันสำปะหลังมีมุมไถลเฉลี่ยเท่ากับ 21.6 ± 1.05 องศา ในการออกแบบสายพานครั้งนี้จึงกำหนดความลาดเอียงของสายพานเท่ากับ 16 องศา เพื่อป้องกันการลื่นไถลของแผ่นมันสำปะหลังในขณะทำงานของสายพานลำเลียง จากการออกแบบสายพานลำเลียงมีความยาวเท่ากับ 2 m เนื่องจากการขนถ่ายวัสดุ สายพานมีลักษณะการรับน้ำหนักที่สูง หากไม่มีอุปกรณ์รองรับสายพาน อาจส่งผลทำให้สายพานขาด และเกิดปัญหาขณะลำเลียงได้ จึงจำเป็นต้องออกแบบโครงสร้างรองรับสายพาน เพื่อรองรับน้ำหนักที่เกิดขึ้นบนสายพาน และติดตั้งอุปกรณ์ดึงสายพานเพื่อให้สายพานมีความตึง และป้องกันสายพานตกท้องช้าง ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ก่อให้เกิดการลื่น หรือแรงกระแทกบนตัวสายพาน ในงานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบเพื่อป้องกันปัญหาที่อาจส่งผลต่อการลำเลียง อุปกรณ์รองรับ และอุปกรณ์ดึงสายพานทำจากท่อ PVC ขนาด 2 inch ซึ่งสายพานลำเลียงที่ทำการออกแบบมีลักษณะดังรูปที่ 3.14 เมื่อทำการติดตั้งเสร็จมีลักษณะดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.13 สายพานชนิด PVC



รูปที่ 3.14 การออกแบบสายพานลำเลียงเบื้องต้น



รูปที่ 3.15 การติดตั้งสายพานลำเลียง อุปกณ์รอรรับน้ำหนัก และอุปกณ์ตั้งสายพาน

2) การออกแบบชุดขับสายพานลำเลียง

การขับเคลื่อนสายพานลำเลียง เลือกใช้เครื่องต้นกำลังเป็นมอเตอร์ 12VDC ที่ความเร็วรอบ 110 rpm โดยนำไปใช้ในการขับเฟืองสายพานชนิด 5M ที่ขนาด 48 ฟัน และมีเฟืองตามขนาด 12 ฟัน แสดงดังรูปที่ 3.16 ซึ่งความเร็วบนสายพานสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$V = \frac{2\pi r N}{60} \quad (m/s) \quad (3.4)$$

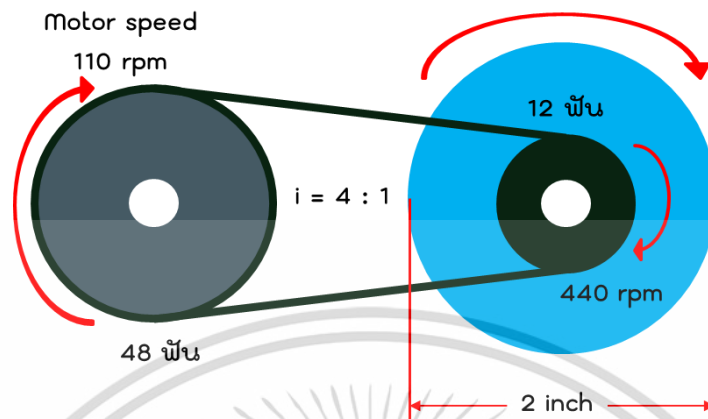
$$= \frac{2\pi(0.0254)(440)}{60}$$

$$V = 1.17 \quad m/s$$

เมื่อกำหนดให้ V = ความเร็วบนสายพานลำเลียง (m/s)

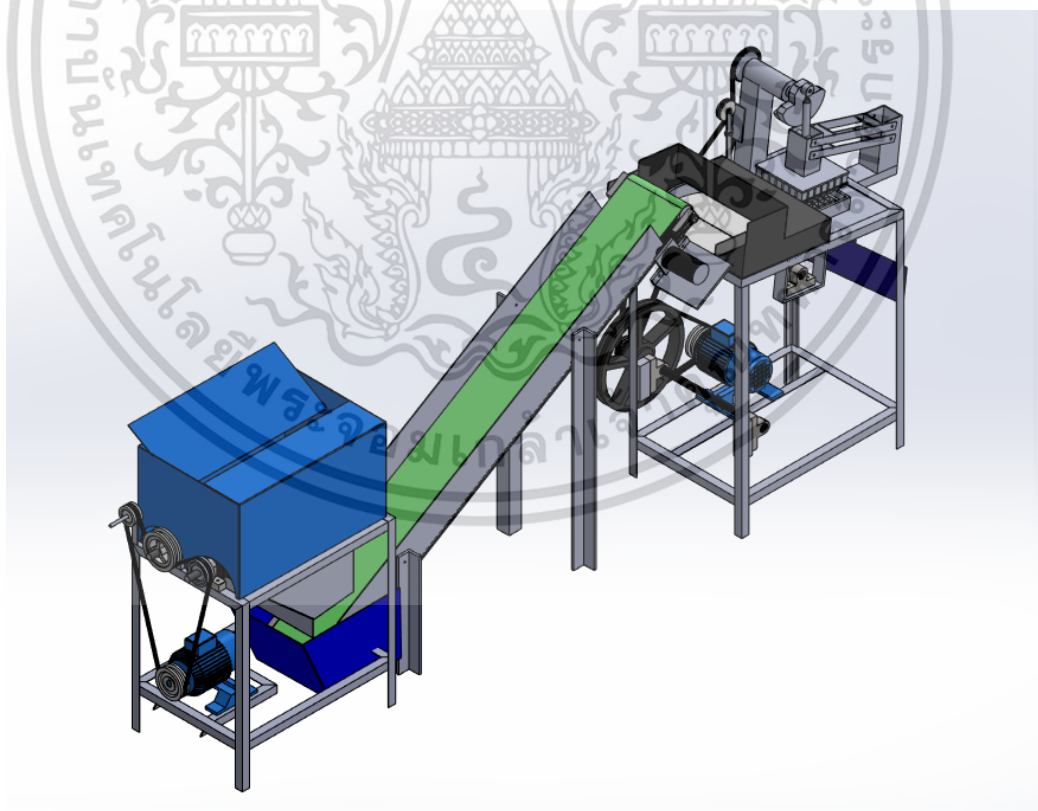
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

r = รัศมีของลูกกลิ้งสายพานลำเลียง (m)
 N = ความเร็วรอบ (rpm)



รูปที่ 3.16 แสดงการส่งกำลังของสายพานลำเลียง

จากการออกแบบและพัฒนาในส่วนต่าง ๆ ที่อธิบายไว้ข้างต้น ในรูปที่ 3.17 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องจักรทั้งสอง โดยมีสายพานลำเลียงเป็นตัวกลางในการขนถ่ายแผ่นมันสำปะหลังจากเครื่องหั่นมันสำปะหลังไปยังเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

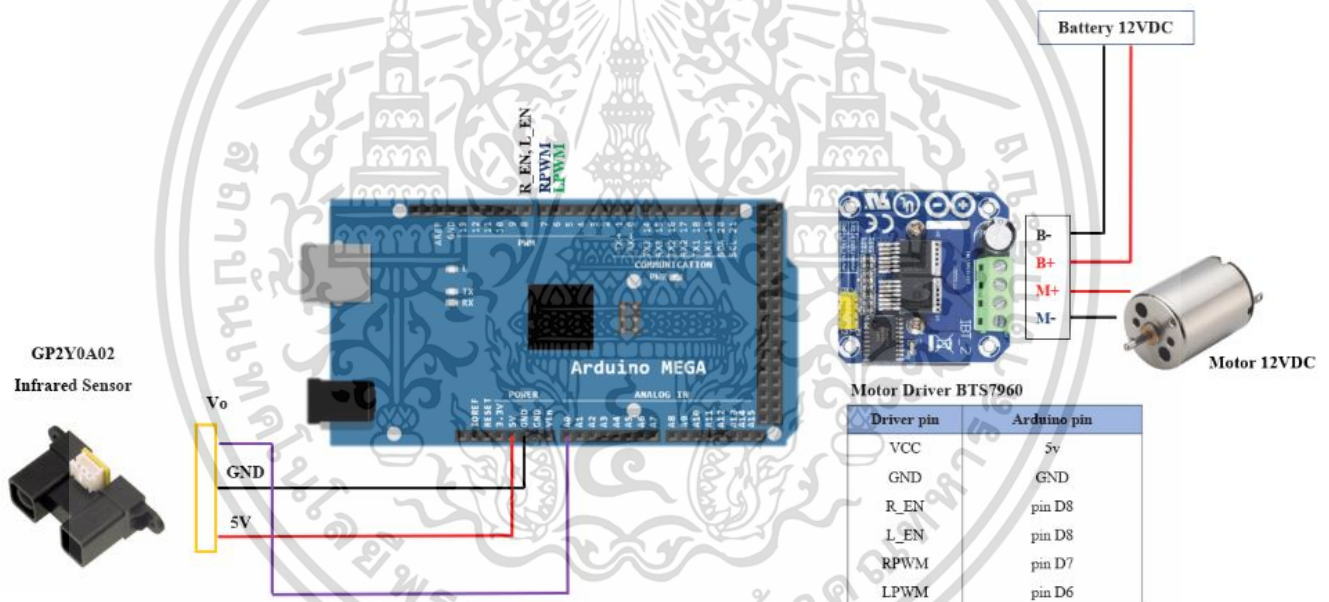


รูปที่ 3.17 ลักษณะการเชื่อมต่อของระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบชุดควบคุมสายพานลำเลียง

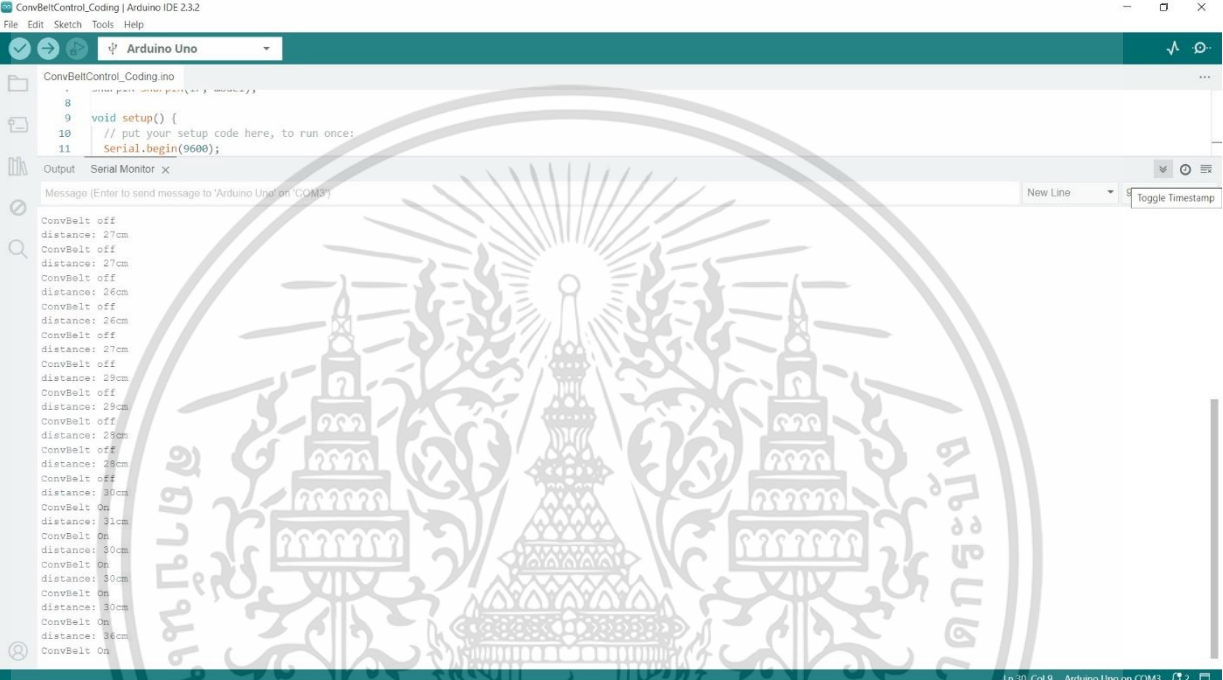
จากการทดสอบการทำงานของระบบเบื้องต้น เมื่อทำการป้อนหัวมันสำปะหลังเข้าเครื่องหันมันสำปะหลังที่อัตราการป้อน 20 kg/min ที่ความเร็วบนสายพานเท่ากับ 1.16 m/s พบว่าแผ่นมันสำปะหลังที่ถูกลำเลียงไปยังเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า บริเวณชุดรองรับแผ่นมันสำปะหลังก่อนเข้ากระบวนการหันเต๋า (รูปที่ 3.8 ก) มีแผ่นมันสำปะหลังกองเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการติดขัดของแผ่นมันสำปะหลัง และแผ่นมันสำปะหลังไม่สามารถไหลเข้าไปยังชุดหันเต๋าได้ ส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียในด้านเวลาในการทำงาน การใช้แรงงานที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากต้องมีคนงานในการดูแลไม่ให้แผ่นมันสำปะหลังเกิดการติดขัด อีกทั้งยังส่งผลต่อกำลังการผลิตของระบบ และมูลค่าของผลผลิตที่สูญเสียไป ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของสายพานลำเลียง ให้มีความสอดคล้องต่อลักษณะการทำงานของระบบตลอดเวลา เพื่อให้การทำงานของระบบลำเลียงแผ่นมันสำปะหลังเป็นไปอย่างราบรื่นตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้



รูปที่ 3.18 วงจรระบบควบคุมการลำเลียง

การทำงานของสายพานลำเลียงถูกควบคุมโดยวงจรควบคุมการทำงานของระบบให้มีความสอดคล้องกับอัตราการป้อนของเครื่องหันมันสำปะหลัง และเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า เพื่อให้ระบบทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยลักษณะการเชื่อมต่อของวงจรควบคุมมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.18 ระบบควบคุมการลำเลียง เลือกใช้บอร์ดคอนโทรลเลอร์ Arduino mega 2560 ซึ่งมีขา analog inputs แต่ละ pins ให้ความละเอียด 10 bits ส่งผลทำให้การส่งสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) ให้ Motor driver ได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น สำหรับระบบควบคุมการลำเลียง เลือกใช้ตัวระยะ Infrared Sensor รุ่น GP2Y0A02 สามารถวัดระยะตั้งแต่ 20 ถึง 150 cm ระยะทางที่ได้จากเซ็นเซอร์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกนำไปใช้สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของชุดสายพานลำเลียง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม Arduino IDE เวอร์ชัน 2.3.2 ในการเขียนโปรแกรมควบคุมของสายพาน ในการทดสอบระบบควบคุม ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.19 ทำการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของสายพาน เมื่อระยะห่างระหว่าง IR sensor กับกองแผ่นมันสำปะหลัง มีระยะห่างน้อยกว่า 30 cm โปรแกรมจะสั่งงานให้ motor driver ส่งค่า PWM ลดลงจนมีค่าเท่ากับ 0 เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับมอเตอร์หากสั่งให้มอเตอร์หยุดการทำงานทันที เนื่องจากบนสายพานลำเลียงยังคงมีแผ่นมันสำปะหลังที่รอการลำเลียงอยู่



```

ConvBeltControl_Coding.ino
8
9 void setup() {
10 // put your setup code here, to run once:
11 Serial.begin(9600);

```

Output Serial Monitor x

Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM3')

```

ConvBelt off
distance: 27cm
ConvBelt off
distance: 27cm
ConvBelt off
distance: 26cm
ConvBelt off
distance: 26cm
ConvBelt off
distance: 27cm
ConvBelt off
distance: 29cm
ConvBelt off
distance: 29cm
ConvBelt off
distance: 28cm
ConvBelt off
distance: 28cm
ConvBelt off
distance: 30cm
ConvBelt on
distance: 31cm
ConvBelt on
distance: 30cm
ConvBelt on
distance: 30cm
ConvBelt on
distance: 36cm
ConvBelt on

```

รูปที่ 3.19 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุมสายพานลำเลียงด้วยโปรแกรม Arduino IDE

จากการทดสอบโปรแกรมตรวจวัดระยะห่าง พบว่า IR sensor ค่าที่วัดได้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่แสดงผลในโปรแกรมไม่ตรงตามระยะห่างที่วัดจากอุปกรณ์มาตรฐาน โดยทำการติดตั้งเซ็นเซอร์ไว้บนแผ่นรองตัด (Cutting Mat) จากนั้นนำวัตถุที่ต้องการตรวจวัดระยะมาทดสอบ โดยการไล่ระดับระยะห่างขึ้นทีละ 1 ช่อง (ขนาดช่อง 1 x 1 cm) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับให้ตรงตามความจริง โดยการนำค่าที่ได้จากโปรแกรม และค่าที่วัดจากแผ่น Cutting Mat มาทำการสอบเทียบ แสดงในรูปที่ 3.20 โดยการสร้างสมการเส้นตรง (Linear regression) ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อให้ค่าที่ได้จาก IR sensor มีค่าตรงกับระยะห่างระหว่างวัตถุตามความเป็นจริง

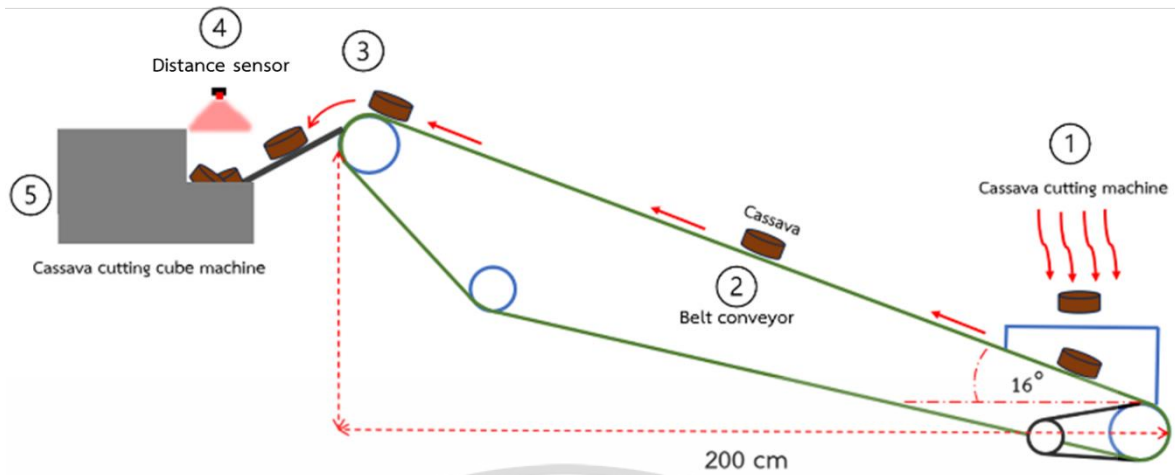
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 การทดสอบความแม่นยำของ IR sensor

จากการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมการทำงานของสายพานลำเลียงสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังทั้งสอง การทำงานของระบบมีลักษณะดังรูปที่ 3.21 โดยที่หัวมันสำปะหลังจะถูกป้อนเข้าที่เครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น (หมายเลข 1) โดยกำหนดความเร็วรอบในการหั่นที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นมันสำปะหลังแผ่นจะถูกลำเลียงไปยังเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าโดยสายพานลำเลียงความลาดเอียง 16 องศา (หมายเลข 2) ที่ความเร็ว 1.16 m/s โดยที่มันสำปะหลังแผ่นจะไหลลงไปยังชุดรองรับมันสำปะหลังแผ่น (หมายเลข 3) ซึ่งเป็นจุดสำหรับการตรวจวัดปริมาณมันสำปะหลังแผ่นที่รอการหั่นในระบบ โดยมีเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณมาณแผ่นมันสำปะหลังที่รอการหั่นในระบบ (หมายเลข 4) เพื่อควบคุมการทำงานของสายพานลำเลียงให้มีความสอดคล้องกับปริมาณมันสำปะหลังแผ่นในระบบ จากนั้นแผ่นมันสำปะหลังจึงไหลเข้าสู่บริเวณชุดกดแผ่นมันสำปะหลัง (หมายเลข 5) เพื่อแปรรูปให้มีลักษณะเป็นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ในงานวิจัยนี้จะทำการประเมินประสิทธิภาพในระบบ และคำนวณความสามารถในการผลิต เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์งานวิจัย

จากรูปที่ 3.23 แสดงปริมาณแผ่นมันสำปะหลังที่อยู่บริเวณชุดรองรับแผ่นมันสำปะหลัง หลังจากการติดตั้งชุดควบคุมการทำงานของสายพานลำเลียง และจากรูปที่ 3.24 และ 3.25 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อและการทำงานของระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่ทำการออกแบบและพัฒนาขึ้น โดยที่การทำงานของเครื่องจักรนั้นจะทำงานในรูปแบบสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดสอบการทำงานของระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า เพื่อประเมินประสิทธิภาพในระบบ สำหรับคำนวณความสามารถในการผลิต เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของระบบที่ทำการพัฒนาโดยเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์งานวิจัย



รูปที่ 3.21 ลักษณะการทำงานของระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า



รูปที่ 3.22 ลักษณะการลำเลียงมันสำปะหลังแผ่นบนสายพานลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 ปริมาณแผ่นมันสำปะหลังที่อยู่บริเวณชุดรองรับแผ่นมันสำปะหลัง



รูปที่ 3.24 ลักษณะเชื่อมต่อของเครื่องจักรที่อยู่ในระบบหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

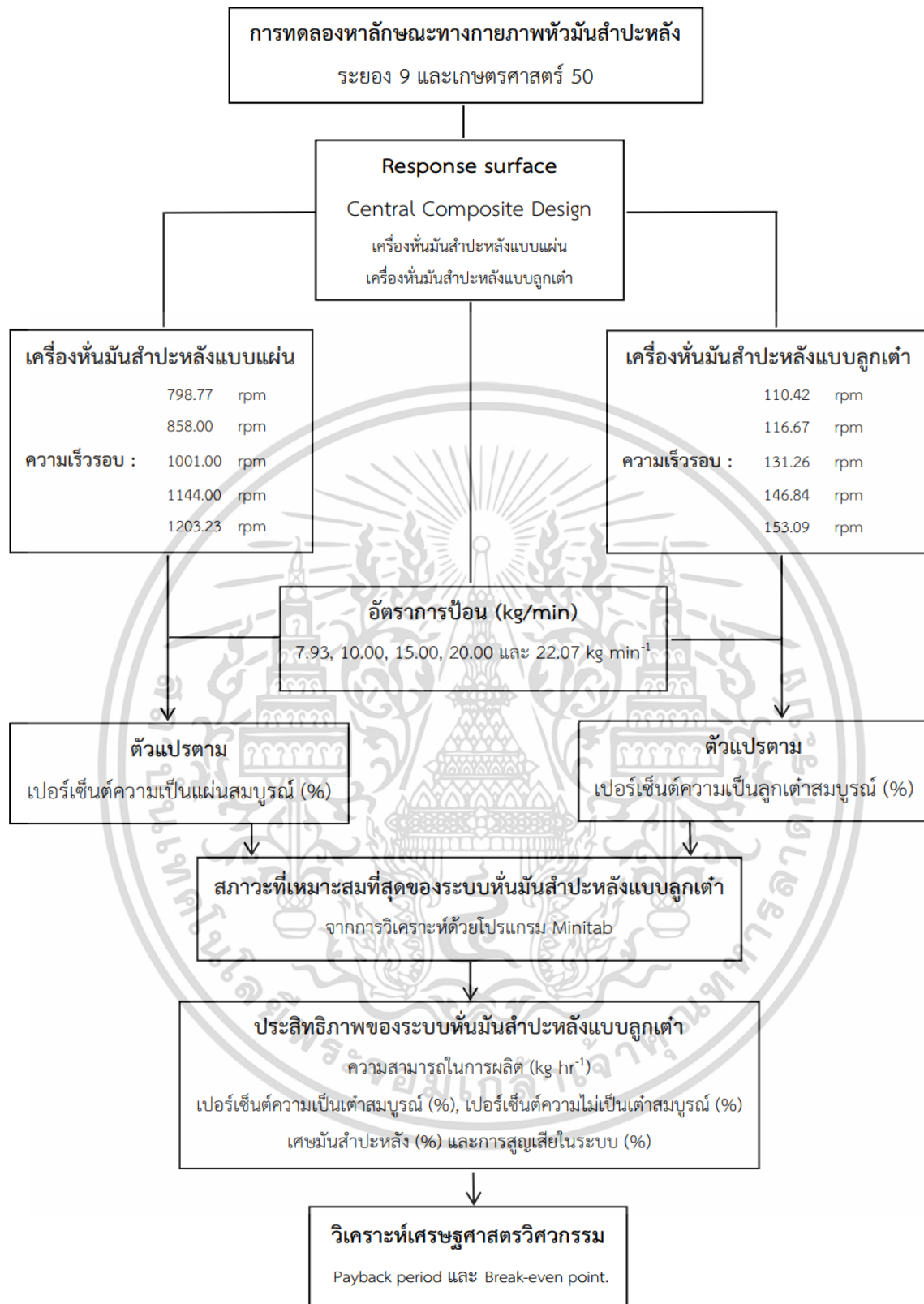


รูปที่ 3.25 ลักษณะลำเลียงมันสำปะหลังของระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่พัฒนา

3.5 การออกแบบแผนการทดลองวิธีพื้นผิวตอบสนอง

จากรูปที่ 3.26 แสดงขั้นตอนการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังทั้งสองของงานวิจัยนี้ โดยสามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น และการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ซึ่งทดสอบโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) โดยการออกแบบการทดลองส่วนประสมกลาง (Central composite design) ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ความเร็วรอบในการตัด และอัตราการป้อน โดยมีตัวแปรตาม คือ เปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่น และความเป็นลูกเต๋าสมบูรณ์ เมื่อทราบสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละเครื่อง จากนั้นทำการทดสอบการทำงานของระบบที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุด เพื่อประเมินประสิทธิภาพ ความสามารถในการผลิตของระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า และวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology)

ในการทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง เลือกใช้การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ข้อมูล และออกแบบการทดลอง ในการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่

3.6.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น

มันสำปะหลังแต่ละสายพันธุ์ถูกใช้ในการศึกษา โดยการทดลองแบบ Central Composite Design แบบ 2 factor 5 levels แสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาคือ ความเร็วรอบ (X1) และ อัตราการป้อน (X2) โดยมีตัวแปรตาม คือ เปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ (Y) จากการออกแบบการทดลอง มีจำนวนการทดลอง คือ 13 การทดลอง แสดงในตารางที่ 3.4 และจากรูปที่ 3.27 แสดงลักษณะการจำแนกมันสำปะหลังในลักษณะต่าง ๆ ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปโดยเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น

ตารางที่ 3.3 ปัจจัย ระดับและขอบเขตของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบแผ่น

ตัวแปร	รหัส	ระดับค่าตัวแปร				α
		$-\alpha$	-1	0	1	
ความเร็วรอบ (rpm)	x1	798.77	858.00	1001.00	1144.00	1203.23
อัตราการป้อน (kg min ⁻¹)	x2	7.93	10.00	15.00	20.00	22.07



รูปที่ 3.27 แสดงลักษณะ (ก) มันสำปะหลังแผ่นสมบูรณ์ (ข) มันสำปะหลังแผ่นไม่สมบูรณ์

(ค) เศษมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 สิ่งทดลองจากการออกแบบการทดลอง CCD ของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่น

การทดลอง	ความเร็วรอบ (rpm)	อัตราการป้อน (kg min ⁻¹)	A	B
1	858.00	10	-1	-1
2	858.00	20	-1	1
3	1144.00	10	1	-1
4	1144.00	20	1	1
5	798.77	15	-1.414	0
6	1203.23	15	1.414	0
7	1001.00	7.93	0	-1.414
8	1001.00	22.07	0	1.414
9	1001.00	15	0	0
10	1001.00	15	0	0
11	1001.00	15	0	0
12	1001.00	15	0	0
13	1001.00	15	0	0

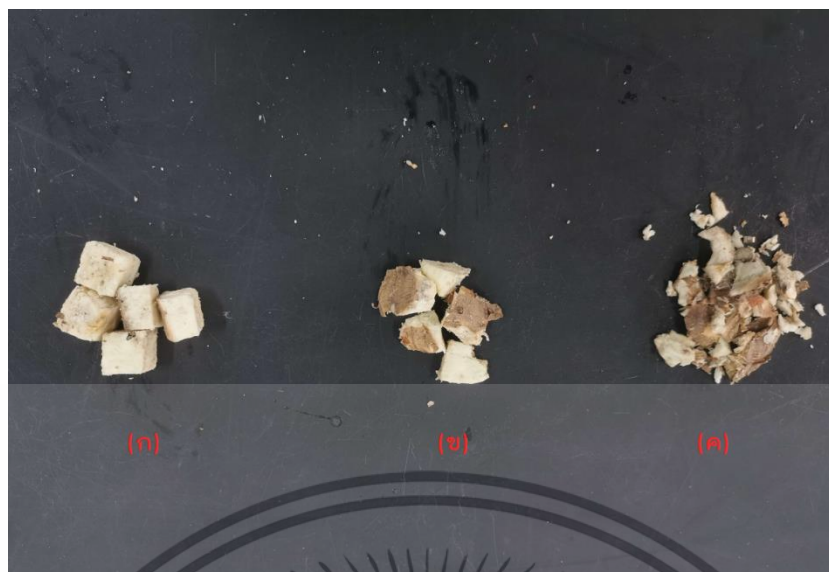
3.6.2 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองสำหรับเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

มันสำปะหลังแต่ละสายพันธุ์ถูกใช้ในการศึกษา โดยการทดลองแบบ Central Composite Design แบบ 2 factor 5 levels แสดงในตารางที่ 3.5 ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาคือ ความเร็วรอบ (X1) และ อัตราการป้อน (X2) โดยมีตัวแปรตาม คือ เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าสมบูรณ์ (Y) จากการออกแบบการทดลอง มีจำนวนการทดลอง คือ 13 การทดลอง แสดงในตารางที่ 3.6 และจากรูปที่ 3.28 แสดงลักษณะการจำแนกมันสำปะหลังในลักษณะต่าง ๆ ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปโดยเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

ตารางที่ 3.5 ปัจจัย ระดับและขอบเขตของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาสถานะที่เหมาะสมของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

ตัวแปร	รหัส	ระดับค่าตัวแปร				
		- α	-1	0	1	α
ความเร็วรอบ (rpm)	x1	110.42	116.67	131.26	146.84	153.09
อัตราการป้อน (kg min ⁻¹)	x2	7.93	10.00	15.00	20.00	22.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 แสดงลักษณะ (ก) น้ำมันส่ำปะหลังลูกเต้าสมบูรณ์ (ข) น้ำมันส่ำปะหลังลูกเต้าไม่สมบูรณ์ (ค) เศษน้ำมันส่ำปะหลัง

ตารางที่ 3.6 สิ่งทดลองจากการออกแบบการทดลอง CCD ของเครื่องหันน้ำมันส่ำปะหลังแบบลูกเต้า

การทดลอง	ความเร็วรอบ (rpm)	อัตราการป้อน (kg min^{-1})	A	B
1	116.67	10	-1	-1
2	116.67	20	-1	1
3	146.84	10	1	-1
4	146.84	20	1	1
5	110.42	15	-1.414	0
6	153.09	15	1.414	0
7	131.26	7.93	0	-1.414
8	131.26	22.07	0	1.414
9	131.26	15	0	0
10	131.26	15	0	0
11	131.26	15	0	0
12	131.26	15	0	0
13	131.26	15	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การประเมินประสิทธิภาพของระบบหมั่นน้ำมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

การประเมินประสิทธิภาพของระบบหมั่นน้ำมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ประเมินจากเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสมบูรณ์ ความเป็นเต๋ที่ไม่สมบูรณ์ เศษมันสำปะหลัง และการสูญเสียในระบบ เมื่อกำหนดการทำงานของระบบในสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำงานของแต่ละเครื่อง โดยที่ทดสอบทั้งหมด 10 ชั่วโมง และจับเวลาการทำงานของระบบ เพื่อประเมินความสามารถในการผลิตของระบบที่พัฒนาขึ้น จากการทดสอบสามารถประเมินประสิทธิภาพของระบบได้จากสมการดังนี้

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าสมบูรณ์ (A)

$$A = \frac{\text{น้ำหนักของหมั่นน้ำมันสำปะหลังลูกเต๋า}}{\text{น้ำหนักทั้งหมด}} \times 100 \quad (3.5)$$

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความไม่เป็นลูกเต๋าสมบูรณ์ (B)

$$B = \frac{\text{น้ำหนักของหมั่นน้ำมันสำปะหลังไม่เป็นลูกเต๋า}}{\text{น้ำหนักทั้งหมด}} \times 100 \quad (3.6)$$

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเป็นเศษมันสำปะหลัง (C)

$$C = \frac{\text{น้ำหนักของเศษมันสำปะหลัง}}{\text{น้ำหนักทั้งหมด}} \times 100 \quad (3.7)$$

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเป็นเศษมันสำปะหลัง (D)

$$D = \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมด} - (A+B+C)}{\text{น้ำหนักทั้งหมด}} \times 100 \quad (3.8)$$

3.8 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การศึกษาและวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของระบบหมั่นน้ำมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า เมื่อทำการสร้าง ออกแบบ และพัฒนาเครื่องจักรต่างๆ สิ่งสำคัญในการสร้าง คือ ความคุ้มค่าในการลงทุนของเครื่องจักร กำไรที่ได้ในการใช้งานของเครื่องจักร และค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ เช่น ค่าใช้จ่ายคงที่ และค่าใช้จ่ายผันแปร ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของระบบหมั่นน้ำมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า จำเป็นต้องศึกษาค่าใช้จ่ายทั้งในในระบบการหมั่นน้ำมันสำปะหลัง และศึกษาระยะการคืนทุนของระบบที่ทำการออกแบบ ในการศึกษาข้อมูลต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

3.8.1 การศึกษาค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบหมั่นน้ำมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกโครงการหรือบริการ ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อประหยัดทรัพยากร โดยเน้นความคุ้มค่าและก่อให้เกิดผลประโยชน์มากที่สุด เป็นการประเมินต้นทุนเทียบกับผลตอบแทนที่ได้รับการลงทุน การประเมินค่าใช้จ่ายของระบบหมั่นน้ำมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า คิดเฉพาะราคาที่จัดซื้อ หรือไม่คิดค่าที่ดินในการลงทุนโครงสร้าง ค่าประกัน โรงเรือน และอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First cost) ต้นทุนแรกเริ่ม คือ ค่าใช้จ่ายที่ต้องลงทุนเริ่มต้น เช่น เครื่องจักร ที่ดิน เป็นต้น

2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating cost) ต้นทุนในการดำเนินการ คือ ค่าใช้จ่ายที่ต้องเตรียมไว้เพื่อดำเนินการกับทรัพย์สินที่ต้องลงทุนเพื่อให้เกิดผลประโยชน์ สามารถแบ่งออกเป็น

2.1) ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed cost) คือค่าใช้จ่ายที่ไม่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าเสียโอกาสในการลงทุนในการพัฒนาระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

2.2) ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable cost) คือค่าใช้จ่ายที่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าจ้างแรงงาน สวัสดิการแรงงาน เป็นต้น

3. ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (Total cost) ที่เกิดขึ้นในการหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า หาได้จาก

$$TC = FC + VC$$

เมื่อ $TC =$ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า หน่วย บาท/ปี

$FC =$ ค่าเสื่อมราคาของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า (DP) + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R) หน่วย บาท/ปี

$VC =$ ค่าไฟฟ้า + ค่าจ้างแรงงาน + สวัสดิการแรงงาน + ค่าบำรุงรักษา หน่วย บาท/ปี

ค่าเสื่อมราคา คิดโดยวิธี Straight line method

$$DP = (P-S)/L$$

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน

$$R = ((P+S)/2) \times I$$

โดยที่ $P =$ ราคาสร้างระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า หน่วย บาท

$L =$ อายุการใช้งานระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า = 5 ปี

$S =$ ราคาซากเครื่องเมื่อใช้งาน 5 ปี โดยที่ราคาเหลือเพียง 10 % ของราคาสร้างระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

$DP =$ ค่าเสื่อมราคาต่อปี หน่วย บาท/ปี

$R =$ ค่าเสียโอกาสในการลงทุนต่อปี หน่วย บาท/ปี

$I =$ อัตราดอกเบี้ย Minimum Loan Rate (MLR) ที่ธนาคารแห่งประเทศไทยกำหนดเท่ากับ 7.5% ต่อปี

3.8.2 การศึกษาระยะเวลาในการคืนทุนของระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

1) จุดคุ้มทุน วิเคราะห์ผลตอบแทนในการลงทุนโดยวิธี Break even point (BEP)

$$BEP = FC/(SU - VC)$$

เมื่อ $BEP =$ จุดคุ้มทุน หน่วย กิโลกรัม/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FC	= ค่าใช้จ่ายคงที่	หน่วย บาท/ปี
SU	= ราคาขายต่อหน่วย	หน่วย บาท/กิโลกรัม
VC	= ค่าใช้จ่ายแปรผัน	หน่วย บาท/กิโลกรัม

2) ระยะเวลาในการคืนทุน วิเคราะห์ผลตอบแทนในการลงทุนโดยวิธี

Payback period (PBP)

$$PBP = MC/P$$

เมื่อ PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน หน่วย ปี

MC = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง หน่วย บาท

P = กำไรสุทธิ หน่วย บาท

ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมมีสมมติฐานของการลงทุน คือ

- 1) ราคาผลิตภัณฑ์คงที่ เพราะฉะนั้น รายได้จากการวิเคราะห์จึงเป็นเส้นตรง
- 2) ผลิตภัณฑ์สามารถขายได้หมดจากความสามารถในการผลิตที่ระบบผลิตได้
- 3) อัตราดอกเบี้ยคงที่
- 4) ต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผันแยกออกจากกันได้ชัดเจน
- 5) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเศรษฐกิจไม่มีผลต่อราคาผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

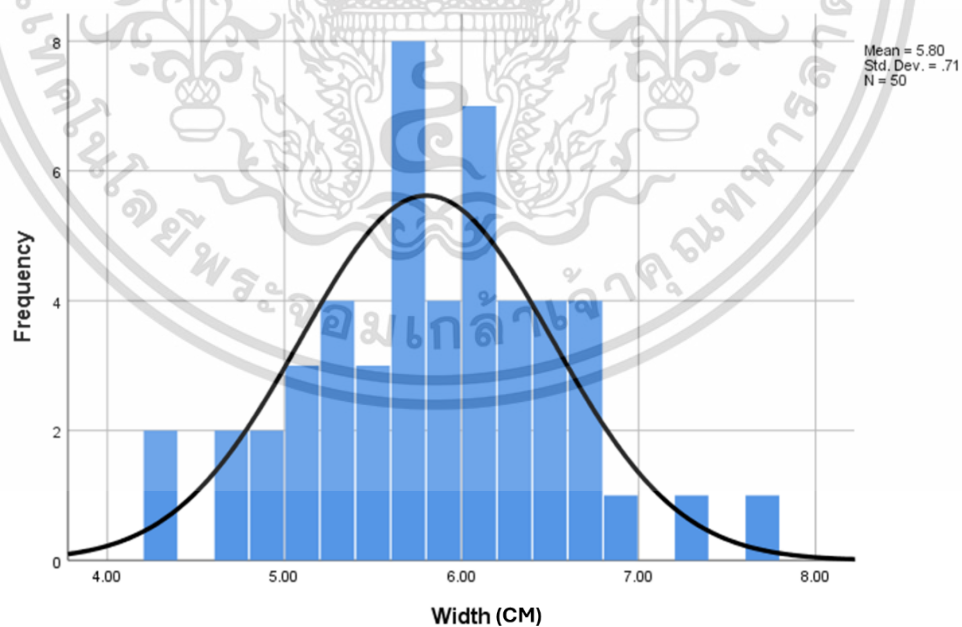
บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

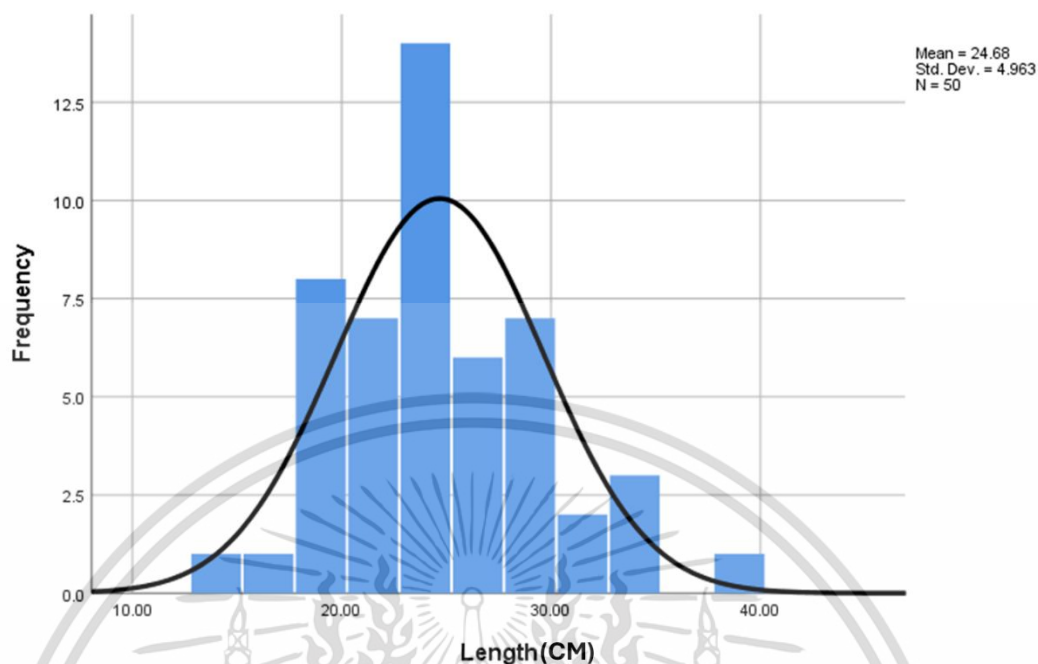
4.1 การศึกษาการกระจายตัวของหัวมันสำปะหลัง

4.1.1 การกระจายตัวของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9

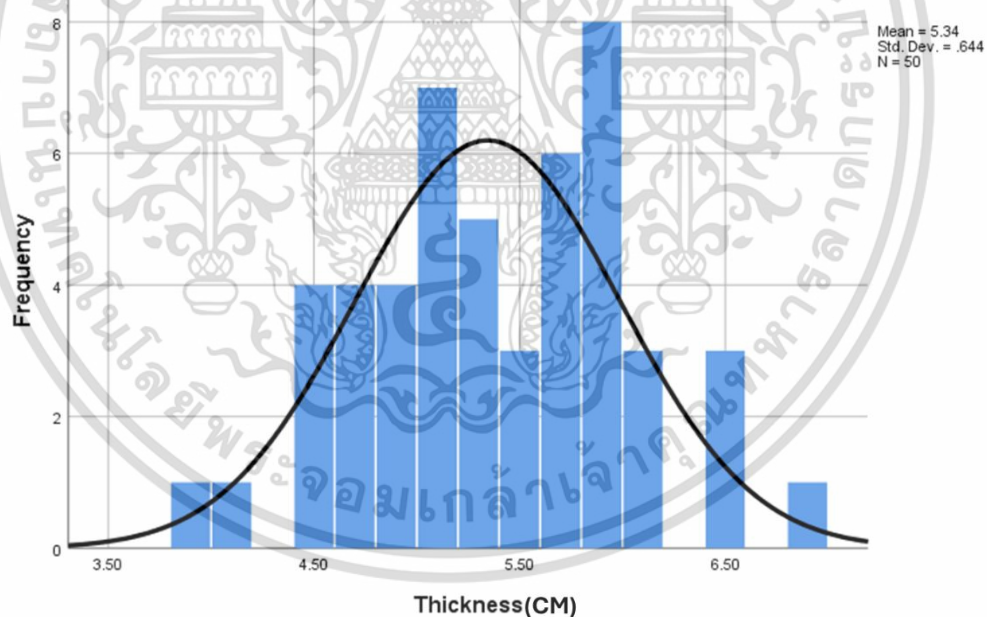
จากการศึกษาหาขนาดของหัวมันสำปะหลังสามแนวแกน ได้แก่ ความกว้าง ความยาว และความหนา โดยการสุ่มตัวอย่าง 50 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นมันสำปะหลังที่เพาะปลูกในพื้นที่จังหวัดปราจีนบุรี จากตารางที่ 4.1 สายพันธุ์ระยอง 9 มีความกว้างต่ำสุดเท่ากับ 4.3 cm ความกว้างสูงสุดเท่ากับ 7.3 cm ด้านความยาวมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 14 cm และความยาวสูงสุดเท่ากับ 38 cm สำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 มีความหนาต่ำสุดเท่ากับ 3.9 cm ความหนาสูงสุดเท่ากับ 6.8 cm จากรูปที่ 4.1 แสดงการกระจายตัวของความกว้างหัวมันสำปะหลัง ค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐานของความกว้างหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 มีค่าเท่ากับ 5.80 ± 0.71 cm และ 5.90 cm ส่วนความยาวหัวมันสำปะหลัง (รูปที่ 4.2) มีค่า 24.68 ± 4.96 cm และ 24.00 cm ตามลำดับ และความหนาของหัวมันสำปะหลัง (รูปที่ 4.3) มีค่า 5.34 ± 0.64 cm และ 5.30 cm ตามลำดับ ความใกล้เคียงของค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานชี้ให้เห็นว่าการกระจาย Histogram เป็นปกติ



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของขนาดความกว้างหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของขนาดความยาวหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9

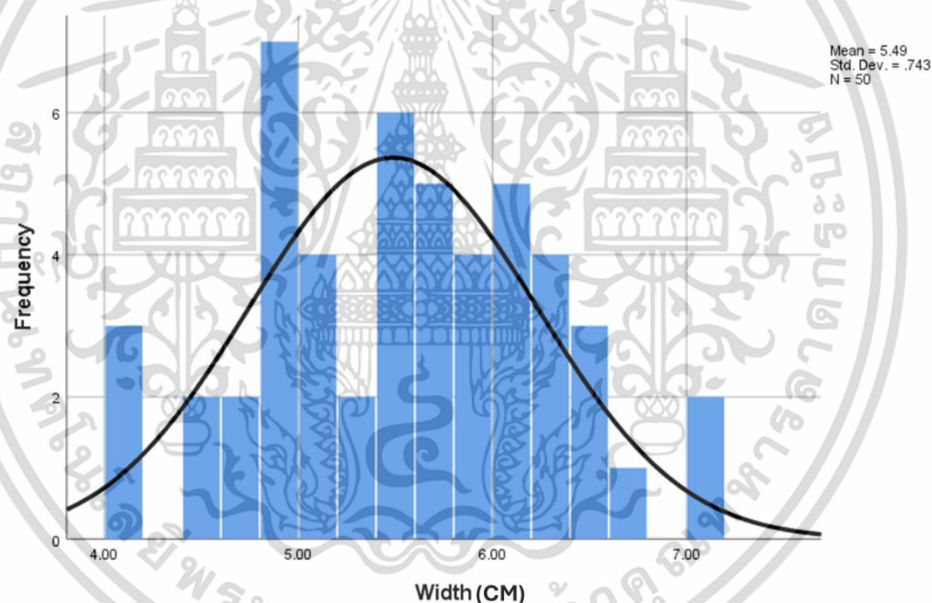


รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของขนาดความหนาหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9

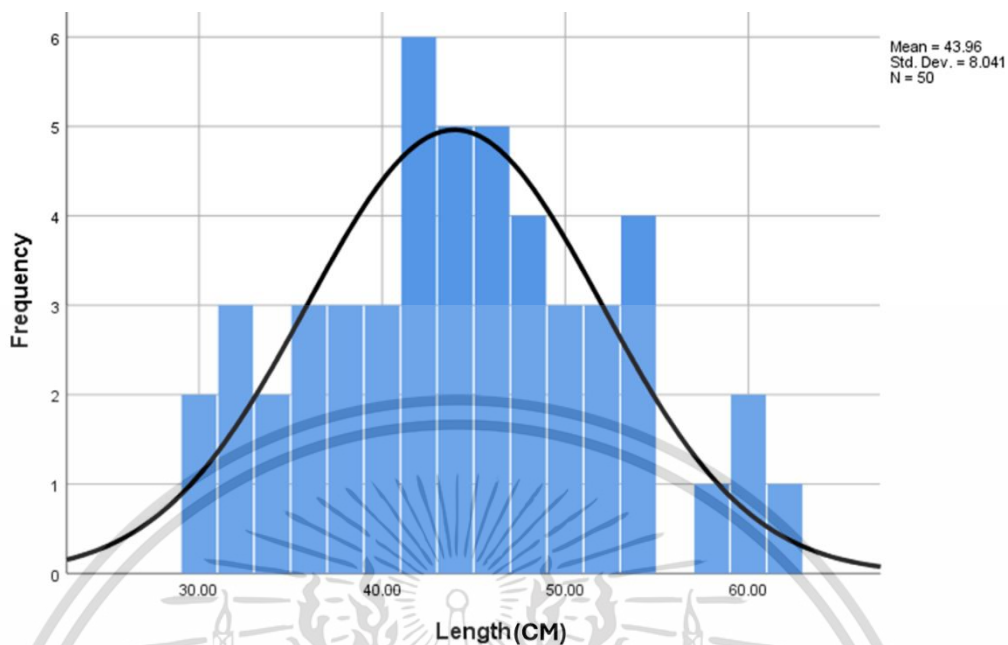
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การกระจายตัวของหัวสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

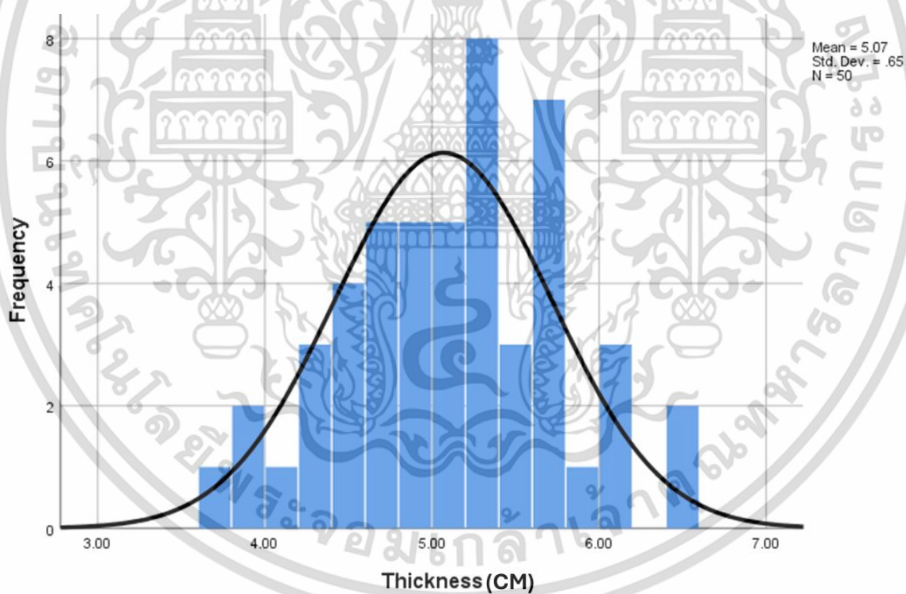
จากการศึกษาหาขนาดหัวมันสำปะหลังสามแนวแกน ได้แก่ ความกว้าง ความยาว และความหนา โดยการสุ่มตัวอย่าง 50 ตัวอย่าง ในตารางที่ 4.1 พบว่าขนาดของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความกว้างต่ำสุดเท่ากับ 4.1 cm ความกว้างสูงสุดเท่ากับ 7.1 cm สำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความยาวต่ำสุดเท่ากับ 30 cm ความยาวสูงสุดเท่ากับ 68 cm และความหนาของหัวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความหนาต่ำสุดเท่ากับ 3.7 cm ความหนาสูงสุดเท่ากับ 6.5 cm จากรูปที่ 4.4 แสดงการกระจายตัวของความกว้างหัวมันสำปะหลัง ค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐานของความกว้างหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีค่าเท่ากับ 5.49 ± 0.74 cm และ 5.45 cm ตามลำดับ ส่วนความยาวหัวมันสำปะหลัง (รูปที่ 4.5) มีค่า 43.96 ± 8.04 cm และ 44.00 cm ตามลำดับ และความหนาของหัวมันสำปะหลัง (รูปที่ 4.6) มีค่า 5.06 ± 0.65 cm และ 5.10 cm ตามลำดับ ความใกล้เคียงของค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานชี้ให้เห็นว่าการกระจาย Histogram เป็นปกติ



รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของขนาดความกว้างหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50



รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของขนาดความยาวหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50



รูปที่ 4.6 การกระจายตัวของขนาดความหนาหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ขนาดของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50

สายพันธุ์	Dimensions	ขนาดของหัวมันสำปะหลัง (cm)		
		Min	Max	Avg.± Std.
ระยอง 9	Length	14	38	24.68±4.96
	Width	4.3	7.6	5.80±0.71
	Thickness	3.9	6.8	5.34±0.64
เกษตรศาสตร์ 50	Length	30	61	43.96±8.04
	Width	4.1	7.1	5.94±0.74
	Thickness	3.7	6.5	5.07±0.65

จากการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ย (t-test) เพื่อหาความแตกต่างของขนาดหัวมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์ จากตารางที่ 4.1 แสดงความแตกต่างของขนาดหัวมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ที่ทำการทดสอบ พบว่าความกว้าง และความหนาของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และจากการทดสอบสมมติฐานพบว่า ความยาวของหัวมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50

สายพันธุ์	ขนาดของหัวมันสำปะหลัง (cm)		
	กว้าง	ยาว	หนา
ระยอง 9	5.80±0.71ns	24.68±4.96b	5.34±0.64ns
เกษตรศาสตร์ 50	5.94±0.74ns	43.96±8.04a	5.07±0.65ns

*ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคอลัมน์เดียวกัน

** ns คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2 การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่น

จากผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่น พบว่า เมื่อทำการทดลองที่ความเร็วต่ำสุด 798.77 rpm มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นเท่ากับ 21.27% เมื่อทำการทดลองกับสายพันธุ์ระยอง 9 และสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีค่าเท่ากับ 29.27% ซึ่งเป็นความเร็วที่ส่งผลทำให้

เปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นน้อยที่สุดในการทดลอง จากการทดลองที่ความเร็ว 1,144 rpm พบว่าส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์มากที่สุด โดยมีค่าความเป็นแผ่นสมบูรณ์ของสายพันธุ์ระยอง 9 เท่ากับ 77.45 % และสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีค่าเท่ากับ 72.65% ที่การทดสอบอัตราการป้อนเท่ากับ 20 kg min⁻¹ แสดงในตารางภาคผนวก ค.1 และ ค.2 ทั้งนี้ ในการทดลองพบว่า หากเพิ่มความเร็วในการหันมันสำปะหลัง คือ 1,203.23 rpm ส่งผลทำให้ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อทำการทดสอบกับมันสำปะหลัง ทั้ง 2 สายพันธุ์

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-way analysis of variance; one-way ANOVA) ใช้สำหรับศึกษาความเหมาะสมของสมการและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันค่า F-value ที่สูง และค่า p-value ต่ำกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าสมการและปัจจัยมีความสำคัญ จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 สามารถสรุปได้ว่าสมการแบบ Quadratic เข้ากันได้กับผลของเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นที่ได้จากการทดลอง เนื่องจากมีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 หมายความว่าความเร็วรอบในการหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า และอัตราการป้อนมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ความเร็วรอบในการหันและอัตราการป้อนไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากปัจจัยความเร็วรอบในการหันมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่อัตราการป้อนไม่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองของสายพันธุ์ระยอง 9

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	3340.78	668.16	79.13	0.000
X1	1	2654.64	2654.64	314.4	0.000
X2	1	5	5	0.59	0.467
X1*X1	1	647.54	647.54	76.69	0.000
X2*X2	1	0.02	0.02	0	0.965
X1*X2	1	23.28	23.28	2.76	0.141
Error	7	59.1	8.44		
Lack-of-Fit	3	27.89	9.3	1.19	0.419
Pure Error	4	31.21	7.8		
Total	12	3399.89			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองของสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	2564.93	512.99	41.83	0.000
X1	1	2199.3	2199.3	179.35	0.000
X2	1	0.5	0.5	0.04	0.846
X1*X1	1	335.56	335.56	27.36	0.001
X2*X2	1	16.36	16.36	1.33	0.286
X1*X2	1	26.78	26.78	2.18	0.183
Error	7	85.84	12.26		
Lack-of-Fit	3	37.47	12.49	1.03	0.468
Pure Error	4	48.37	12.09		
Total	12	2650.77			

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการการถดถอยเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (X_1) และอัตราการป้อนหัวมันสำปะหลัง (X_2) ที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ พบว่า สายพันธุ์ระยะของ 9 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.983 และสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.967 โดยแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ได้ดังสมการที่ 4.1 และ 4.2

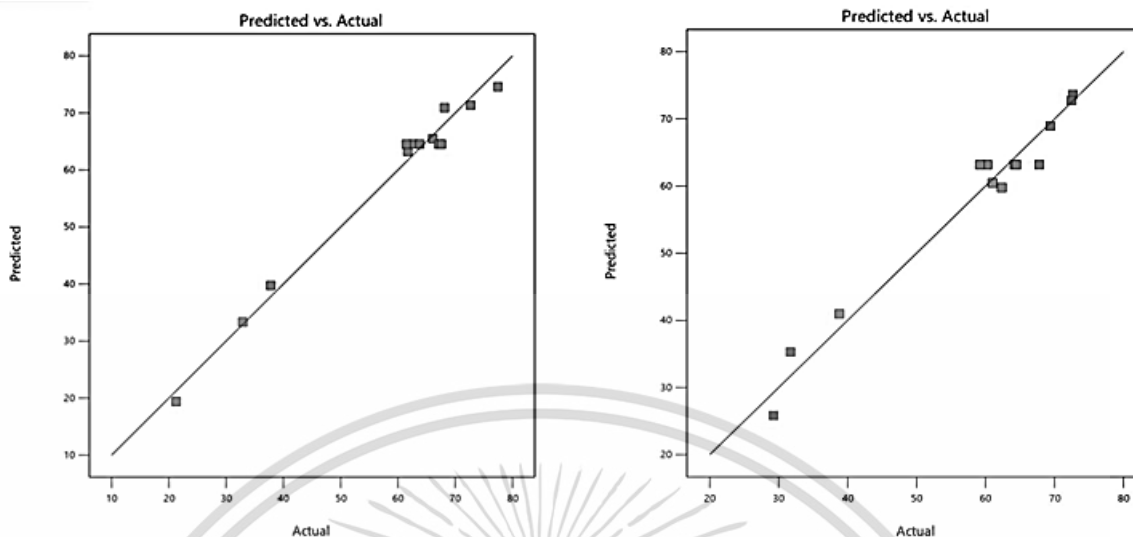
สมการทำนายเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ของสายพันธุ์ระยะของ 9 (สมการที่ 4.1)

$$= -0.482 \times 10^3 + 1.280 X_1 - 3.48 X_2 - (7.41 \times 10^{-4}) X_1^2 - (2.01 \times 10^{-3}) X_2^2 + (4.23 \times 10^{-3}) X_1 X_2$$

สมการทำนายเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ของสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (สมการที่ 4.2)

$$= -0.352 \times 10^3 + 0.929 X_1 - 1.83 X_2 - (5.33 \times 10^{-4}) X_1^2 - (6.13 \times 10^{-2}) X_2^2 + (4.54 \times 10^{-3}) X_1 X_2$$

จากสมการทำนายเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ทั้ง 2 สายพันธุ์ สามารถนำมาเปรียบเทียบในรูปแบบเชิงเส้น แสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ที่ได้จากการทดลองกับสมการทำนาย โดยที่รูป (ก) แสดงความสัมพันธ์ของสายพันธุ์ระยะของ 9 และ (ข) แสดงความสัมพันธ์ของสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50



(ก) สายพันธุ์ระยอง 9

(ข) สายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

รูปที่ 4.7 เปรอ์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ที่ได้จากการทดลอง และสมการทำนาย

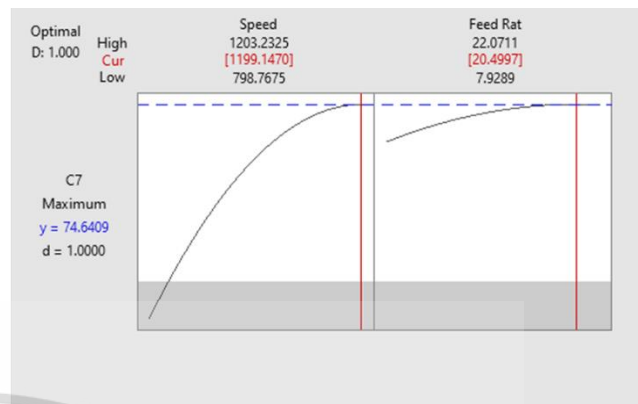
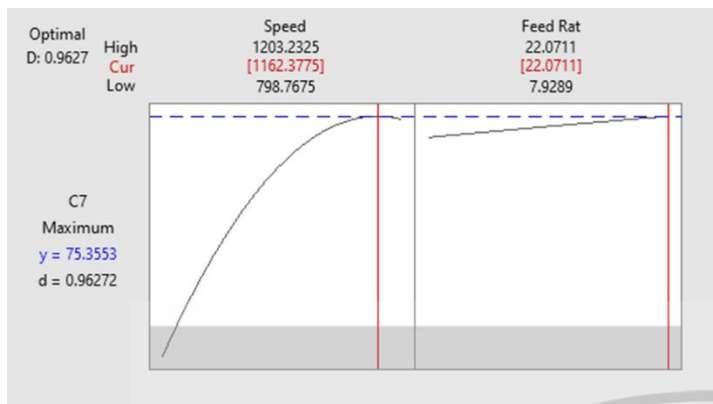
จากรูปที่ 4.8 แสดงอิทธิพลของความเร็วกับอัตราการป้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ของมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และรูปที่ 4.9 แสดงอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 จากภาพเมื่อเพิ่มความเร็วส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์เพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่เหมาะสม เมื่อทำการเพิ่มความเร็วต่อเนื่อง ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ลดลง แต่การเพิ่มอัตราการป้อน พบว่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องหันมันสำปะหลังที่ทำการทดสอบได้ดังนี้

มันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9

ความเร็วรอบของมอเตอร์ (X_1)	=	1,162.38	rpm
อัตราการป้อน (X_2)	=	22.07	kg min ⁻¹
เปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ (Y)	=	75.35	%

มันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

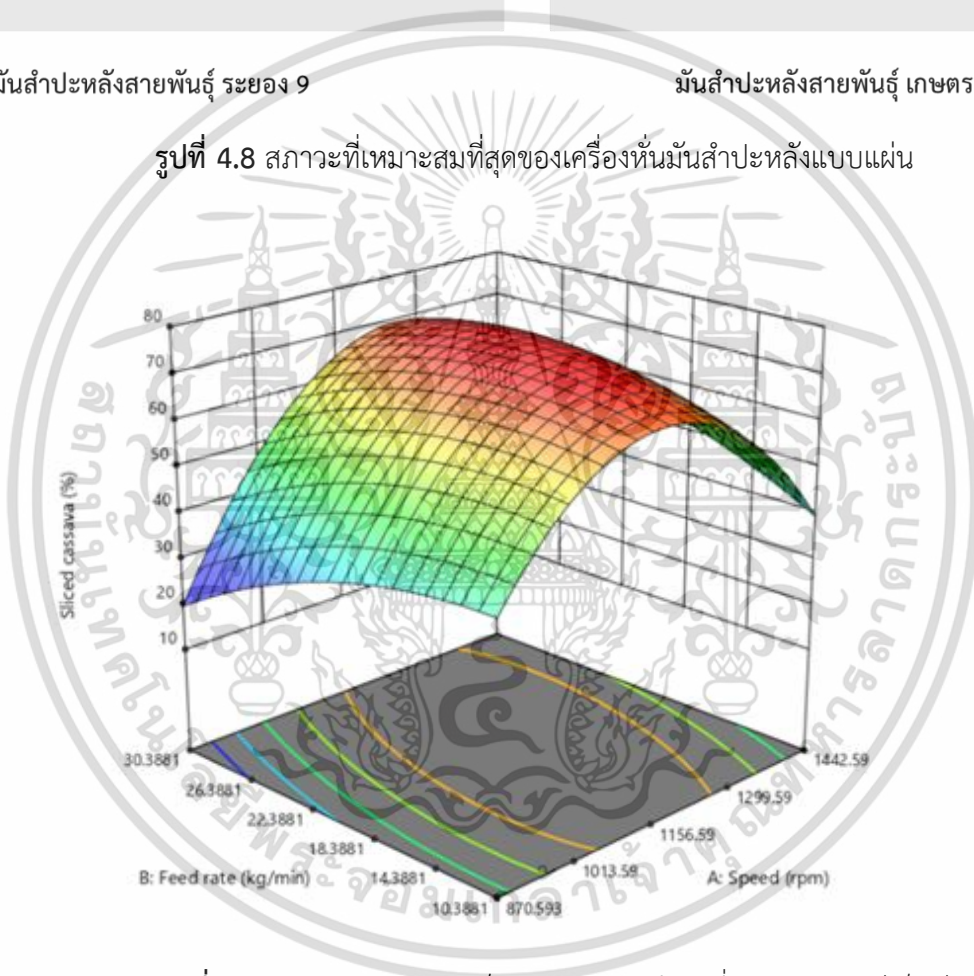
ความเร็วรอบของมอเตอร์ (X_1)	=	1,199.15	rpm
อัตราการป้อน (X_2)	=	20.50	kg min ⁻¹
เปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ (Y)	=	74.64	%



มันสำปะหลังสายพันธุ์ ระยะเวลา 9

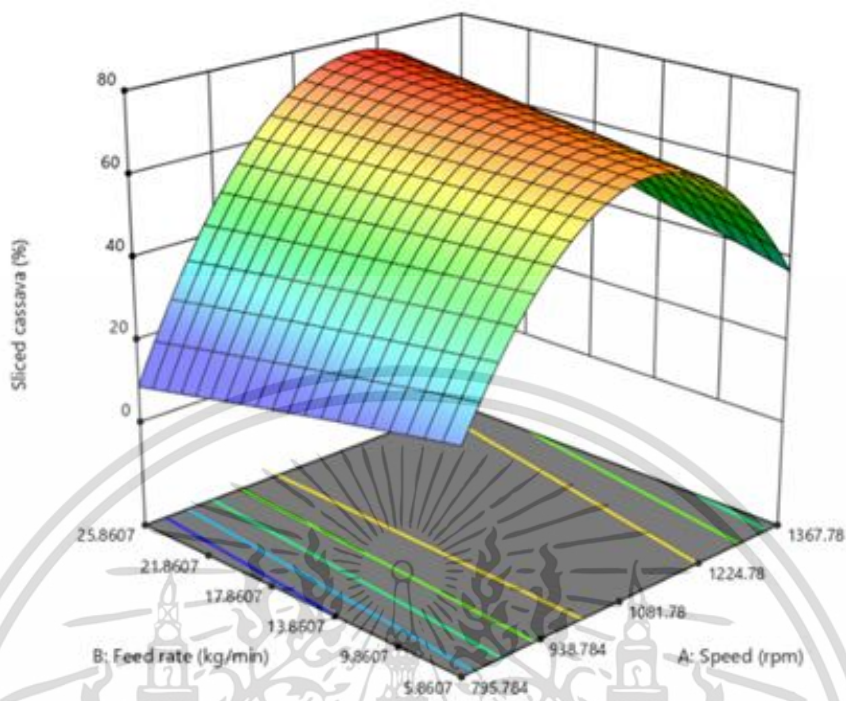
มันสำปะหลังสายพันธุ์ เกษตรศาสตร์ 50

รูปที่ 4.8 สถานะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่น



รูปที่ 4.9 อิทธิพลของความเร็วกับอัตราการป้อนที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ของสายพันธุ์ระยะเวลา 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 อิทธิพลของความเร็วกับอัตราการป้อนที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ของสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

4.3 การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

จากการทดลองรูปแบบการทดลอง Central Composite Design แสดงในตารางที่ภาคผนวก ค.3 และ ค.4 พบว่าเมื่อใช้ความเร็วที่ 146.84 rpm ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋ามีค่ามากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 39.45% เมื่อทดลองกับสายพันธุ์ระยะของ 9 และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 41.15% เมื่อทำการทดลองกับสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 โดยมีอัตราการป้อนเท่ากับ 20 kg min^{-1} หากเพิ่มความเร็วเป็น $153.09 \text{ kg min}^{-1}$ ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าลดลงเหลืออย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มที่เกิดขึ้นจากค่าความเร็วที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์ ในการทดลองมีค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าลดต่ำสุดของสายพันธุ์ระยะของ 9 เท่ากับ 10.27% และสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เท่ากับ 12.40% เมื่อทำการทดลองที่ความเร็วเชิง 110.42 rpm ซึ่งเป็นความเร็วที่น้อยสุดในการทดลอง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-way analysis of variance; one-way ANOVA) ใช้สำหรับศึกษาความเหมาะสมของสมการและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันค่า F-value ที่สูง และค่า p-value ต่ำกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าสมการและปัจจัยมีความสำคัญ จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 สามารถสรุปได้ว่าสมการแบบ Quadratic เข้ากันได้กับผลของเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าที่ได้จากการทดลอง เนื่องจากมีค่า

p-value น้อยกว่า 0.05 หมายความว่าความเร็วรอบในการหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า และอัตราการป้อนมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ความเร็วรอบในการหันและอัตราการป้อนไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากปัจจัยความเร็วรอบในการหันมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่อัตราการป้อนไม่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่น

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการการถดถอยเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (X_1) และอัตราการป้อนมันสำปะหลังแผ่น (X_2) ที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าสสมบูรณ์ พบว่า สายพันธุ์ระยะของ 9 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.955 และสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.948 โดยแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าสสมบูรณ์ได้ดังสมการที่ 4.3 และ 4.4

สมการทำนายเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าสสมบูรณ์ของสายพันธุ์ระยะของ 9 (สมการที่ 4.3)

$$= -4.68 \times 10^2 + 7.01 X_1 + 0.29 X_2 - (2.47 \times 10^{-2}) X_1^2 - (1.05 \times 10^{-2}) X_2^2 + (3.60 \times 10^{-3}) X_1 X_2$$

สมการทำนายเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าสสมบูรณ์ของสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (สมการที่ 4.4)

$$= -5.48 \times 10^2 + 8.15 X_1 + 0.39 X_2 - (2.875 \times 10^{-2}) X_1^2 - (1.72 \times 10^{-2}) X_2^2 + (3.30 \times 10^{-3}) X_1 X_2$$

จากสมการทำนายเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์ทั้ง 2 สายพันธุ์ สามารถนำมาเปรียบเทียบในรูปแบบเชิงเส้น แสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าสสมบูรณ์ที่ได้จากการทดลองกับสมการทำนาย โดยที่รูป (ก) แสดงความสัมพันธ์ของสายพันธุ์ระยะของ 9 และ (ข) แสดงความสัมพันธ์ของสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

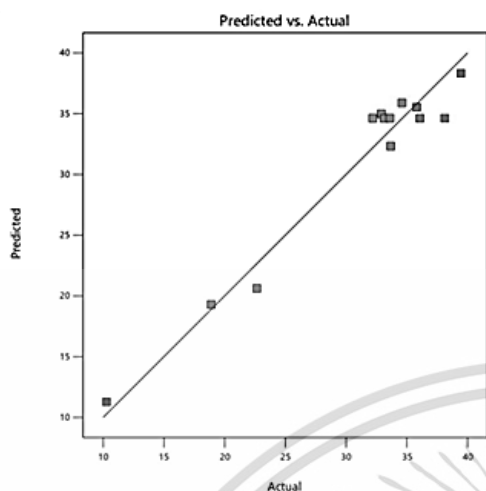
ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองของสายพันธุ์ระยะยง 9

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	815.204	163.041	30.02	0.000
X1	1	588.409	588.409	108.33	0.000
X2	1	7.041	7.041	1.3	0.292
X1*X1	1	219.026	219.026	40.32	0.000
X2*X2	1	1.647	1.647	0.3	0.599
X1*X2	1	0.302	0.302	0.06	0.820
Error	7	38.022	5.432		
Lack-of-Fit	3	14.479	4.826	0.82	0.547
Pure Error	4	23.543	5.886		
Total	12	853.226			

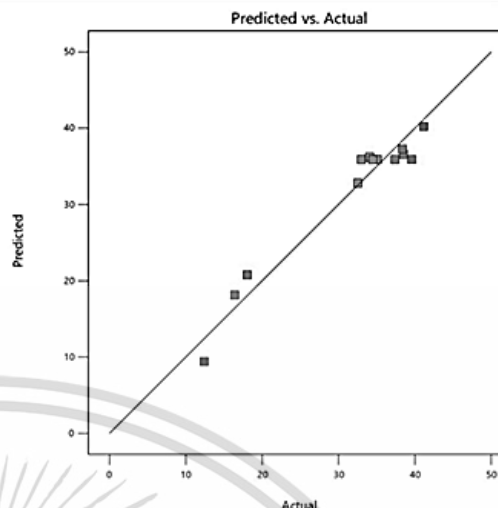
ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองของสายพันธุ์เกษตรกรศาสตร์ 50

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	1037.92	207.585	25.54	0.000
X1	1	718.99	718.988	88.45	0.000
X2	1	19.73	19.73	2.43	0.163
X1*X1	1	297.69	297.69	36.62	0.001
X2*X2	1	1.29	1.287	0.16	0.703
X1*X2	1	0.25	0.25	0.03	0.866
Error	7	56.9	8.129		
Lack-of-Fit	3	29.8	9.934	1.47	0.350
Pure Error	4	27.1	6.775		
Total	12	1094.82			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สายพันธุ์ระยอง 9



(ข) สายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

รูปที่ 4.11 เปรอ์เซ็นต์ความเป็นลูกเต้าสมบูรณ์ที่ได้จากการทดลองและสมการทำนาย

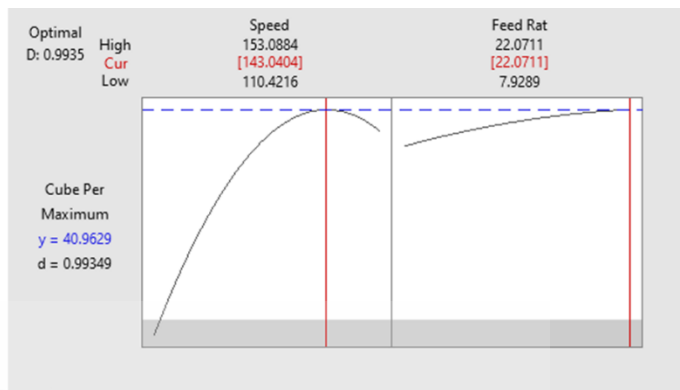
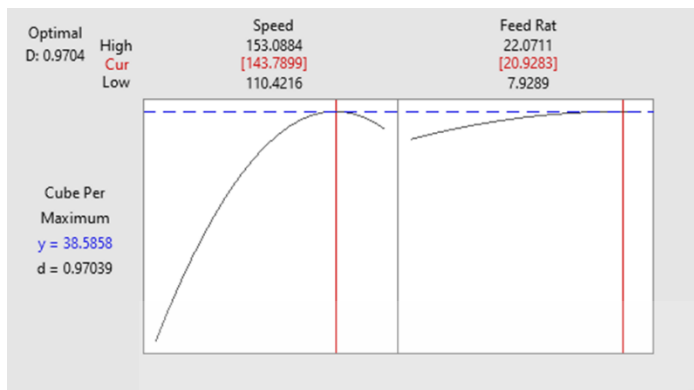
จากรูปที่ 4.11 แสดงอิทธิพลของความเร็วกับอัตราการป้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต้าสมบูรณ์ของมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และรูปที่ 4.12 แสดงอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 หากทำการเพิ่มความเร็วส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นเต้าสมบูรณ์เพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่เหมาะสม หากทำการเพิ่มความเร็วต่อ ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นเต้าสมบูรณ์ลดลง ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 2 สายพันธุ์ แต่การเพิ่มหรือลดอัตราการป้อนพบว่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต้าสมบูรณ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ดังนั้น สามารถสรุปภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต้าที่ทำการทดสอบได้ดังนี้

มันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9

ความเร็วรอบของมอเตอร์ (X_1)	=	143.79	rpm
อัตราการป้อน (X_2)	=	20.92	kg min ⁻¹
เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต้าสมบูรณ์ (Y)	=	38.58	%

มันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

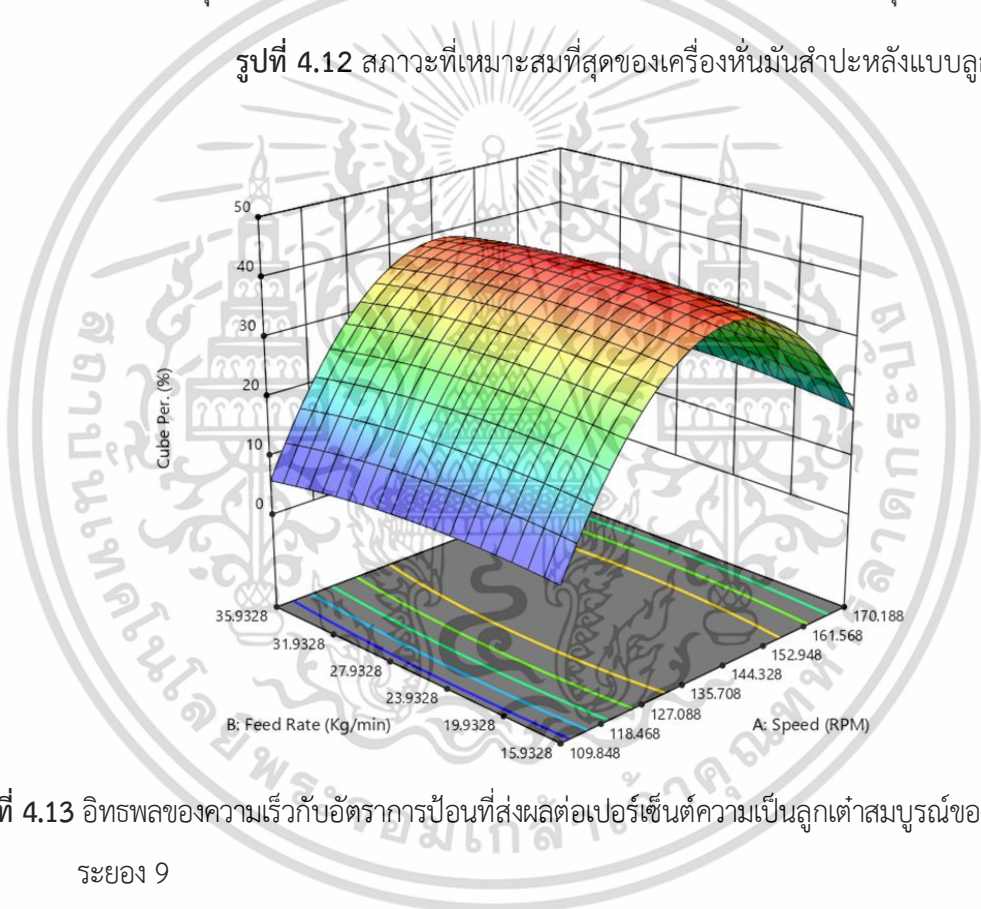
ความเร็วรอบของมอเตอร์ (X_1)	=	143.04	rpm
อัตราการป้อน (X_2)	=	22.07	kg min ⁻¹
เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต้าสมบูรณ์ (Y)	=	40.96	%



มันสำปะหลังสายพันธุ์ ระยะเวลา 9

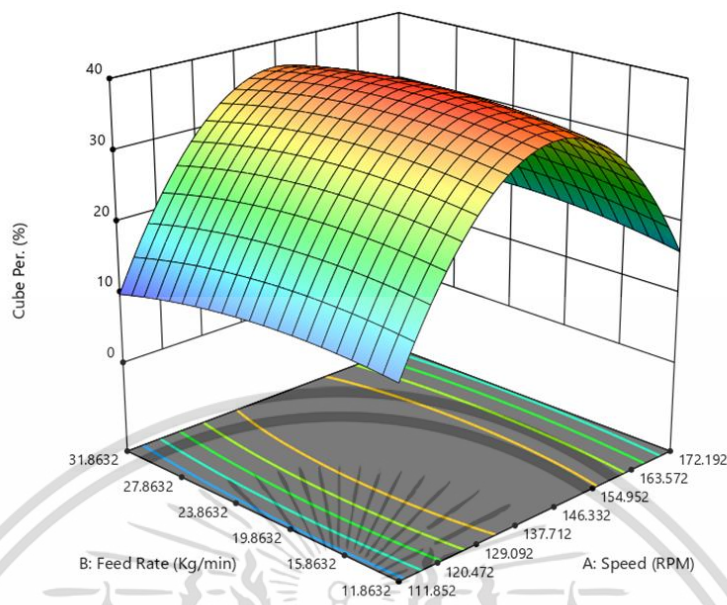
มันสำปะหลังสายพันธุ์ เกษตรศาสตร์ 50

รูปที่ 4.12 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า



รูปที่ 4.13 อิทธิพลของความเร็วกับอัตราการป้อนที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าสมบูรณ์ของสายพันธุ์ ระยะเวลา 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

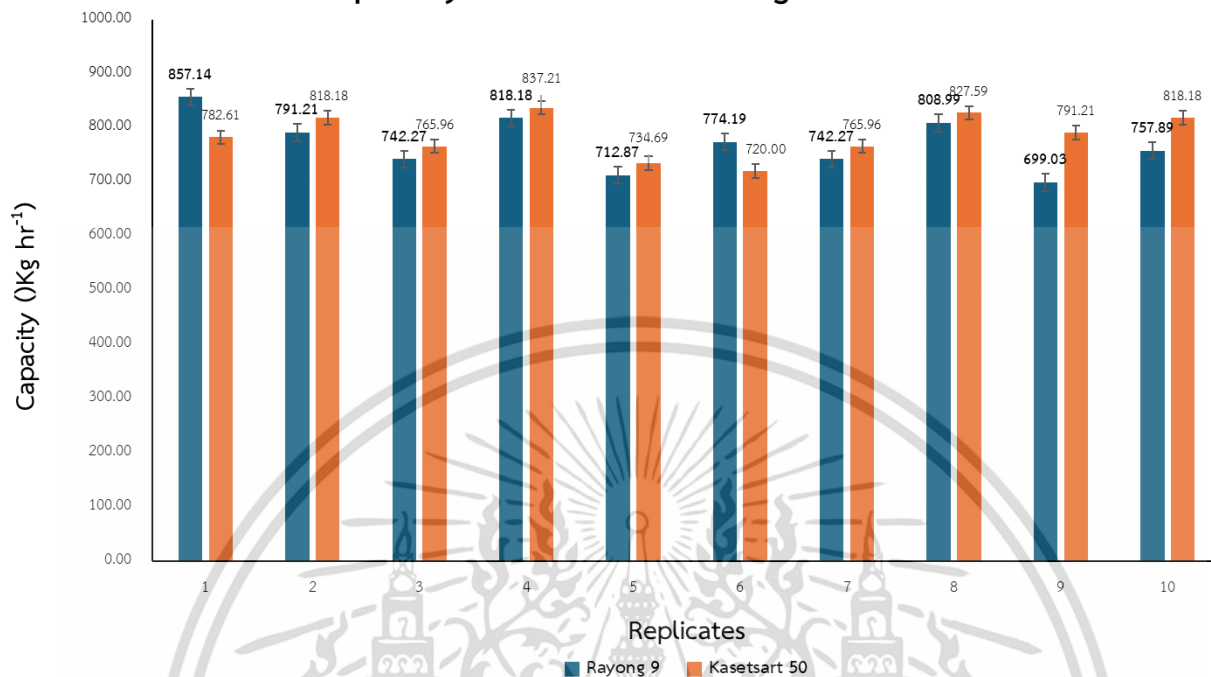


รูปที่ 4.14 อิทธิพลของความเร็วกับอัตราการป้อนที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าสมบูรณ์ของสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

4.4 การประเมินประสิทธิภาพของระบบเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าคู่

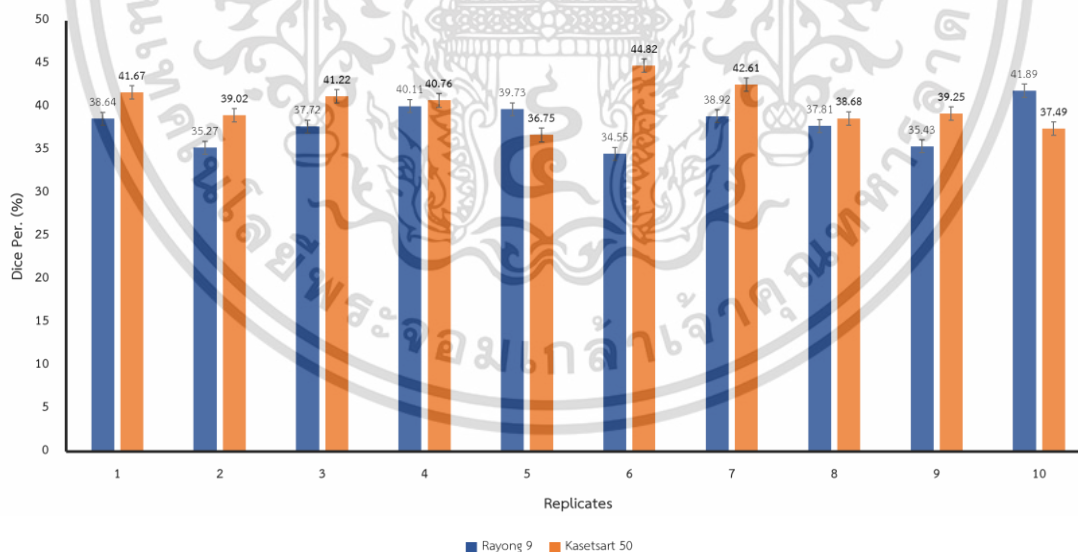
จากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลังทั้ง 2 รูปแบบ โดยวิธี Central Composite Design ทำให้ทราบค่าที่สภาวะเหมาะสมในการทำงานของตัวระบบของมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยะยง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 จากนั้นกำหนดการทำงานของเครื่องให้เหมาะสมที่สุดของแต่ละสายพันธุ์ และทำการทดลองหาความสามารถในการผลิต โดยที่กำหนดอัตราการป้อนมันสำปะหลังที่สภาวะที่เหมาะสม จากนั้นทำการทดสอบเป็นจำนวน 10 ซ้ำ แสดงในรูปที่ 4.13 จากการทดลอง พบว่า มันสำปะหลังสายพันธุ์ระยะยง 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 $38.01 \pm 2.35\%$ ความเป็นเต๋าคู่ไม่สมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ $58.23 \pm 2.40\%$ 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 $40.26 \pm 2.46\%$ ความเป็นเต๋าคู่ไม่สมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ $55.20 \pm 2.30\%$ เศษมันสำปะหลังเฉลี่ยเท่ากับ $1.69 \pm 0.39\%$ และค่าการสูญเสียในระบบเฉลี่ยเท่ากับ $2.88 \pm 0.41\%$ จากนั้นทำการทดสอบ t-test เพื่อหาความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากการทดลองของมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์

Capacity of cassava dicing machine



รูปที่ 4.15 ความสามารถในการผลิตของระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

Dice percent of cassava dicing machine



รูปที่ 4.14 เปอร์เซนต์ความเป็นลูกเต๋าของระบบหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ย (t-test) พบว่าความสามารถในการผลิตของ 2 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และจากการประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้นพบว่า เพอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต่าสมบูรณ์ ความไม่เป็นที่ลูกเต่า เศษมันสำปะหลัง และค่าความสูญเสียในระบบของ 2 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อ p-value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงถึงความสามารถของระบบในการแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเต่าที่สามารถแปรรูปหัวมันสำปะหลังได้หลากหลายสายพันธุ์ อีกทั้ง ระบบที่พัฒนาขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องหันมันสำปะหลังต้นแบบ (ไชยวัฒน์ และคณะ, 2560) สามารถเพิ่มความสามารถในการผลิตได้โดยประมาณ 40% ดังนั้น ในการทดลองครั้งนี้สามารถพัฒนาระบบหันมันสำปะหลังแบบลูกเต่าได้ตามเป้าหมายของวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในงานวิจัยครั้งนี้

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพของระบบหันมันสำปะหลังแบบลูกเต่า

สายพันธุ์	ความสามารถในการผลิต (kg hr ⁻¹)	ความเป็นลูกเต่า (%)	ความไม่เป็นที่ลูกเต่า (%)	เศษ (%)	สูญเสีย (%)
ระยอง 9	767.59±49.31ns	38.01±2.35ns	58.23±2.40ns	1.40±0.32ns	2.36±0.39ns
เกษตรศาสตร์ 50	784.31±35.76ns	40.26±2.46ns	55.20±2.30ns	1.69±0.39ns	2.88±0.41ns

* ns – แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.5 การตรวจสอบความถูกต้องของเปอร์เซ็นต์มันสำปะหลังเต่าสมบูรณ์ที่ได้จากการทำนายและค่าที่ได้จากการทดลอง

เพื่อทำการยืนยันสถานะที่เหมาะสมในระบบแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเต่าที่ส่งผลทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ความเป็นเต่าสมบูรณ์สูงสุด จากการทดลองภายใต้สถานะที่เหมาะสมในการกระบวนการแปรรูป สำหรับมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 มีความเร็วรอบที่ใช้ในการหันมันสำปะหลังแผ่นเท่ากับ 1162.37 rpm และความเร็วรอบในการหันมันสำปะหลังแบบลูกเต่าเท่ากับ 143.79 rpm ส่งผลทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต่าสมบูรณ์เท่ากับ 38.58% จากการทดสอบตามสภาวะดังกล่าวจำนวน 10 ซ้ำ เพื่อทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ย (One-sample t-test) แสดงดังตารางที่ 4.8 (เมื่อสมมติฐานคือ $H_0 : \mu = 38.58$ และ $H_0 \neq 38.58$) ซึ่งจากการทดสอบพบว่ายอมรับสมมติฐาน ($H_0 : \mu = 38.58$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในการทดสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องสำหรับมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 โดยกำหนดความเร็วรอบที่ใช้ในการหันมันสำปะหลังแผ่นเท่ากับ 1199.14 rpm และความเร็วรอบในการหันมันสำปะหลังแบบลูกเต่าเท่ากับ 143.04 rpm ส่งผลทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต่าสมบูรณ์เท่ากับ 40.96% จากการทดสอบตามสภาวะดังกล่าวจำนวน 10 ซ้ำ เพื่อทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ย (One-

sample t-test) แสดงดังตารางที่ 4.9 (เมื่อสมมติฐานคือ $H_0 : \mu = 40.96$ และ $H_0 \neq 40.96$) ซึ่งจากการทดสอบพบว่ายอมรับสมมติฐาน ($H_0 : \mu = 38.58$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า จากการทดสอบการทำงานของระบบหมั่นสำหรับแบบลูกเต๋ากายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด ส่งผลทำให้ได้ค่าความเป็นลูกเต๋าสสมบูรณ์เป็นไปตามการทำนายจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธี Response surface methodology (RSM) จากการออกแบบ Central composite design (CCD)

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับสายพันธุ์ระยะของ 9

Variable	N	Mean	St Dev	SE Mean	Sig.
experiment	10	38.01	2.35	0.74	0.461

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

Variable	N	Mean	St Dev	SE Mean	Sig.
experiment	10	40.22	2.46	0.78	0.371

4.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

4.6.1 การศึกษาค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบหมั่นสำหรับแบบลูกเต๋ากาย

1) ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost)

การคำนวณค่าใช้จ่ายคงที่ โดยที่ ราคาของระบบหมั่นสำหรับแบบลูกเต๋ากาย (P) เท่ากับ 44,600 บาท โดยคิดมูลค่าซากของเครื่อง (S) โดยวิธี Straight line method เมื่อสิ้นปีที่ 5 (L) มีมูลค่าเหลือ 10% ของราคาต้นทุน ดังนั้น สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายคงที่ได้ดังนี้

$$\text{ราคาซากเครื่องจักร (S)} = 44,600 \times (10/100) = 4,460 \text{ บาท}$$

$$\text{จากสมการ 2.1 ค่าเสื่อมราคา (DP)} = (44,600 - 4,460)/5 = 8,028 \text{ บาท/ปี}$$

โดยที่ ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest on investment) สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.2 กำหนดอัตราดอกเบี้ยเงินลงทุน (I) เมื่อดอกเบี้ย Minimum Loan Rate (MLR) ที่ธนาคารแห่งประเทศไทย กำหนดเท่ากับ 7.5% ต่อปี

$$\text{ค่าเสียโอกาส (R)} = ((44,600 + 4,460)/2) \times (7.5/100) = 1,742 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ดังนั้น ค่าใช้จ่ายคงที่ทั้งหมด} = 8,028 + 1,742 = 9,770 \text{ บาท/ปี}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable cost)

ค่าใช้จ่ายผันแปรสามารถอธิบายการคำนวณในส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.1) ค่าไฟฟ้า คำนวณจากขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ทั้งหมด โดยที่เครื่องหั่นมันสำหรับแปะหลังแผ่นใช้มอเตอร์ขนาด 1.5 kW เครื่องหั่นมันสำหรับแปะหลังแบบลูกเต๋า ใช้มอเตอร์ขนาด 1.5 kW และสายพานลำเลียงใช้มอเตอร์รวมถึงชุดควบคุมการทำงานของสายพานลำเลียงเท่ากับ 100 W ดังนั้น ระบบหั่นมันสำหรับแปะหลังใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมด 3.1 kW โดยที่กำหนดการทำงานวันละ 5 ชั่วโมงต่อวัน และทำงานปีละ 300 วัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ระบบหั่นมันสำหรับแปะหลังแบบลูกเต๋าใช้ไฟฟ้าประมาณ 19 หน่วย/วัน เมื่อราคาไฟฟ้าในปี 2567 ระหว่างเดือนมกราคม ถึง เมษายน มีราคาไฟฟ้าหน่วยละ 4.19 บาท/หน่วย และค่าไฟฟ้าผันแปร (F_v) 0.397 บาท/หน่วย ดังนั้น ระบบหั่นมันสำหรับแปะหลังแบบลูกเต๋าสิ้นค่าไฟฟ้าประมาณ 94 บาท/วัน หรือ 28,200 บาท/ปี

2.2) ค่าจ้างแรงงาน อัตราการจ้างแรงงานวันละ 400 บาท/วัน จำนวน 2 คน

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน} = 400 \times 300 \times 2 = 240,000 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่าสวัสดิการแรงงาน (ค่าเครื่องดื่ม + ค่าน้ำประปา + ค่าไฟฟ้า)} = 50 \text{ บาท/วัน/คน}$$

$$= 50 \times 300 \times 2 = 30,000 \text{ บาท/ปี}$$

2.3) ค่าบำรุงรักษาคิดเฉลี่ยวันละ 20 บาท

$$= 20 \times 300 = 6,000 \text{ บาท/ปี}$$

2.4) ค่าทำความสะอาดเครื่องจักรเฉลี่ยวันละ 50 บาท

$$= 50 \times 300 = 15,000 \text{ บาท/ปี}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ค่าใช้จ่ายผันแปรทั้งหมด} &= \text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่าจ้างแรงงาน} + \text{ค่าสวัสดิการแรงงาน} + \text{ค่า} \\ &\quad \text{บำรุงรักษา} + \text{ค่าทำความสะอาดเครื่องจักร} \\ &= 28,200 + 240,000 + 30,000 + 6,000 + 15,000 \\ &= 319,200 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

3) ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (Total cost)

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบการหั่นมันสำหรับแปะหลังแบบลูกเต๋าสมาารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด} &= \text{ค่าใช้จ่ายคงที่} + \text{ค่าใช้จ่ายผันแปร} \\ &= 9,770 + 319,200 = 328,970 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

4.6.2 จุดคุ้มทุนของระบบหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

ในการขายมันสำปะหลังแปรรูปในประเทศไทย เป็นการขายในลักษณะมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง จากงานวิจัยของ Nainggolan et al. [26] พบว่ากระบวนการอบแห้งมันสำปะหลังส่งผลทำให้การสูญเสียน้ำหนักถึง 3 ใน 4 ของน้ำหนักมันสำปะหลังก่อนเข้ากระบวนการอบแห้ง ซึ่งเกิดจากการมันสำปะหลังมีน้ำเป็นส่วนประกอบถึง 60% ถึง 75% เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักเป็นจำนวนมาก ในการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เมื่อกำหนดความสามารถในการผลิตทั้ง 2 สายพันธุ์ เท่ากับ 750 kg hr^{-1} และจากตารางที่ 4.6 พบว่าเปอร์เซ็นต์ของมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าสมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์รวมกันมีค่าประมาณ 95% ของมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการแปรรูป ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ภายใน 1 ชั่วโมง สามารถผลิตมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าได้ $712.50 \text{ kg hr}^{-1}$ เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้ง ส่งผลให้น้ำหนักมันสำปะหลังเหลือเพียง $178.12 \text{ kg hr}^{-1}$ เมื่อกำหนดค่าการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 75% ฉะนั้นเมื่อทำงานวันละ 5 ชั่วโมง และทำงานปีละ 300 วัน ภายใน 1 ปี สามารถผลิตมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าได้ 267,187.5 กิโลกรัม/ปี

ราคามันสำปะหลังเต๋าในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทย จากการรายงานของสมาคมโรงงานผลิตมันสำปะหลังไทยในเดือนพฤษภาคม ปี 2567 มีราคาหัวมันโรงแป้ง 25% มีราคาประมาณ 3.50 บาท/กิโลกรัม และมันเต๋าและมันเส้นมีราคาประมาณ 7.50 บาท/กิโลกรัม ดังนั้นผลประโยชน์ (SU) ที่ได้รับเท่ากับ 4 บาท/กิโลกรัม คิดเป็นผลประโยชน์ที่ได้รับต่อปี (B) มีค่าเท่ากับ 1,068,750 บาท/ปี

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad \text{จุดคุ้มทุน (BEP)} &= \frac{\text{ค่าใช้จ่ายคงที่}}{\text{ราคาขายต่อหน่วย} - \text{ค่าใช้จ่ายผันแปร}} \\ &= \frac{9,970}{4 - (328,970.0/267,187.5)} \quad \text{กิโลกรัม/ปี} \\ &= 3,599.28 \quad \text{กิโลกรัม/ปี} \end{aligned}$$

เมื่อ	ค่าใช้จ่ายคงที่ (FC)	หน่วย	บาท/ปี
	ราคาขายต่อหน่วย (SU)	หน่วย	บาท/กิโลกรัม
	ค่าใช้จ่ายผันแปร (VC)	หน่วย	บาท/กิโลกรัม

4.6.3 ระยะเวลาในการคืนทุนของระบบหมันน้ำสำหรับปลาหลังแบบลูกเต๋า

จากผลประโยชน์ที่ได้รับในการแปรรูปหมันน้ำสำหรับปลาหลังแบบลูกเต๋าเท่ากับ 4 บาท/กิโลกรัม และ 1 ปี สามารถผลิตหมันน้ำสำหรับปลาหลังแบบลูกเต๋าได้ 267,187.5 กิโลกรัม/ปี จึงมีรายได้เท่ากับ 1,068,750 บาท/ปี ดังนั้นสามารถคิดกำไรที่ได้จากการลงทุน

$$\begin{aligned} \text{กำไรสุทธิ (P)} &= \text{ผลประโยชน์ที่ได้รับต่อปี (B)} - \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (TC)} \\ &= 1,068,750 - 328,970 \quad \text{บาท/ปี} \\ &= 739,780 \quad \text{บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ PBP} &= \text{ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (MC)} / \text{กำไรสุทธิ (P)} \\ &= 44,600 / 739,780 \\ &= 0.06 \text{ ปี} \\ \text{หรือ} &= 21.9 \text{ วัน} \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ในการสร้างระบบหมันน้ำสำหรับปลาหลังแบบลูกเต๋ามีต้นทุนอยู่ที่ 44,600 บาท ในการแปรรูปหมันน้ำสำหรับปลาหลังแบบลูกเต๋าผลประโยชน์ที่ได้รับเท่ากับ 4 บาท/กิโลกรัม โดยมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 3599.28 กิโลกรัม/ปี และสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 21.9 วัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองหาขนาดหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 ทั้งสามแนวแกน พบว่าความกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 5.80 ± 0.71 เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 24.68 ± 4.96 cm และความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 5.34 ± 0.64 cm สำหรับสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มี ความกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 5.94 ± 0.74 cm ความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 43.96 ± 8.04 cm และความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 5.07 ± 0.65 cm สำหรับสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่นของสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 เท่ากับ 1,162.38 และ 1,199.15 rpm และมีอัตราการป้อนเท่ากับ 22.07 และ 20.5 kg hr⁻¹ ตามลำดับ และสำหรับสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าของสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 เท่ากับ 143.78 และ 143.04 rpm และมีอัตราการป้อนเท่ากับ 20.92 และ 22.07 kg hr⁻¹ ตามลำดับ

ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า พบว่า มันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 มีความสามารถในการผลิตเท่ากับ 767.59 ± 49.31 kg hr⁻¹ และมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าท่าเท่ากับ $38.01 \pm 2.35\%$ และมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความสามารถในการผลิตเท่ากับ 784.31 ± 35.76 kg hr⁻¹ และมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าท่าเท่ากับ $40.23 \pm 2.46\%$ สามารถสรุปได้ว่า ระบบหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่พัฒนาขึ้น มีส่วนช่วยทำให้กระบวนการแปรรูปมีความต่อเนื่องมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถเพิ่มความสามารถการผลิตได้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้ ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ประมาณ 40% เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องหันมันสำปะหลังที่พัฒนาขึ้นก่อนหน้า (ไชยวัฒน์ และคณะ, 2561)

ในระบบเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า มีอัตราการใช้ไฟฟ้ารวมอยู่ที่ 3.1 kW hr⁻¹ คิดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในการทำงาน 94 บาท/วัน เมื่อใช้งานระบบวันละ 5 ชั่วโมง และระบบที่พัฒนาขึ้นใช้แรงงานทั้งหมด 2 คน คิดเป็นค่าใช้จ่าย 800 บาท/วัน เมื่อวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของระบบ พบว่า จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 3,599.28 กิโลกรัม/ปี เมื่อคิดค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรทั้งหมด 5 ปี โดยกำหนดระยะเวลาในการทำงาน 300 วัน/ปี ระบบหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าที่พัฒนาขึ้น มีระยะเวลาในการคืนทุน (PEP) เท่ากับ 21.9 วัน

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการทดลองพบว่า เกิดการติดขัดในกระบวนการกดมันลูกเต๋ابริเวณชุดรองรับมันสำหรับหลังแผ่น เมื่อใช้อัตราการป้อนที่มากกว่าการทดลองในงานวิจัยนี้ หากเกิดการติดขัดจำเป็นต้องใช้แรงงานเพิ่มเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นที่บริเวณชุดรองรับมันสำหรับหลังแผ่น

5.2.2 เพื่ออธิบายความแตกต่างของมันเป็นสำหรับ 2 สายพันธุ์ ที่ส่งผลต่อกระบวนการแปรรูปมันสำหรับแบบลูกเต๋าดังกล่าวข้างต้น จำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เช่น ปริมาณแป้ง พลังงานที่ใช้ในการหั่น เป็นต้น

5.2.3 ในการออกแบบและสร้างเครื่องที่มีขนาดใหญ่ จะต้องอ้างอิงความเร็วในการหั่นมันสำหรับหลังแผ่น และความเร็วในการหั่นมันสำหรับแบบลูกเต๋าดังกล่าวข้างต้น อัตรการป้อนสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดของเครื่องจักร เนื่องจาก อัตราการป้อนไม่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่น และความชื้นเป็นลูกเต๋อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

เอกสารอ้างอิง

- [1] ไชยวัฒน์ มณีอินทร์, อาทิงค์ รัชฎานนท์, อาลีฟ กัลยามิตร. 2561. **การออกแบบและพัฒนาชุดกุดและชุดมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า**. ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] วิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง. 2556. **เครื่องหั่นมันเส้น**, รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14 ประจำปี 2556, 256-261. ประจวบคีรีขันธ์ : โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์พลาซ่า. 1-4 เมษายน 2556.
- [3] อังชล อรรถประวิทย์, ชีรเดช ธัญญเจริญ, พชรพล ประภารัตน์. 2562. **การสร้างและออกแบบชุดใบมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า**. ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] ธนพล ศิริแพทย์, สุรียัน โมคศิริ, อติวิชญ์ วงศ์สุวานิช. 2560. **การออกแบบและพัฒนาใบมีดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า**. ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] รังสรรค์ พงษ์พัฒน์อำไพ, ปพน สะอาดยวง และณมน วรณานวงศ์. 2561. **การออกแบบและพัฒนาเครื่องสับหัวมันสำปะหลังแบบกึ่งอัตโนมัติ**. รายงานวิจัย สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
- [6] งานวิจัยกรุงศรี. 2566. **แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม 2566-2568 มันสำปะหลัง**. แหล่งข้อมูล: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industryoutlook/agriculture/cassava/io/cassava-2023-2025>. เข้าถึงเมื่อ 16 พฤษภาคม 2566.
- [7] ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP. **มันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์**, แหล่งข้อมูล: <http://otop.dss.go.th/index.php/en/knowledge/informationrepack/339-tapiocaand-products?showall=&start=2>. เข้าถึงเมื่อ 24 สิงหาคม 2566.
- [8] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. **มันสำปะหลังโรงงาน**. แหล่งข้อมูล: <https://www.oae.go.th>. เข้าถึงเมื่อ 3 มกราคม 2567.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2558. **ความเป็นมาของมันสำปะหลังในประเทศไทย**. แหล่งข้อมูล: <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=17891>. เข้าถึงเมื่อ 6 มกราคม 2567.
- [10] สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2558. **มันสำปะหลัง : ลักษณะทางพฤกษศาสตร์**. แหล่งข้อมูล: <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=17856>. เข้าถึงเมื่อ 6 มกราคม 2567.
- [11] กรมวิชาการเกษตร. 2561. **มันสำปะหลังสายพันธุ์ต่างๆ**. แหล่งข้อมูล: http://web.sut.ac.th/cassava/?name=1cas_source/cassource. เข้าถึงเมื่อ 7 มกราคม 2567.
- [12] กรมวิชาการเกษตร. 2556. **พันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม ในเขตภาคกลางและภาคตะวันตก**. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/share/showthread.php?tid=2407>. เข้าถึงเมื่อ 7 มกราคม 2567
- [13] มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2543. **องค์ประกอบหัวมันสำปะหลัง**. แหล่งข้อมูล: <https://tapiocathai.org/D.html>. เข้าถึงเมื่อ 7 มกราคม 2567.
- [14] สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน. 2552. **องค์ประกอบทางเคมีของหัวมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์**. แหล่งข้อมูล: <http://www.doa.go.th/fcri/images/files/casava/p001.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 8 มกราคม 2567.
- [15] เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2532. **มันสำปะหลัง การปลูก อุตสาหกรรมแปรรูป และการใช้ประโยชน์มันสำปะหลัง**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
- [16] ชาญ ธีรพร. 2537. **อุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังและการใช้ประโยชน์**, หน้า 177-192. เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร
- [17] จินณจาร์ หาญเศรษฐ์สุข จรุงสิทธิ์ ลิ้มศิลา. 2539. **การศึกษาอายุการเก็บรักษาและการเสื่อมคุณภาพของหัวมันสำปะหลังพันธุ์เพื่ออุตสาหกรรม**, หน้า 450-473, รายงานผลงานวิจัยมันสำปะหลังประจำปี 2539. ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- [17] สุกัญญา ทองโยธี. 2561. **การออกแบบและสร้างเครื่องตัดหัวมันสำปะหลังออกจากเหง้า**, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 49 ฉบับที่ 4, หน้า 315-318.
- [18] iCreative Systems. **PWM คืออะไร**. แหล่งข้อมูล : <https://medium.com/icreativesystems/to-know-pwm-373efa1322ce>. เข้าถึงเมื่อ 27 กันยายน 2566.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [19] AllNewStep. เซ็นเซอร์วัดระยะทาง Ultrasonic Module HC-SR04. แหล่งข้อมูล: <https://www.allnewstep.com/article/233/33-arduinoultrasonic-module-hc-sr04Box>. เข้าถึงเมื่อ 27 กันยายน 2566.
- [20] Sharp. GP2Y0A21YK0F. แหล่งข้อมูล: https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf. เข้าถึงเมื่อ 27 กันยายน 2566.
- [21] ปานมนัส ศิริสมบุรณ์. (2547). วิศวกรรมการขนถ่ายวัสดุ (เล่ม 1), กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [22] วันชัย วิจิรวนิช และ ช่อม พลอยมีค่า.2538. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- [23] จิราภรณ์ เบนุจประกายรัตน์. (2544). เครื่องจักรกลเกษตร (เล่ม 2), บทที่ 8 ค่าใช้จ่ายในการจัดการเครื่องจักรกลเกษตร, หน้าที่ 133-149, กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [24] G. E. and Draper, N. R. (2007) **Response surfaces, mixtures, and ridge analyses**. Wiley-Interscience, New Jersey, second edition.
- [25] Draper, N. R. and Lin, D. K. J. (1996). **Response surface designs**. In Ghosh, S. and Rao, C. R., editors, Handbook of statistics, Vol. 13, chapter 11, pages 343-375. Elsevier Science B. V., first edition.
- [26] Nainggolan, E. A., Banout, J., & Urbanova, K. (2023). **Application of central composite design and superimposition approach for optimization of drying parameters of pretreated cassava flour**. Foods (Basel, Switzerland), 12(11), 2101. <https://doi.org/10.3390/foods12112101>.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมการทำงานของสายพานลำเลียง

```

#include <SharpIR.h>

#define ir A0

#define model 20150

SharpIR SharpIR(ir, model);

int SENSOR_PIN = 0;

int RPWM_Output = 6;

int LPWM_Output = 7;

int sensorValue = 4000; //กำหนด pulse สำหรับ motor driver bts7960

void setup() {
  pinMode(RPWM_Output, OUTPUT);
  pinMode(LPWM_Output, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  delay(2000);
}

void loop() {
  unsigned long pepe1=millis();
  int dis=SharpIR.distance();
  Serial.print("distance: ");
  Serial.print(dis);
  Serial.println("cm");
  if(dis>=30){
    Serial.println("ConvBelt On");
    int forwardPWM = (sensorValue);
    analogWrite(LPWM_Output, forwardPWM);
    analogWrite(RPWM_Output, 0);
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}  
    if(dis<30){  
        Serial.println("ConvBelt off");  
        int reversePWM = 0 ;  
        analogWrite(LPWM_Output, 0);  
        analogWrite(RPWM_Output, 0)  
    }  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9

จำนวนการทดลอง	ลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9		
	ความยาว (ซ.ม.)	ความกว้าง (ซ.ม.)	ความหนา (ซ.ม.)
1	23	4.3	4
2	21	5.6	4.9
3	14	5.3	4.9
4	16	5.4	4.7
5	38	5.6	5.1
6	22	6.6	5.8
7	24	5.7	5
8	33	6.4	5.7
9	25	5.6	5.2
10	23	6.3	5.6
11	29	6.5	5.9
12	29.5	6.1	5.7
13	24	5.9	5.6
14	24	7.6	6.8
15	27	5.5	5.3
16	27	5.1	5.9
17	25.5	6.6	6
18	19	5.9	5.3
19	20	6.1	5.8
20	18	5.2	5.1
21	21	6.1	5.1
22	24	5.9	5.7
23	20	5	4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนการทดลอง	ลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9		
	ความยาว (ซ.ม.)	ความกว้าง (ซ.ม.)	ความหนา (ซ.ม.)
24	21	6	5.8
25	33	5.9	5.5
26	19	6.2	5.6
27	35	6.9	6.5
28	24	5.7	4.7
29	30	5.6	5.3
30	23	7.2	6.5
31	27	5.6	5.4
32	28	6.6	5.4
33	28	5.2	4.5
34	19	5.6	5.2
35	20	6	5.8
36	21	4.6	4.5
37	32	6.2	5.1
38	32	6.3	6
39	27	4.9	4.4
40	28	6.4	6.5
41	25	4.3	3.9
42	22.5	6.1	5.9
43	19	6	5.1
44	29.5	4.6	4.4
45	24	5.3	5.1
46	24	6.5	5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนการทดลอง	ลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9		
	ความยาว (ซ.ม.)	ความกว้าง (ซ.ม.)	ความหนา (ซ.ม.)
47	27	6.7	6.1
48	25	5.1	4.8
49	23	4.9	4.7
50	21	5.4	4.9
Average	23.7826087	5.84	5.38
Max	38	7.6	6.8
Min	14	4.3	4
STD.	5.37	0.68	0.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

จำนวนการทดลอง	ลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50		
	ความยาว (ซ.ม.)	ความกว้าง (ซ.ม.)	ความหนา (ซ.ม.)
1	45	6.5	6
2	44	6.7	6.5
3	51	6	5.3
4	61	5.7	5
5	46	5.5	5
6	40	5.6	5.2
7	37	5.8	5.6
8	45	4.8	4.7
9	32	6.2	6
10	32	4.1	3.8
11	60	4.4	4.1
12	33	5.1	4.9
13	54	5.2	5
14	36	7	5.2
15	30	5.6	5.2
16	31	6.2	5.6
17	30	6	5.5
18	34	5.4	5.1
19	40	6.5	5.6
20	57	4.9	4.7
21	53	5.4	5.2
22	54	4.8	4.6
23	47	4.1	3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนการทดลอง	ลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรกรศาสตร์ 50		
	ความยาว (ซ.ม.)	ความกว้าง (ซ.ม.)	ความหนา (ซ.ม.)
24	59	6.1	5.7
25	48	5.8	5.6
26	50	4.7	4.5
27	41	5.6	4.2
28	38	6.2	5.5
29	36	4.8	4.6
30	48	4.8	4.3
31	50	5.2	4.9
32	41	5.4	5.2
33	44	4.5	4.3
34	43	6.3	5.9
35	51	5.9	5.7
36	37	6.5	6
37	43	4.8	4.4
38	45	4.1	3.7
39	54	7.1	6.4
40	35	5.1	4.8
41	41	5.7	5.2
42	42	4.6	4.4
43	48	6.1	5.7
44	39	5.1	4.9
45	41	5.8	5.5
46	49	5.4	4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนการทดลอง	ลักษณะทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50		
	ความยาว (ซ.ม.)	ความกว้าง (ซ.ม.)	ความหนา (ซ.ม.)
47	52	5.1	4.7
48	44	5.4	5.1
49	46	4.8	4.5
50	41	6	5.2
Average	43.96	5.49	5.07
Max	61	7.1	6.5
Min	30	4.1	3.7
Std	8.04	0.74	0.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

**ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลัง
และเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลัง
สายพันธุ์ระยอง 9

การทดลอง	ความเร็วรอบ (rpm)	อัตราการป้อน (kg/min)	sliced cassava (%)
1	858	10	37.80
2	858	20	32.90
3	1144	10	72.70
4	1144	20	77.45
5	798.76	15	21.27
6	1203.23	15	68.13
7	1001	7.93	66.08
8	1001	22.07	61.71
9	1001	15	67.60
10	1001	15	62.27
11	1001	15	61.47
12	1001	15	67.13
13	1001	15	63.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลัง
สายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

การทดลอง	ความเร็วรอบ (rpm)	อัตราการป้อน (kg/min)	sliced cassava (%)
1	858	10	38.80
2	858	20	31.70
3	1144	10	69.40
4	1144	20	72.65
5	798.76	15	29.27
6	1203.23	15	72.47
7	1001	7.93	61.03
8	1001	22.07	62.35
9	1001	15	64.47
10	1001	15	59.20
11	1001	15	60.27
12	1001	15	67.80
13	1001	15	64.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลังลูกเต๋าสายพันธุ์ระยอง 9

การทดลอง	ความเร็วรอบ (rpm)	อัตราการป้อน (kg/min)	ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์ (%)
1	116.67	10	18.90
2	116.67	20	22.65
3	146.84	10	34.60
4	146.84	20	39.45
5	110.42	15	10.27
6	153.09	15	35.80
7	131.26	7.93	33.67
8	131.26	22.07	32.90
9	131.26	15	38.13
10	131.26	15	32.20
11	131.26	15	36.07
12	131.26	15	33.13
13	131.26	15	33.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลังลูกเต๋า
สายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

การทดลอง	ความเร็วรอบ (rpm)	อัตราการป้อน (kg/min)	ความเป็นเต๋าสมบูรณ์ (%)
1	116.67	10	16.40
2	116.67	20	18.05
3	146.84	10	38.50
4	146.84	20	41.15
5	110.42	15	12.40
6	153.09	15	34.07
7	131.26	7.93	32.53
8	131.26	22.07	38.38
9	131.26	15	39.60
10	131.26	15	34.47
11	131.26	15	33.00
12	131.26	15	37.40
13	131.26	15	35.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองหาความสามารถในการผลิตของระบบสำหรับมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9

ครั้งที่	ระยอง 9				
	เวลาที่ใช้ (s)	Cube (kg)	Shapeless (kg)	Scrap (kg)	Loss (kg)
1	84	7.73	11.43	0.35	0.49
2	91	7.05	12.04	0.33	0.58
3	97	7.54	11.74	0.23	0.49
4	88	8.02	11.21	0.38	0.39
5	101	7.95	11.37	0.25	0.43
6	93	6.91	12.48	0.28	0.33
7	97	7.78	11.43	0.22	0.57
8	89	7.56	11.65	0.31	0.47
9	103	7.09	12.20	0.18	0.54
10	95	8.38	10.91	0.29	0.42
Average	93.8	7.60	11.65	0.28	0.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองหาความสามารถในการผลิตของระบบสำหรับมันสำปะหลังสายพันธุ์
เกษตรศาสตร์ 50

ครั้งที่	เกษตรศาสตร์ 50				
	เวลาที่ใช้ (s)	Cube (kg)	Shapeless (kg)	Scrap (kg)	Loss (kg)
1	92	8.33	10.70	0.35	0.61
2	88	7.80	11.44	0.24	0.51
3	91	8.24	10.95	0.24	0.56
4	89	8.15	10.91	0.40	0.53
5	98	7.35	11.84	0.32	0.49
6	100	8.96	10.24	0.27	0.52
7	92	8.52	10.57	0.36	0.55
8	87	7.74	11.15	0.39	0.73
9	93	7.85	11.13	0.31	0.71
10	88	7.50	11.46	0.49	0.55
Average	91.8	8.05	11.04	0.32	0.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

Development and Efficiency Evaluation of Cassava Cubes Cutting Machine

ธนวันต์ ไม้ขุน^{1*}, วีรพงศ์ ผลโพธิ์¹, วสุ อุดมเพทายกุล¹Thanawan Maichoon^{1*}, Teerapong Pholpho¹, Vasu Udompetaikul¹¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ 10520¹Department 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 และสำหรับสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าศายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 คือ ความเร็วรอบของชุดหั่นลูกเต๋าเท่ากับ 1,231.69 และ 1,224.74 rpm และอัตราการป้อนเท่ากับ 20.92 และ 22.07 kg min⁻¹ จากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า พบว่าในกรณีมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 ความสามารถในการผลิตเท่ากับ 767.59±49.31 kg hr⁻¹ และมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าท่ากับ 38.01±2.35% ส่วนมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ความสามารถในการผลิตเท่ากับ 784.31±35.76 kg hr⁻¹ และมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าท่ากับ 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

21

1 บทนำ

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

ประเทศไทยได้ขยายพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับการเติบโตของอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังตามความต้องการในตลาดส่งออก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร อธิบดียสถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังของไทย พบว่า ฤดูกาลผลิตปี 2564 และ ปี 2565 มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว รวมทั้งประเทศ 10.18 ล้านไร่ ผลผลิต 34.69 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) เนื่องจากความพร้อมด้านแหล่งผลิต วัตถุดิบมันสำปะหลังของไทย 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) และ แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Cassava modified starch) อยู่ที่ 66% 59% และ 31% ตามลำดับ (สำนักงานวิจัยกรุงศรี, 2566)

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังในประเทศไทย เป็นการแปรรูปในลักษณะของมันสำปะหลังเส้น ซึ่งมีลักษณะที่ใหญ่ ส่งผลทำให้กระบวนการลดความชื้นใช้เวลานาน ซึ่งส่งผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงาน และมีโอกาสเกิดการเน่าเสีย หรือเกิดเชื้อราในระหว่างกระบวนการลดความชื้น ในปัจจุบัน จึงได้มีการพัฒนาเครื่องแปรรูปมันสำปะหลังแบบเตาขึ้นมา สามารถลด

อัตราการเกิดของเชื้อราในผลิตภัณฑ์แปรรูป และส่งผลทำให้กระบวนการลดความชื้น ใช้เวลาน้อยลง ความสามารถของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบเตาที่ทำการพัฒนาขึ้น มีความสามารถในความเป็นลูกเต่าสมบูรณ์ 33% ลูกเต่าไม่สมบูรณ์ 54.7% และ กำลังการผลิต 532.8 kg hr⁻¹ (ไชยวัฒน์และคณะ, 2561) เนื่องจากในส่วนของชุดหันมันสำปะหลังแบบเดิมที่ใช้อยู่มีลักษณะเป็นชุดใบมีด 2 ซม ทำการหันมันสำปะหลังในแนวนอน มีความสามารถในการผลิตมันสำปะหลังแบบลูกเต่า ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการในอุตสาหกรรม ดังนั้น ผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเต่า ทำให้กระบวนการแปรรูปมีความต่อเนื่อง ส่งผลต่อกำลังในการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูปของมันสำปะหลังให้มากยิ่งขึ้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการในอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังในประเทศไทย

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 หัมันสำปะหลัง

งานวิจัยนี้เลือกใช้มันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และ เกษตรศาสตร์ 50 แสดงใน Figure 1 โดยทำการสุ่มเลือกหัมันสำปะหลัง 50 หัว ของแต่ละสายพันธุ์ โดยการใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ในการวัดขนาดของหัมันสำปะหลังทั้งสามแนวแกน ได้แก่ ความยาวของหัมันสำปะหลัง (L) ความกว้างของหัมันสำปะหลัง (D1) และความหนาของหัมันสำปะหลัง (D2) จากนั้นนำค่าที่ได้จากการบันทึกผล นำมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) เพื่อศึกษา ลักษณะทางกายภาพของหัมันสำปะหลัง



Figure 1 Characteristics of cassava.

2.2 ระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต่า

ปัจจัยสำคัญของระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหันมันสำปะหลังแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ เครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่น เครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต่า และสายพานลำเลียงที่ใช้ในระบบ สามารถอธิบายขั้นตอนการออกแบบในส่วนสำคัญต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1 เครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่น

เครื่องหันมันสำปะหลังมีหน้าที่ลดขนาดของหัมันสำปะหลังเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการหันมันสำปะหลังในลักษณะลูกเต่า

วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 30 ฉบับที่ 1 (2567), 21-28

เครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่นมีขนาด 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 ใบมีดติดตั้งบนเพลามีขนาด 1 inch ลักษณะสลับฟันปลา ซึ่งถูกขับโดยเครื่องต้นกำลังเป็นมอเตอร์ 3 เฟส ที่ความถี่ 50 Hz ความเร็วรอบที่ 1430 rpm เครื่องต้นกำลังถูกควบคุมโดย Inverter ยี่ห้อ Sumitomo รุ่น AF-500 สำหรับควบคุมความเร็วของมอเตอร์ต้นกำลัง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการตัดกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของมันสำปะหลัง เมื่อมันสำปะหลังผ่านการบวนการแปรรูป มีลักษณะแสดงดัง Figure 3 โดยที่ a คือมันสำปะหลังแผ่นสมบูรณ์ b คือ มันสำปะหลังแผ่นไม่สมบูรณ์ และ c คือ เศษมันสำปะหลัง โดยที่มันสำปะหลังแผ่นจะถูกลำเลียงผ่านสายพานลำเลียงเพื่อเคลื่อนที่ไปยังเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า



Figure 2 Blade arrangement of cassava cutting machine.

2.2.2 สายพานลำเลียง

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

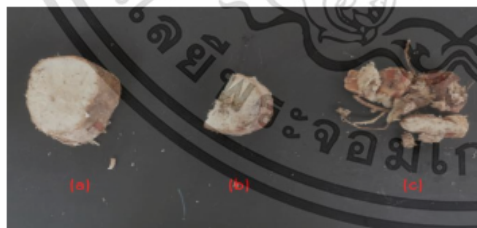


Figure 3 Characteristics of various types of cassava.

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

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

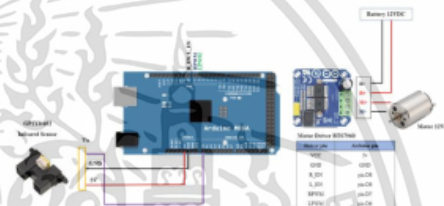


Figure 4 Conveyor Control Circuit.

2.2.3 เครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

หันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋ามีขนาด ยาว x กว้าง x สูง เท่ากับ 60 x 80 x 130 cm เลือกใช้ชุดต้นกำลังมอเตอร์ 3 เฟส ความเร็วรอบ 1400 rpm ที่ความถี่ 50 Hz ใช้สำหรับการขับเคลื่อนกำลังและถ่วงสมดุลรวมถึงชุดคตมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ซึ่งถูกควบคุมโดย Inverter เช่นเดียวกับเครื่องหันมันสำปะหลังแผ่น เพื่อหาความสัมพันธ์ของความเร็วในการหันกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นลูกเต๋าของมันสำปะหลังแผ่น ชุดหันมันสำปะหลังลูกเต๋าลูกเลือกใบมีดทำจาก Stainless blade นำใบมีดทั้ง 14 ใบสามกัน มีลักษณะเป็นช่องสี่เหลี่ยมขนาด 2.54 x 2.54 cm เพื่อให้ได้มันสำปะหลังลูกเต๋ามีขนาดเท่ากับช่องว่างที่กำหนด แสดงดัง Figure 5 และ Figure 6 แสดงลักษณะของมันสำปะหลังที่ผ่านการหันของเครื่อง โดยที่ a คือ มันสำปะหลังลูกเต๋าสมบูรณ์ b คือมันสำปะหลังลูกเต๋ที่ไม่สมบูรณ์ และ c เศษมันสำปะหลัง งานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงแก้ไขในส่วนของชุดคตมันสำปะหลังออก โดยชุดคตถูกแทนที่โดยเครื่องหันมันสำปะหลังแบบแผ่น จากนั้นทำการยกตัวเครื่องให้มีความลาดเอียงเท่ากับ 18 องศา ซึ่งเป็นมุมไหลของมันสำปะหลังแผ่นเมื่อทำการทดสอบกับแผ่นสแตนเลสหนา 2 mm ซึ่งมีส่วนช่วยทำให้มันสำปะหลังไหลไปยังชุดหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าดังยิ่งขึ้น

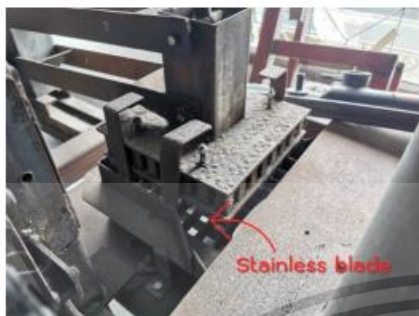


Figure 5 Blade for cassava cubes cutting.



Figure 6 Characteristics of various types of cassava cubes.

2.2.4 การทำงานของระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

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

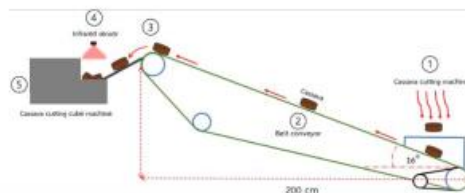


Figure 7 Principal cassava cubes cutting Machine.



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 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 kg min^{-1} โดยมีตัวแปรตาม (Y)

วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 30 ฉบับที่ 1 (2567), 21-28

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 ลูกเต๋าสมบูรณ์ 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 สายพันธุ์ที่ทำการทดลอง 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 $1,144 \text{ rpm}$ พบว่าส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์มากที่สุด โดยมีค่าความเป็นแผ่นสมบูรณ์ของสายพันธุ์ระยอง 9 เท่ากับ 77.45% และสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีค่าเท่ากับ 72.65% ที่การทดสอบอัตราการป้อนเท่ากับ 20 kg min^{-1} ทั้งนี้ในการทดลองพบว่า หากเพิ่มความเร็วรอบในการหั่นมันสำปะหลัง คือ $1,203.23 \text{ rpm}$ 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 $1,162.38 \text{ rpm}$ และอัตราการป้อนเท่ากับ $22.07 \text{ kg min}^{-1}$ ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ความเป็น

25

แผ่นสมบูรณ์เท่ากับ 75.35% และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายพันธุ์เกษตรกรศาสตร์ 50 มีความเร็วรอบของชุดใบมีด เท่ากับ 1,199.15 rpm และอัตราการป้อนเท่ากับ $20.50 \text{ kg min}^{-1}$ ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นแผ่นสมบูรณ์เท่ากับ 74.64%

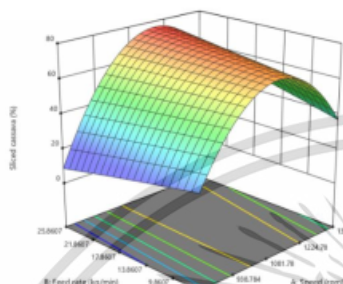


Figure 9 Effects of linear velocity and feed rate on Rayong 9 cassava slices percentage.

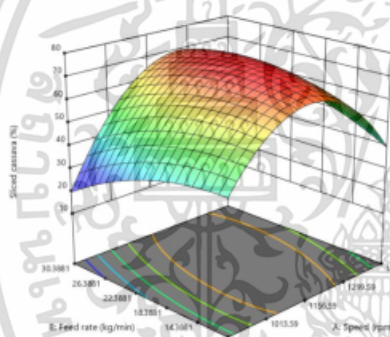


Figure 10 Effects of linear velocity and feed rate on Kasetsart 50 cassava slices percentage.

3.2.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

จากการทดลองหั่นมันสำปะหลังตามรูปแบบการทดลองแบบ Central Composite Design พบว่าเมื่อใช้ความเร็วของชุดหั่นมันสำปะหลังลูกเต๋า 1,260 rpm ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋ามีค่ามากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 39.45% เมื่อทดลองกับสายพันธุ์ระยะยง 9 และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 41.15% เมื่อทำการทดลองกับสายพันธุ์เกษตรกรศาสตร์ 50 โดยมีอัตราการป้อนเท่ากับ 20 kg min^{-1} หากเพิ่มความเร็วรอบของชุดหั่นเป็น $1,317.99 \text{ kg min}^{-1}$ ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าลดลงเหลืออย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มที่เกิดขึ้นจากค่าความเร็วรอบในการหั่นที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์ ในการทดลองมีค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าค่าสุดของสายพันธุ์ระยะยง 9 เท่ากับ 10.27% และสายพันธุ์เกษตรกรศาสตร์ 50 เท่ากับ 12.40% เมื่อทำ

การทดลองที่ความเร็วเชิง 922.01 rpm ซึ่งเป็นความเร็วที่น้อยสุดในการทดลอง

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

จาก Figure 11 แสดงอิทธิพลของความเร็วของชุดหั่นมันสำปะหลังลูกเต๋ากับอัตราการป้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์ของมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยะยง 9 และ Figure 12 แสดงอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อสายพันธุ์เกษตรกรศาสตร์ 50 หากทำการเพิ่มความเร็วรอบในการหั่นส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์เพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่เหมาะสม หากทำการเพิ่มความเร็วรอบต่อเนื่อง ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์ลดลง ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 2 สายพันธุ์ แต่การเพิ่มหรือลดอัตราการป้อนพบว่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ดังนั้น สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า ที่ทำการทดสอบกับมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยะยง 9 ได้ดังนี้ ความเร็วของชุดหั่นมันสำปะหลังลูกเต๋าท่ากับ 1,231.69 rpm และอัตราการป้อนเท่ากับ $20.92 \text{ kg min}^{-1}$ ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์เท่ากับ 38.58% และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายพันธุ์เกษตรกรศาสตร์ 50 มีความเร็วของชุดหั่นมันสำปะหลังลูกเต๋าท่ากับ 1,224.74 rpm และอัตราการป้อนเท่ากับ $22.07 \text{ kg min}^{-1}$ ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์เท่ากับ 40.96%

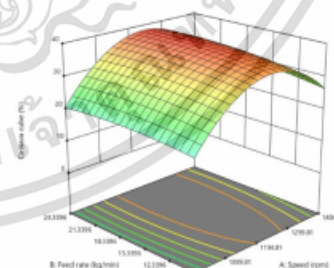


Figure 11 Effects of linear velocity and feed rate on Rayong 9 cassava cubes percentage.

วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 30 ฉบับที่ 1 (2567), 21-28

3.3 การประเมินประสิทธิภาพของระบบเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า

จากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหั่นมันสำปะหลังทั้ง 2 รูปแบบ โดยวิธี Central Composite Design ทำให้ทราบค่าที่สภาวะเหมาะสมในการทำงานของตัวระบบของมันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 จากนั้นกำหนดการทำงานของเครื่องให้เหมาะสมที่สุดของแต่ละสายพันธุ์ และทำการทดลองหาความสามารถในการผลิตโดยที่กำหนดอัตรา

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 $38.01 \pm 2.35\%$ ความเป็นเต๋าสมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ $58.23 \pm 2.40\%$ 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 $40.26 \pm 2.46\%$ ความเป็นเต๋าสมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ $55.20 \pm 2.30\%$ เศษมันสำปะหลังเฉลี่ยเท่ากับ $1.69 \pm 0.39\%$ และค่าการสูญเสียในระบบเฉลี่ยเท่ากับ $2.88 \pm 0.41\%$ จากนั้นทำการทดสอบ t-test เพื่อหาความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากการทดลองแสดง Table 2

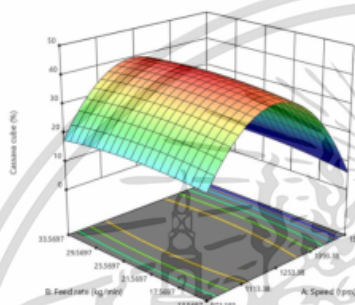


Figure 12 Effects of linear velocity and feed rate on Kasetart 50 cassava cubes percentage.

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

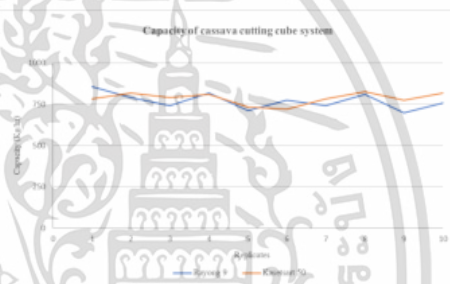


Figure 13 Capacity of cassava cubes cutting system.

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 ความเป็นเต๋าสมบูรณ์เฉลี่ย และค่าความสูญเสียในระบบของ 2 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$) ซึ่งแสดงถึงความสามารถของระบบในการแปรรูปมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าสองสายพันธุ์ที่สามารถแปรรูปหัวมันสำปะหลังได้หลายสายพันธุ์ อีกทั้งระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มกำลังการผลิตโดยประมาณ 40% เมื่อเทียบกับเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าก่อนมีการปรับปรุง

4 สรุป

ระบบเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าสี่เหลี่ยมที่พัฒนาขึ้น 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 อัตราการบดเท่ากับ 22.07 และ 20.5 kg hr^{-1} และมีเปอร์เซ็นต์มันสำปะหลังแผ่น

สมบูรณ์เท่ากับ 77.45% และ 72.65% ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋าของสายพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 ความเร็วรอบของชุดหันเท่ากับ 1,231.69 และ 1,224.74 rpm อัตราการป้อนเท่ากับ 20.92 และ 22.07 kg hr⁻¹ และเปอร์เซ็นต์ความเป็นเต๋าสสมบูรณ์เท่ากับ 38.58% และ 40.96% ตามลำดับ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนความสามารถในการผลิต ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ประมาณ 40% เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องหันมันสำปะหลังที่พัฒนาขึ้นก่อนหน้า (ไชยวัฒน์และคณะ, 2561) ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพของระบบแปรรูปสำหรับเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า มันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 มีความสามารถในการผลิตเท่ากับ 767.59±49.31 kg hr⁻¹ และมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าทะเท่ากับ 38.01±2.35% และมันสำปะหลังสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความสามารถในการผลิตเท่ากับ 784.31±35.76 kg hr⁻¹ และมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นลูกเต๋าทะเท่ากับ 40.23±2.46%

5 กิตติกรรมประกาศ

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

6 เอกสารอ้างอิง

ไชยวัฒน์ มณีอินทร์, อาทิงค์ รัชฎานนท์, อาลีฟ กัลยามิตร. 2561. การออกแบบและพัฒนาชุดกัดและชุดมีดสำหรับเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า. ปรินญาณีพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

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

อัครพล อรรถประวิทย์, อีระเดช อัญญาเจริญ, พชรพล ประภรณ์. 2562. การสร้างและออกแบบชุดใบมีดสำหรับเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า. ปรินญาณีพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธนพล ศิริแพทย์, สุรียัน โมคศิริ, อติวิญญ์ วงศ์สุวานิช. 2560. การออกแบบและพัฒนาใบมีดสำหรับเครื่องหันมันสำปะหลังแบบลูกเต๋า. ปรินญาณีพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

งานวิจัยกรุงศรี. 2566. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม 2566-2568 มันสำปะหลัง. แหล่งข้อมูล: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/agriculture/cassava/industry/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.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาย ธนวันต์ ไม้ขุน
วัน เดือน ปีเกิด	18 กุมภาพันธ์ 2540
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 65/7 หมู่ 5 ตำบล ท่าทราย อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร รหัสไปรษณีย์ 74000
ประวัติการศึกษา:	
2557	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชา ช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสาคร
2559	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) สาขาวิชา เทคโนโลยีระบบ โทรคมนาคม วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสาคร
2562	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบอุตสาหกรรมเกษตร (เกียรตินิยมอันดับ 1) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
2566	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและเกษตร อัจฉริยะ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่วารสาร	
2562	ธนวันต์ ไม้ขุน เจษฎา อู่สุวรรณ วัชระ ทรัพย์เย็น สุรเชษฐปกรณ์ พรหม ภักดี และ รวิภัทร ลาภเจริญสุข, “การพัฒนาเครื่องวัดสัมประสิทธิ์แรง เสียดทานสถิตของผลผลิตเกษตรกึ่งอัตโนมัติเพื่อการสอนและการวิจัย”, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562 หน้า 18- 22 ณ โรงแรมฮาร์ตริอค พัทยา จังหวัดชลบุรี.
2566	ธนวันต์ ไม้ขุน อธิพงษ์ ผลโพธิ์ และ วสุ อุดมเพทายกุล, 2566, “การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหั่นมันสำปะหลังแบบ ลูกเต๋า”, วารสารวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30 ฉบับที่ 1 หน้า 21-28.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้